

A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO CONFLITO DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

Frederico Fábio Mauad¹

Resumo - Este artigo tem como objetivo principal analisar a competição entre os usos múltiplos, no Aproveitamento hidrelétrico de Alqueva, localizado em Portugal. O sistema simulado inclui a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão, além dos rios Guadiana e Ardila. Considerou-se que o sistema teria de fornecer água para os consumos urbano e industrial, para irrigação para a geração de energia e para o reforço de abastecimento ao Algarve e eventualmente ao sul de Espanha. Foi utilizado o modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation desenvolvido pela Universidade de Cornell e pela Resources Planning Associates para apoiar o gerenciamento de sistemas de recursos hídricos. Os resultados do modelo incluem os valores que cada variável simulada assumiu ao longo da simulação. O programa calcula vários índices e funções que indicam o nível com que os objetivos da operação do sistema foram satisfeitos. O programa estima a função de probabilidade de resiliência que indica a probabilidade de ocorrência de sequências de falhas de fornecimento com várias durações, e uma função de probabilidade de vulnerabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de falhas de fornecimento com várias magnitudes.

Abstract - The main goal of this article is to analyze the competition between multiples uses in the hydroelectric utilization of the Alqueva located in Portugal. The simulation system includes the Alqueva and Pedrogão dams, besides the Guadiana and Ardila rivers. It was considered that the system would have to supply water for urban and industrial consume, for irrigation, for energy generation, for a backup in the supply to the Alqueva and eventually to the South of Spain. The IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation model developed by University of Cornell and by Resources Planning Associates was used to support the water resources system management. The results of the model include the values that each simulated variable assumed throughout the simulation. The program calculates a variety of rates and functions that indicate the levels in which the goals of the system operation were satisfactory. The program esteems the resistance probability

¹Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento . Av. Trabalhador São-carlense, nº400 – cep. 13566-590, São Carlos/SP. Tel. (16) 273-9525 - Fax (16)273-9550. e-mail: mauadffm@sc.usp.br.

function that indicates the probability of a sequence of failures that can happen in supply with a variety of duration.

Palavras-chave - recursos hídricos, simulação computacional, aproveitamento hidrelétrico.

INTRODUÇÃO

A simulação computacional realizada neste estudo utiliza elementos fornecidos pela Empresa de Desenvolvimento e Infra-Estruturas de Alqueva, S.A. (EDIA). O sistema simulado inclui a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão, e os rios Guadiana e Ardila. É utilizado o modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation. A simulação utiliza um intervalo de cálculo diário, mas os valores diários de afluências, perdas e consumos de água são calculados a partir de valores mensais.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA UTILIZADO

A Figura 1 apresenta o esquema do sistema simulado. Estão representados dois cursos de

água, o rio Guadiana e o rio Ardila, e duas estruturas de armazenamento, a barragem de Alqueva e um açude a jusante desta em Pedrogão.

Considera-se que a tomada de água para abastecimento urbano e industrial e para irrigação é efetuado no reservatório de Alqueva, e que a tomada de água para o reforço do abastecimento ao Algarve e a Espanha é realizada a partir do açude de Pedrogão.

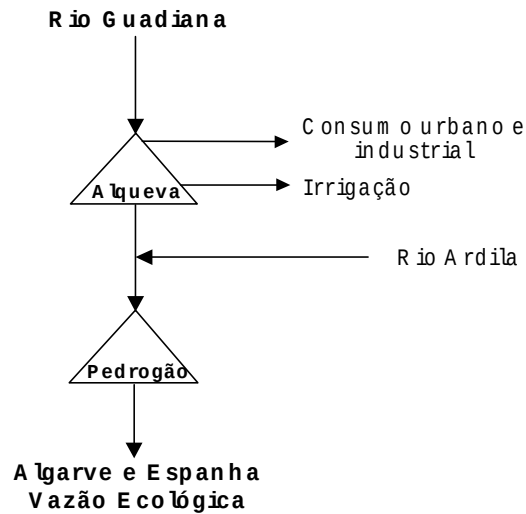


Figura 1 - Esquema do Empreendimento de Alqueva simulado.

As características principais dos reservatórios da barragem de Alqueva e do açude de Pedrogão estão resumidas no quadro 1.

