

MODELOS DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: APLICAÇÃO DO IRAS-2010 E DO AQUATOOL AO APROVEITAMENTO HIDROAGRÍCOLA DO VALE DO SORRAIA

RIVER BASIN MANAGEMENT MODELS: APPLICATION OF IRAS-2010 AND AQUATOOL TO THE SORRAIA VALLEY IRRIGATION PROJECT

Joana SIMÕES

Consultora ambiental da echiron jsimoes@echiron.com

Rodrigo PROENÇA DE OLIVEIRA

Professor auxiliar no Instituto Superior Técnico, Diretor da Unidade de Consultoria Ambiental da echiron rodrigopoliveira@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO: A simulação matemática da operação de aproveitamentos hidráulicos permite avaliar o desempenho de políticas de operação e identificar aquelas que melhor asseguram o cumprimento dos objetivos do sistema.

Este artigo aplica os modelos IRAS-2010 e AQUATOOL ao Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sorraia, que se situa na margem esquerda do rio Tejo e abrange uma área de 16000 ha. Os principais cursos de água afluentes ao sistema são as ribeiras de Sôr, Seda e Tera. O armazenamento de água é assegurado pelas albufeiras de Montargil e do Maranhão.

Os modelos diferem na explicitação das regras de operação do sistema. O IRAS-2010 recorre a regras explícitas de alocação em função da disponibilidade de água, enquanto o AQUATOOL procura minimizar os desvios a objetivos pré-estabelecidos de fornecimento e de armazenamento.

Os resultados dos volumes armazenados obtidos pelos dois modelos são semelhantes, mas excedem os valores observados provavelmente devido a erros na estimativa das aflúncias, das necessidades ou das perdas de água, ou ainda devido à adoção de regras de operação simplificadas. Os valores calculados para os diferentes indicadores de desempenho, nomeadamente fiabilidade, vulnerabilidade e resiliência, são também semelhantes.

Palavras-chave: Aproveitamento hidroagrícola do Vale do Sorraia, AQUATOOL, Gestão de bacias hidrográficas, IRAS-2010, Políticas de operação de albufeiras, Planeamento de recursos hídricos.

ABSTRACT: *Mathematical models may be used to assess the operation of water resources systems and to determine the operation policies that best ensure the compatibility between water availability and the system objectives.*

This article applies models IRAS-2010 and AQUATOOL to the Sorraia Valley irrigation project. This project lies on the left bank of the Tagus River and covers an area of 16000 ha. The main inflows to the system are the Sôr, Seda and Tera rivers. Water storage is provided by the Maranhão and Montargil dams.

The models differ in the way the rules of operation are defined. IRAS-2010 uses explicit allocation rules depending on the availability of water, while AQUATOOL minimizes deviations from pre-established targets for delivery and storage.

The results from both models for stored volumes are similar and close to the observed values. The differences are probably due to errors in the estimation of inflows, water needs or water losses, or to the adoption of simplified operation rules. The estimated values of performance indicators, such as reliability, vulnerability and resilience, are also similar.

Keywords: *Sorraia Valey irrigation project, AQUATOOL, river basins management, IRAS-2010, reservoir operation policies, water resources planning.*

1. ENQUADRAMENTO

A simulação matemática da operação de sistemas de aproveitamentos hidráulicos permite o cálculo dos volumes de água que podem ser armazenados em albufeiras, transferidos por cursos de água ou canais de adução ou ainda atribuídos aos diversos usos de uma bacia hidrográfica. Com base nestes fluxos, é possível estimar um conjunto de indicadores de desempenho do sistema, tendo em conta as infraestruturas existentes, as disponibilidades e necessidades de água da bacia hidrográfica e as regras de operação do sistema. Ao simularem vários cenários e acompanharem a evolução do estado da bacia hidrográfica, os modelos são uma importante ferramenta de apoio à decisão, permitindo identificar as políticas de gestão que asseguram o cumprimento dos objetivos do sistema, nomeadamente a compatibilização das disponibilidades com as necessidades de água. Numa fase de projeto, os modelos permitem prever como diferentes configurações de infraestruturas e de regras de gestão reagem a condições adversas como secas, inundações, alterações climáticas ou outras alterações de longo prazo, e assim apoiar a análise custo-benefício subjacente ao dimensionamento do sistema.

O papel dos modelos matemáticos como instrumentos de análise e exploração de diferentes alternativas de gestão tem tendência a ser reforçado em resultado do aumento da complexidade dos aproveitamentos hidráulicos, que cada vez mais servem objetivos distintos e frequentemente conflitantes, e das dificuldades em fazer aprovar novos empreendimentos que aumentam a pressão para gerir os aproveitamentos existentes de forma cada vez mais eficiente (Loucks, 1992; Oliveira e Loucks, 1996).

São vários os modelos de simulação atualmente disponíveis no mercado, sendo de destacar o IRAS da Cornell University (Loucks et al., 1995), o AQUATOOL da Universidade Politécnica de Valência (Andreu et al., 1991), o WEAP do Stockholm Environment Institute (Hansen, 1994), o RIBASIM da DELTARES (Delft Hydraulics, 1991) e o MIKEBASIN da Danish Hydraulic Institute (Christensen, 2004). Wurbs (2005) apresenta uma boa compilação dos modelos existentes.

Este artigo descreve a aplicação dos dois primeiros modelos ao Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sorraia com o objetivo de identificar as suas semelhanças e realçar as suas diferenças. Existem exemplos da aplicação destes dois modelos em Portugal, como é o caso de Oliveira (1995) e Brandão e Rodrigues (2000), que aplicaram o IRAS ao sistema de Alqueva, e de Marques (2012) e Kenov et al. (2012), que aplicaram o AQUATOOL ao Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sorraia. O AQUATOOL tem ainda a vantagem de ser

utilizado de forma generalizada em Espanha, potenciando o estabelecimento de parcerias com instituições espanholas para uma gestão integrada das bacias partilhadas da Península Ibérica.

2. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DA OPERAÇÃO DE APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS

2.1. Descrição geral

Os modelos representam o aproveitamento hidráulico a simular por nós e arcos. Os nós representam as secções de entrada de água no sistema, as confluências e as derivações de cursos de água ou de canais artificiais, as albufeiras, os aquíferos e os pontos de consumo de água. Os arcos entre estes nós representam os fluxos de água através de cursos de água naturais ou de canais artificiais. Constituem entradas de água no sistema as séries de aflúncias geradas nas bacias hidrográficas a montante da região em estudo e são saídas de água os consumos efetivos de água, as descargas para jusante e as perdas por evaporação ou infiltração. Alguns modelos admitem a possibilidade de parte do consumo de água que não é efetivamente consumida ser devolvida ao sistema, assim como a infiltração contribuir para a recarga dos aquíferos.

A maioria dos modelos assume um passo de cálculo fixo, por regra com uma duração entre um dia e um mês. O balanço hídrico em cada nó e arco é realizado sucessivamente para cada passo de cálculo, sendo calculados os volumes de água que fluem pelos nós e arcos e os volumes armazenados nos nós que possuem capacidade de armazenamento (i.e. albufeiras, lagos ou aquíferos).

Do ponto de vista de cálculo, os modelos distinguem-se pelos processos que estão preparados para simular, pela forma como as políticas de operação podem ser explicitadas, pelo passo de cálculo utilizado e pelos métodos computacionais aplicados. Há vários modelos que não calculam a energia consumida ou produzida no sistema e são poucos os que simulam a qualidade da água em conjunto com a avaliação da capacidade de satisfação das necessidades de água. A simulação da qualidade de água, mesmo de forma simplificada, exige um conjunto acrescido de dados e a adoção de um passo de cálculo reduzido, o que torna difícil a sua inclusão neste tipo de modelos.

No que diz respeito à forma de explicitação das regras de operação e aos métodos computacionais utilizados para realizar o balanço hídrico, há modelos de simulação pura que exigem a definição, por parte do utilizador, das regras

Este artigo foi apresentado no 12º Congresso da Água e selecionado para submissão e possível publicação na *Recursos Hídricos*, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em 30 de maio de 2014. Este artigo é parte integrante da Revista *Recursos Hídricos*, Vol. 35, Nº 2, 29-39, novembro de 2014.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh35n2-3

de operação do sistema na forma de condições do tipo “se... então”. A atribuição de água a um determinado uso é função da quantidade de água disponível num dado local (i.e. o volume afluente a um nó ou armazenado num nó com capacidade de armazenamento) e ainda do mês ou época do ano. Estes modelos podem ser classificados como supply driven, uma vez que o fluxo de cálculo para determinar os volumes a atribuir, num dado passo de cálculo, a cada nó ou arco desenvolve-se de montante para jusante aplicando sucessivamente as regras de operação definidas pelo utilizador que determinam o volume de água a atribuir com base no volume de água disponível.

Outros modelos incluem módulos de otimização que procuram, em cada passo de cálculo, minimizar os desvios a determinados objetivos pré-estabelecidos de fornecimento de água ou de nível de armazenamento nas albufeiras ou aquíferos. Estes modelos podem ser classificados como demand driven, uma vez que procuram determinar a melhor forma de satisfazer as metas pré-definidas, sendo a atribuição de água diretamente determinada pela procura de água.

2.2. AQUATOOL

O AQUATOOL foi desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valência (Andreu et al., 1991), tendo sido aplicado a várias bacias hidrográficas de Espanha. Trata-se de um modelo com um passo de cálculo mensal que visa, sobretudo, avaliar a capacidade de satisfação das necessidades de água de um dado aproveitamento hidráulico. As necessidades de água podem variar de mês para mês, ao longo do ano, mas não de ano para ano, ao longo do período de simulação. O modelo permite a consideração das perdas de água por evaporação e infiltração, mas não estima o eventual consumo ou produção de energia no sistema, nem simula processos de qualidade de água.

O AQUATOOL procura em cada mês minimizar a soma dos desvios a objetivos pré-estabelecidos de fluxo em cada arco ou nó ou de volume armazenado em cada nó com capacidade de armazenamento (albufeiras e aquíferos). Os objetivos de fluxo associados aos arcos podem resultar de obrigações de manutenção de valores de escoamento em cursos de água ou canais artificiais; os objetivos de fluxo associados a nós podem corresponder a necessidades de água a satisfazer; e os objetivos de volume armazenado a níveis máximos e mínimos de exploração em albufeiras e aquíferos. O utilizador pode atribuir pesos a cada um destes objetivos e assim definir prioridades, no caso de não ser possível cumprir a sua totalidade. Nesse sentido, as regras de operação do sistema são, sobretudo, baseadas na procura, podendo ser definidas regras baseadas na oferta de água para condicionar a atribuição ou distribuição de água em função do volume de água disponível.