Quadro 1 - Características dos reservatórios de Alqueva e Pedrogão

Reservatório	Cap. (hm ³)	Vol. útil (hm ³)	NPA (m)	NME (m)
Alqueva	4150	3117	152.0	130.0
Pedrogão	106	54	84.8	80.0

Foi utilizada a série de escoamentos do rio Guadiana e Ardila calculada pela DPSP, (1997). As séries incluem 38 anos de dados do período de 1956/57 a 1994/95.

Consumos urbano e industrial

Segundo as estimativas mais atualizadas da Hidrotécnica Portuguesa, o consumo anual urbano e industrial no horizonte de projeto é cerca de 100 hm³, distribuído de forma uniforme ao longo do ano. Considera-se que este volume de água é retirado diretamente do reservatório de Alqueva.

Consumo de Irrigação

A Comissão Instaladora do Empreendimento de Alqueva – CIEA estima o consumo anual para irrigação no horizonte projeto em cerca de 990 hm³. De acordo com os estudos efetuados, no que diz respeito ao método de irrigação considerado, verifica-se que cerca de 85% da área total é

irrigada por aspersão e os restantes 15% por gravidade. No quadro 2 são apresentadas as áreas irrigadas por aspersão e gravidade. Admiti-se que estes volumes de água são retirados diretamente do reservatório de Alqueva.

Quadro 2 – Sistema Baixo Alentejo

Sistema	Áreas (ha)				
	Aspersão	%	Gravidade	%	Total
Baixo Alentejo	96 543	85	16 138	15	112 681

Consumo no Algarve e Espanha

Dada a atual incerteza quanto às necessidades de água para abastecer o Algarve e eventualmente o sul de Espanha são considerados dois valores para este consumo - 200 e 400 hm³/ano - que são distribuídos uniformemente ao longo do ano. Supõe-se que o abastecimento ao Algarve e a Espanha é feito a partir do açude de Pedrogão.

Consumo de Água na Produção de Energia Elétrica

Em relação às necessidades de água para a produção de energia elétrica considera-se que quando o nível de armazenamento do reservatório de Alqueva é inferior a 151.3 m, todas as vazões turbinadas são posteriormente bombeadas. Quando o nível de água do reservatório de Alqueva é superior a 151.3 m, podem ser turbinadas as vazões sem serem posteriormente bombeadas. Assim, o volume de água armazenado entre as cotas 151.3 m e 152.0 m que corresponde a 150 hm³, não pode ser utilizado para abastecer o consumo urbano e o perímetro de irrigação do Baixo Alentejo. A produção de energia no aproveitamento de Alqueva para as atuais metas da área a ser irrigada, ou seja aproximadamente 110 000 ha, estão demonstradas no quadro 3 a seguir:

Quadro 3- Produções anuais médias, em GWh, sem bombeamento

Ano	2001	2002	2005	2010	2015	2020
Alqueva	-	276.1	240.9	211.7	182.8	164.9

Consumo da Vazão Ecológica

No que diz respeito a vazão ecológica foram consideradas, para este estudo duas hipóteses. A primeira hipótese não condiciona a regra de operação do sistema à manutenção de vazões ecológicas mínimas. A segunda hipótese garante uma vazão mínima de $5 \text{ hm}^3/\text{mês}$ à jusante de Pedrogão.

DEFINIÇÃO DAS REGRAS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

A regra de operação do reservatório de Alqueva estabelece uma reserva de água abaixo de um certo nível N^* (a que corresponde um volume V^*) que apenas é utilizada para abastecer o consumo urbano e industrial e para manter as vazões ecológicas mínimas. Se a cota do nível de água se situar entre N^* e os 151.3 m pode ser fornecida água para irrigação, e caso o volume armazenado no açude de Pedrogão mais as afluições do rio Ardila não forem suficientes para abastecer o Algarve e o sul de Espanha, podem também ser realizadas descargas para cobrir este déficit de água.

Finalmente, os volumes de água armazenados acima da cota 151.3m são exclusivamente utilizados para a produção de energia. A Figura 2 descreve genericamente a regra de operação do reservatório de Alqueva utilizada.

A grande vantagem da regra de operação utilizada é que a produção de energia pode ser ignorada no cálculo dos níveis de garantia de abastecimento dos diversos consumos. Basta para isso considerar que a capacidade do reservatório é de 4000 hm^3 , dado que os 150 hm^3 de água armazenados entre as cotas 151.3 m e 152.0 m são exclusivamente destinados à produção de energia. É claro que este volume de água aflui ao reservatório de Pedrogão e poderá ser utilizado para o abastecimento do Algarve e do sul de Espanha.