Os resultados incluem a evolução temporal das variáveis, os valores médios do período de simulação e os valores assumidos por um conjunto de indicadores de desempenho apresentados na secção 2.4.

No presente estudo, a política de operação do sistema foi definida estabelecendo os objetivos de fornecimento de água de cada bloco de rega. Em cada passo de cálculo, o módulo de otimização do modelo procura minimizar os desvios a esses objetivos, transferindo água das albufeiras para os pontos de consumo.

2.3. IRAS-2010

O IRAS foi inicialmente desenvolvido pela Universidade de Cornell, em conjunto com o International Institute for Applied Systems Analysis e com a Resources Planning Associates (Loucks et al., 1995). A sua versão mais recente, o IRAS-2010, (Matrosov et al., 2011) apresenta um conjunto de melhorias e corre numa interface geográfica denominada Hydroplatform (Harou et al., 2010). Está previsto o lançamento próximo de uma nova versão para a plataforma Hydra, o IRAS-2015.

O IRAS assume um passo de cálculo fixo a definir pelo utilizador, podendo variar entre o dia e vários meses. O modelo calcula os fluxos de água que atravessam cada arco ou nó e, se necessário, o consumo ou a produção de energia associados a esses fluxos. Os arcos podem ser unidirecionais, com um sentido de fluxo previamente definido, ou bidirecionais, com um sentido de fluxo determinado pelo nível de água que ocorre nos nós unidos por esse arco. Estes arcos bidirecionais têm alguma utilidade na definição da rede de drenagem de regiões planas, onde o sentido de escoamento depende da distribuição de água pela região.

É possível definir perdas de água por evaporação e por infiltração em função do volume armazenado nos nós ou aduzido nos arcos. O modelo simula também processos de qualidade de água simples, exigindo para isso a adoção de um passo de cálculo diário. Esta funcionalidade não foi, porém, testada.

O IRAS-2010 permite ainda a avaliação da capacidade de satisfação de um conjunto de objetivos pré-definidos, nomeadamente a satisfação de necessidades de água ou de energia ou a manutenção dentro de certos limites do volume armazenado em albufeiras ou aquíferos.

A política de exploração do sistema é definida através de regras explícitas que definem o volume de água a atribuir a um arco ou nó em função da quantidade de água afluente ou armazenada noutro nó ou conjunto de nós. Cada albufeira ou grupo de albufeiras pode ter associada uma regra de descarga que determina o volume a descarregar em função do volume armazenado numa albufeira específica ou num grupo de albufeiras que operam em conjunto. No caso de grupos de albufeiras, é preciso também definir um conjunto de curvas de balanço para especificar a distribuição ideal do volume agregado de água pelas albufeiras incluídas no grupo. Para os nós a montante de canais de derivação, é necessário definir curvas de alocação que determinam o volume a atribuir a esse canal em função do volume afluente ao nó.

Estas regras de operação podem variar ao longo do ano e entre anos diferentes, em função das necessidades de água e de energia, mas são sempre definidas em função da água disponível. Pontualmente, é possível definir

objetivos de fornecimento de água que o modelo procurar satisfazer desviando água de determinados nós ou arcos.

No presente estudo, a política de operação do sistema foi definida através de regras de descarga das albufeiras que determinam as descargas mensais necessárias à satisfação das necessidades de água dos blocos de jusante e das perdas por infiltração nos canais. Nos casos em que o bloco de rega pode ser abastecido pelas duas albufeiras, considerou-se que cada uma das albufeiras contribui com 50% desse valor. Estas premissas de operação bastantes simplificadas não asseguram a otimização da utilização dos recursos disponíveis, um tema que tem sido analisado por vários autores (Yeh, 1985; Labadie, 2004; Oliveira e Loucks, 1997).

2.4. Indicadores de desempenho

O desempenho de um aproveitamento de recursos hídricos e das suas regras de operação pode ser avaliado através de indicadores que determinam a garantia do abastecimento, a vulnerabilidade das necessidades de água e a resiliência do sistema (Hashimoto et al., 1982). Os modelos AQUATOOL e IRAS-2010 fornecem diretamente alguns destes indicadores ou propiciam resultados que permitem o seu cálculo.

Estes indicadores baseiam-se no conceito de falha, isto é, da incapacidade do sistema não satisfazer um dado objetivo de necessidades de água. Em simulações com um passo de cálculo mensal, define-se uma falha mensal do abastecimento a um uso de água sempre que, num dado mês, não é possível satisfazer as suas necessidades. Uma falha anual corresponde à ocorrência de, pelo menos, uma falha mensal. Finalmente, a duração de falha é o período de tempo em que sucessivamente não foi possível satisfazer um dado objetivo.

Com base nestes conceitos, é possível estimar vários indicadores de garantia do abastecimento, de vulnerabilidade das necessidades de água e de resiliência de cada objetivo sistema. A garantia avalia a percentagem de tempo em que o objetivo é satisfeito. Os indicadores de vulnerabilidade procuram avaliar a gravidade média das falhas de cumprimento de um objetivo, quando estas ocorrem. Finalmente, a resiliência fornece uma indicação da capacidade do sistema recuperar de uma falha. O

Quadro 1 apresenta os indicadores considerados neste artigo. A garantia temporal é um indicador de garantia, enquanto a garantia volumétrica e a duração média das falhas são indicadores de vulnerabilidade.

3. CASO DE ESTUDO: APROVEITAMENTO HIDROAGRICOLA DO VALE DO SORRAIA

O Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sorraia (Figura 1) é um sistema de irrigação agrícola que abrange uma superfície de cerca de 16000 ha nos distritos de Portalegre, Évora e Santarém. O sistema aproveita os recursos hídricos das bacias hidrográficas do rio Sorraia e dos seus afluentes, os rios Almansor, Aviz, Divor, Raia e Sor.

A precipitação anual média sobre a bacia do Sorraia montante de Ponte Coruche é 670 mm, dando origem a um escoamento anual da ordem dos 140 mm (PGRH, 2012). No presente trabalho considerou-se um período de simulação de 56 anos, de 1934/1935 a 1989/1990. Para estimar as afluências ao sistema utilizaram-se os dados das estações hidrométricas de Ponte Vila Formosa (ribeira da Raia), Figueira e Barros (ribeira Grande), Ponte Coruche (rio Sorraia), Moinho Novo (rio Sôr) e Pavia (ribeira de Tera).

Para determinar as afluências provenientes de bacias hidrográficas não monitorizadas recorreu-se às séries de altura de escoamento das estações hidrométricas próximas, corrigidas por um fator que tem em conta a razão entre valores de precipitação anual sobre a bacia hidrográfica em análise e a bacia hidrográfica da estação hidrométrica. É importante realçar que cerca de 20% da área das bacias hidrográficas contribuintes para as afluências do aproveitamento não se encontra monitorizada e que nem todos os registos das estações hidrométricas abrangem integralmente o período de simulação. Foi por isso necessário estimar cerca de 10% do volume das afluências ao aproveitamento, o que resulta necessariamente numa fonte significativa de incerteza.

Quadro 1 - Indicadores de desempenho.

Indicador	Explicação
Garantia temporal anual	Percentagem de anos em que o objetivo foi cumprido
Garantia volumétrica	Percentagem das necessidades do período de simulação que foram satisfeitas
Duração média da falha	Número médio de meses em falha, i.e., razão entre o número de meses em falha e o número de falhas
Resiliência	Percentagem de falhas mensais que não sucede a outra falha mensal

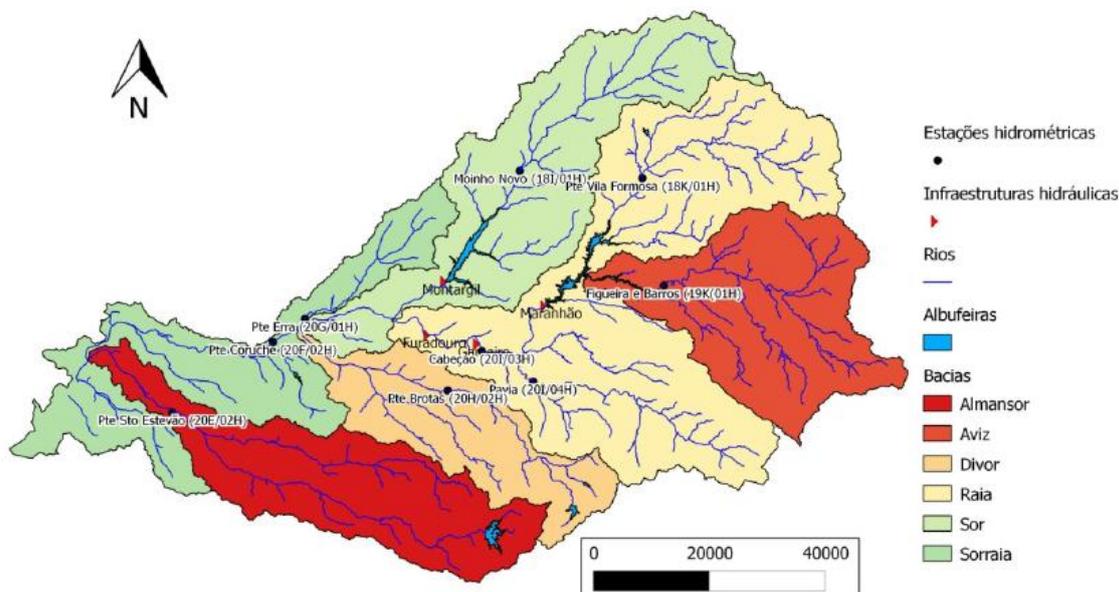


Figura 1 - Rede hidrográfica do Vale do Sorraia com respetiva rede hidrométrica.

As principais infraestruturas do Aproveitamento Hidroagrícola do Sorraia são as albufeiras de Montargil e do Maranhão e os açudes de Gameiro e Furadouro, cujas características são apresentadas no Quadro 2. Um canal de rega, com origem na albufeira do Maranhão, acompanha a ribeira de Seda e da Raia, passa junto aos açudes Gameiro e Furadouro antes de se ligar ao canal de Montargil e seguir para jusante. Neste percurso, a água é distribuída sucessivamente por canais adutores, distribuidores, regadeiras e bocas de rega até chegar às parcelas regáveis, agrupadas nos blocos de rega de Camões, Cabeção, Mora e Furadouro, abastecidos pela albufeira do Maranhão, Sôr, abastecido pela albufeira de Montargil, e Venda, Coruche, Benavente e Samora, abastecidos pelas duas albufeiras. A Figura 2 apresenta uma versão simplificada do sistema que foi objeto de simulação.

Os principais tipos de cultura desenvolvidos no aproveitamento são o arroz, o milho e o tomate, representando cerca de 70% da área cultivada. A área de cada cultura varia anualmente, apresentando-se no Quadro 3 os valores para 2009, adaptados de Marques (2012).

O volume anual utilizado para rega é de cerca de 160 hm³ e varia de ano para ano de acordo com opções dos agricultores, nomeadamente a área cultivada de arroz (INE, 2011). O tipo de cultura condiciona a dotação, o método de rega e os períodos de sementeira e de rega usuais (Quadro 4). A distribuição de água é realizada maioritariamente por gravidade, existindo algumas parcelas acima do nível da água servidas por estações elevatórias. O Quadro 5 apresenta a média dos volumes

utilizados na rega entre 2009 e 2013 fornecidos pela ARBVS¹ e as evaporações mensais (em mm) medidas em tinas de classe A nas estações de Maranhão e Vale do Gaio e às quais foi aplicado um fator corretivo de 0.7 (Marques, 2012).

Considerou-se uma infiltração mensal de 1% do volume armazenado nas albufeiras de Montargil e Maranhão e de 5% do volume escoado nos arcos. Com estes valores, o volume de água perdido por infiltração corresponde a cerca de 10% das aflúencias ao sistema.

4. RESULTADOS

4.1. Balanço hídrico global

O Quadro 6 apresenta o balanço hídrico do sistema obtido a partir dos resultados dos dois modelos. O valor das aflúencias anuais médias é idêntico porque se trata de um dado comum a ambos os modelos. De um modo geral, os resultados dos modelos são muito semelhantes. Nota-se que o IRAS-2010 dá valores mais elevados de evaporação e de perdas por infiltração e um valor mais baixo de volume fornecido. Note-se que as necessidades dos blocos de rega são de cerca de 145 hm³.

¹ Comunicação pessoal do Eng.º José Núncio, 17 de janeiro de 2014

Quadro 2 - Características das albufeiras e açudes do Vale do Sorraia (adaptado de Marques, 2012).

Infra-estrutura	Montargil	Maranhão	Gameiro	Furadouro
Ano conclusão	1958	1957	1960	1958
Função	Rega/ energia	Rega/ energia	Rega/ energia	Rega
Área da bacia (km ²)	1186	2282	3255	3374
Capacidade total (dam ³)	164300	205400	-	-
Capacidade útil (dam ³)	142700	180900	1300	400
Volume morto (dam ³)	21600	24500	-	-
Nível de pleno armazenamento (m)	80.00	130.00	62.00	42.50
Nível de máxima cheia (m)	80.75	130.90	65.00	46.50
Energia produzida em ano médio (GWh)	5.90	13.10	2.86	-
Caudal de descarga de fundo (m ³ /s)	36	44	-	-

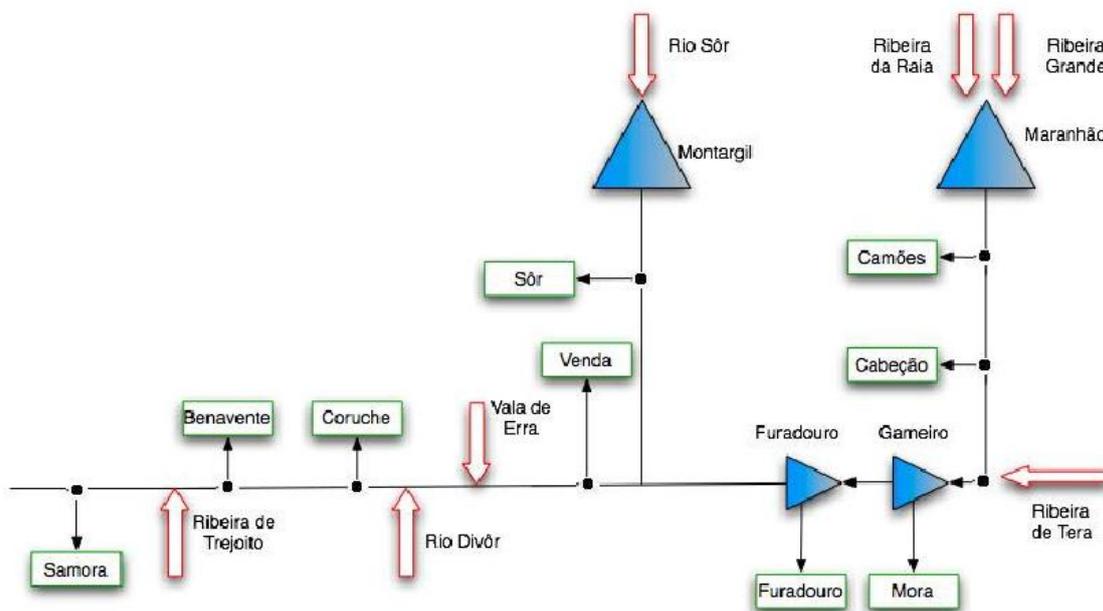


Figura 2 - Representação esquemática simplificada do sistema.

Quadro 3 - Área dos blocos de rega, em ha (adaptado de Marques, 2012).

Bloco	Arroz	Milho	Tomate	Pousio	Outras culturas	Total
Camões	0.00	572.13	0.00	514.92	2223.84	3310.88
Cabeção	0.00	11.12	0.00	129.23	126.58	266.94
Mora	0.00	200.31	69.24	149.20	334.67	753.43
Furadouro	0.00	315.81	69.56	101.54	154.31	641.21
Sôr	47.52	127.79	9.51	53.30	358.60	596.72
Venda	659.44	827.09	244.46	390.97	504.26	2626.23
Coruche	1348.28	688.57	304.64	312.15	481.58	3135.22
Benavente	2075.54	277.11	256.17	116.39	250.63	2975.84
Samora	1470.68	5.15	49.63	27.57	26.83	1579.85
Total	5601.46	3025.08	1003.21	1795.27	4461.30	15886.32

Quadro 4 - Dotação, método de rega e períodos de sementeira e rega usais (adaptado de Marques, 2012, e dos Anexos ao Contrato do Sorraia).

	Arroz	Milho	Tomate	Outras culturas
Dotação (m ³ /ha)	17000	7400	4500	4977.37
Método de rega	Alagamento	Aspersão	Gota-a-gota	Variável
		Gota-a-gota	Gravidade	
		Gravidade		
Período de sementeira	Abr./ Mai.	Abr./ Mai.	Mai.	Variável
Período de rega	Abr./ Mai. a Set./Out.	Abr./ Mai. a Out.	Mai. a Ago.	Variável

Quadro 5 - Média dos volumes utilizados na rega e evaporação mensal das albufeiras de Montargil e Maranhão.

Mês	Volume utilizado na rega (média entre 2009 e 2013)		Evaporação (mm)	
	(m ³)	%	Maranhão	Montargil
Out	4 249 894	2.93	101.9	85.0
Nov	0	0.00	35.2	29.4
Dez	0	0.00	31.5	26.3
Jan	0	0.00	29.2	24.4
Fev	0	0.00	29.2	24.4
Mar	2 469 922	1.70	55.4	46.3
Abr	5 301 546	3.65	101.2	84.4
Mai	16 627 730	11.46	174.6	145.7
Jun	26 202 640	18.06	165.6	138.2
Jul	35 871 087	24.72	196.3	163.8
Ago	33 991 114	23.43	200.8	167.6
Set	20 371 862	14.04	134.9	112.5
Total	145 085 794	100.00	1255.8	1048.0

Quadro 6 - Balanço hídrico global.

	AQUATOOL	IRAS-2010
Afluências anuais médias (hm ³)	2410	2410
Evaporação anual média (hm ³)	30	34
Perdas por infiltração médias (hm ³)	244	234
Volume fornecido (hm ³)	143	142
Escoamento para jusante (hm ³)	1992	2000

4.2. Validação dos modelos

A Figura 3 apresenta a evolução dos volumes armazenados nas albufeiras do Maranhão e de Montargil de acordo com a simulação do AQUATOOL e IRAS-2010, comparando-os com os volumes observados entre 1961/1962 e 1989/1990 (SNIRH). Consta-se que os resultados dos modelos são muito semelhantes entre si e próximos dos valores observados. Existem várias razões que podem justificar os desvios constatados entre os resultados dos modelos e os valores observados, nomeadamente eventuais erros na estimativa das afluências, das necessidades de água e das perdas por evaporação e infiltração. Acresce que as regras de operação inseridas nos modelos constituem uma simplificação de um processo de decisão complexo que ocorre na realidade. Estas regras assumem o conhecimento exato por parte do operador das albufeiras das intenções de rega dos agricultores e das necessidades de água a satisfazer em cada bloco de rega. Na prática, essa informação é incompleta, sendo por vezes realizadas descargas por excesso que não são integralmente aproveitadas a jusante. Este exercício admitiu também um volume de necessidades de água constante ao longo do período de simulação, quando na realidade este varia em função das opções dos agricultores no que respeita à área regada e às culturas

semeadas e, ainda, em resultado do aumento da eficiência dos sistemas de rega.

O Quadro 7 apresenta os indicadores de desempenho dados pelo AQUATOOL e pelo IRAS-2010. Os resultados são semelhantes: a garantia anual dada pelo AQUATOOL varia entre 93% nos blocos de rega Sôr, Coruche, Benavente e Samora, e 95%, nos restantes blocos, enquanto que no IRAS-2010, Samora tem uma garantia anual de 80% e Cabeção de 95%. Relativamente à vulnerabilidade, o AQUATOOL apresenta garantias volumétricas superiores a 98% e durações médias de falha entre 1.7 meses (em Venda) e 1.3 meses (em Camões, Cabeção, Furadouro e Mora), enquanto o IRAS-2010 tem garantias ligeiramente inferiores ao AQUATOOL (superiores a 95%), mas durações médias de falha superiores às obtidas pelo AQUATOOL, variando entre 3.6 meses, em Sôr e Coruche, e 5.7 meses em Cabeção. Finalmente, a resiliência obtida no AQUATOOL está acima dos 99% em todos os blocos de rega, enquanto que no IRAS-2010 varia entre 32% (em Samora) e 55% (em Sôr). Note-se que o AQUATOOL tem um módulo de otimização de operação e que o IRAS-2010 precisa da definição a priori das regras de operação. As falhas comuns a todos os blocos de rega no IRAS-2010 e no AQUATOOL ocorreram nos anos hidrológicos de 1944/1945, 1945/1946, 1976/1977 e 1980/1981, anos de seca.

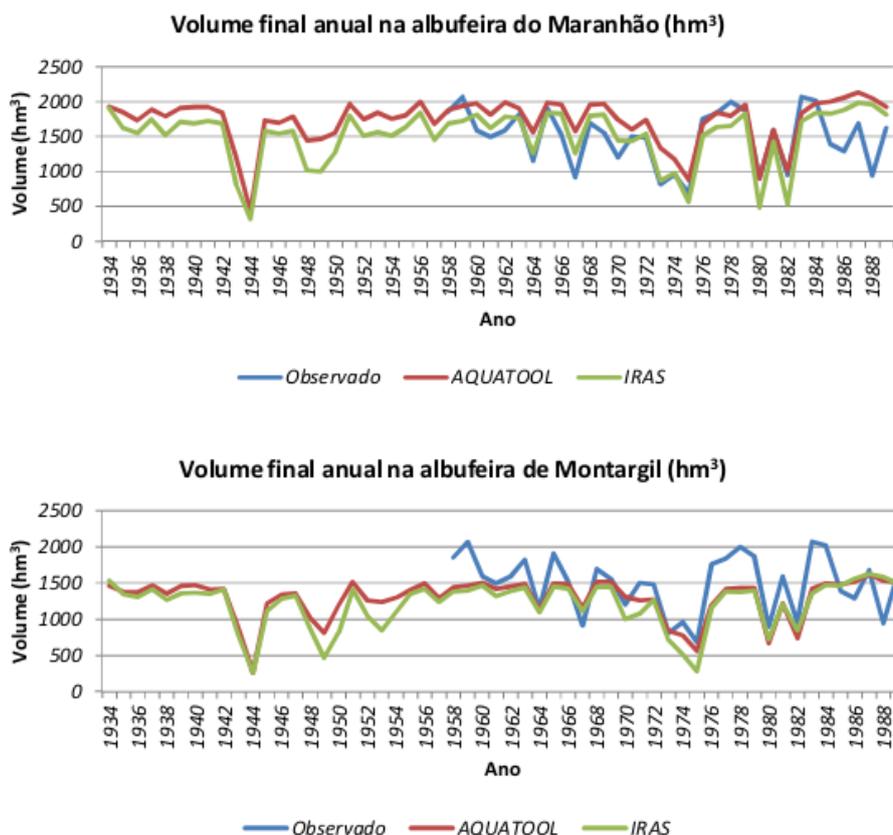


Figura 3 - Escoamentos anuais observado e simulado pelo AQUATOOL e IRAS nas albufeiras do Maranhão e de Montargil.

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos modelos IRAS-2010 e AQUATOOL são muito semelhantes entre si e as estimativas dos valores de volume armazenado nas albufeiras de Montargil e Maranhão são próximas dos valores observados, devendo as diferenças resultar de eventuais erros na estimativa das afluências, das necessidades de água e das perdas por evaporação e infiltração ou da simplificação das regras de operação do sistema. Os resultados para os indicadores de fiabilidade e vulnerabilidade são semelhantes. A resiliência é menor no IRAS-2010.

A forma de definir as políticas de operação do sistema no IRAS-2010, baseadas em regras que determinam a quantidade de água atribuída a cada uso em função da disponibilidade de água, dá ao utilizador um maior controlo sobre a operação do sistema e facilita a explicação dessas regras à comunidade de utilizadores de água, uma vez que a sua formulação é próxima das políticas aplicadas no mundo real. A otimização da operação do sistema é bastante mais demorada porque exige um trabalho manual de preparação e inserção de

dados e de melhoria incremental das políticas explicitadas no modelo. Esta tarefa pode, no entanto, ser automatizada associando o modelo de simulação a um módulo de otimização. A elevada rapidez de processamento do IRAS-2010 potencia esta associação. A definição da política de exploração no AQUATOOL é mais simples porque apenas exige a definição de objetivos do sistema, encarregando-se o modelo de encontrar a melhor forma de os satisfazer. Em contrapartida, as opções de distribuição e atribuição tomadas pelo modelo podem distanciar-se das implementadas na realidade e a explicação das diferenças pode tornar-se mais complexa. O modelo é, no entanto, muito útil para uma aferição rápida da capacidade do sistema em satisfazer os seus objetivos e para simular grandes sistemas onde a explicitação de regras de operação baseadas da oferta pode tornar-se muito difícil.

As capacidades de simulação dos dois modelos são também distintas. Destaque-se a capacidade do IRAS-2010 em simular o consumo e produção de energia e a possibilidade de considerar necessidades de água não estacionárias no tempo.

Quadro 7 - Indicadores de desempenho obtidos no AQUATOOL e no IRAS-2010.

Bloco de rega	AQUATOOL					IRAS-2010				
	Garantia		Vulnerabilidade		Resiliência (%)	Garantia		Vulnerabilidade		Resiliência (%)
	# Falhas anuais	Garantia anual (%)	Garantia Volumétrica (%)	Duração média da falha (mês)		# Falhas anuais	Garantia anual (%)	Garantia Volumétrica (%)	Duração média da falha (mês)	
Sôr	4	93	98	1.5	99	5	91	100	3.6	55
Camões	3	95	99	1.3	100	8	86	99	3.8	43
Cabeção	3	95	99	1.3	100	3	95	100	5.7	38
Furadouro	3	95	99	1.3	100	9	84	97	4.5	48
Mora	3	95	99	1.3	100	9	84	97	4.5	45
Venda	3	95	99	1.7	100	5	91	100	3.8	50
Coruche	4	93	99	1.5	100	6	89	99	3.6	41
Benavente	4	93	99	1.5	100	7	88	97	3.7	33
Samora	4	93	99	1.5	100	11	80	95	3.7	32

BIBLIOGRAFIA

- Andreu, J., Capilla, J. and Sanchis, E. (1991). AQUATOOL: A Computer-Assisted Support System for Water Resources Research Management Including Conjunctive Use, Decision Support Systems, NATO ASI Series, Volume 26, 1991, pp 333-355, Springer, Berlin.
- Andreu, J., Solera, A., Arquiola, J. (2007a). AQUATOOLDMA – Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de águas do usuário Hidráulica, MANUAL USUÁRIO versão 1.00, UPV, Valência, Espanha.
- Andreu, J., Solera, A., Romá, J., Polo, J. (2007b). SIMGES Simulation Model of Water Resource Management including Conjunctive Use, User Manual Version 3.02, UPV, Valência, Espanha.
- Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia, <http://www.arbvs.pt/>, consultado em dezembro de 2013.
- Brandão, C., Rodrigues, R. (2000). Hydrological simulation of the international catchment of Guadiana River, Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere 25(3):329-339.
- Christensen, F., ed. (2004). Coupling between the river basin management model (MIKE BASIN) and the 3D hydrological model (MIKE SHE) with use of OpenMI system, 6th International Conference on Hydroinformatics, Singapura, DHI.
- Delft Hydraulics (1991). RIBASIM: River basin simulation. Project Completion Report to Water Resources Commission, Taipei, Taiwan, R.O.C.
- Hansen, E. (1994). WEAP – A system for tackling water resource problems, Water Management Europe 1993/94: An Annual Review of the European Water and Wastewater Industry, Stockholm Environment Institute.
- Harou, J., Pinte, D., Tilmant, A., Rosenberg, D., Rheinheimer, D., Hansen, K., Reed, P., Reynaud, A., Medellin-Azuara, J., Pulido-Velazquez, M., Matrosov, E., Padula, S., Zhu, T. (2010). An open-source model platform for water management that links models to a generic user-interface and data-manager, In Swayne, D., et al. (Eds.), 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake: Ottawa, Canada, International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs).
- Hashimoto, T., Stedinger, J., Loucks, D. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, Water Resources Research, 18, 14-20.
- INE (2011). O uso da água na agricultura, Edição de 2011.
- Kenov, K., Ramos, H. (2012). Water and energy sustainable management in irrigation systems network, International Journal of Energy and Environment, Volume 3, Issue 6, pp.833-860.
- Labadie, J. (2004). Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review, Journal of Water Resources Planning and Management, 130(2), pp. 93-111.
- Loucks, D.P. (1992). Water Resource System Models: their role in planning, Journal of Water Resources Planning and Management, 118(3).
- Loucks, D., French, P., Taylor, M. (1995). IRAS – Interactive River-Aquifer Simulation: Program Description and Operation, Resources Planning Associates, Incorporated, Ithaca, Nova Iorque, EUA.
- Marques, A. (2012). Simulação Matemática da Operação do Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Sorraia, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Novembro.
- Matrosov, E.S., Harou, J., Loucks, D. (2011). A computationally efficient open-source water resource system simulator - Application to London and the Thames Basin, Environmental Modelling & Software, Volume 26, Issue 12, 1599-1610, December 2011.
- Oliveira, R. (1995). Estudo de simulação do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva, LNEC.
- Oliveira, R., Loucks, D. (1997). Operating rules for multireservoir systems, Water Resources Research, Volume 33, Issue 4, pages 839-852, April 1997.
- Yeh, W. (1985). Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review, Water Resources Research, Volume 21, Issue 12, pages 1797-1818, December 1985.
- Wurbs, R. (1996). Modeling and Analysis of Reservoir Systems Operation, Prentice Hall, NJ, EUA.
- Wurbs, R. (2005). Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System model, Texas Water Resources Institute, Texas, EUA.