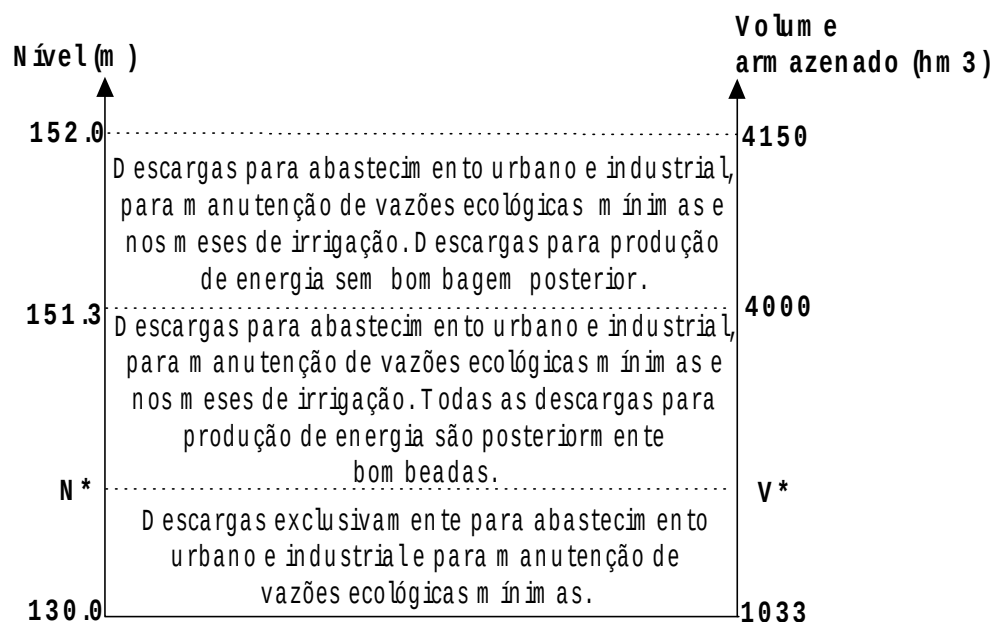


Figura 2 - Regra de Operação do Sistema Alqueva.

DADOS LIMITES UTILIZADOS NO MODELO IRAS

Um dos mecanismos usados por IRAS para ajudar a identificar quando e onde as variáveis do sistema podem estar em um estado ou em uma escala não satisfatória, envolve o uso de valores de limites iniciais. Para cada variável simulada podem ser atribuídos dois valores de limites iniciais. Estes dois valores dividem os valores possíveis da variável em três seções ou zonas. A cada uma destas zonas pode ser atribuída uma cor verde (satisfatório), amarelo (advertência) ou vermelho (insatisfatório). Há seis combinações possíveis de atribuições da cor ou zona alternativa. Os dois limites iniciais associados com cada variável da simulação não afetam os resultados da simulação; entretanto muitas das características estatísticas e outras do indicador do desempenho disponíveis em IRAS empregam estes valores de limites iniciais e zonas coloridas de valores variáveis. As seis combinações possíveis que podem ser escolhidas para as três escalas de valores para cada variável estão demonstradas no quadro 6.

Quadro 6 - Combinações alternativas de cor associadas com as zonas de valores variáveis

Alternativa	1	2	3	4	5	6
Zona Elevada	Amarelo	Verde	Verme.	Verme.	Verme.	Amar.
Zona Média	Verde	Amar.	Amar.	Verde	Verde	Verde
Zona Baixa	Vermelho	Verme.	Verde	Amar.	Verme.	Amar.

As variáveis do volume de armazenamento do aquífero, do lago e do reservatório optam pela alternativa número 1, na suposição que os volumes do armazenamento em uma escala média são melhores representados do que em casos extremos. Todas as variáveis de afluências e de efluências, incluindo o consumo do reservatório, optam pelo número alternativo 2.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O índice de confiabilidade ou garantia é calculado a partir do número de vezes simuladas que os objetivos foram satisfeitos. Caso não seja satisfeito, o objetivo de operação do sistema diz-se que ocorreu uma falha.

$$\text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\text{nº de valores simulados na zona insatisfatória}}{\text{nº de períodos simulados}} \quad (1)$$

A resiliência é uma medida da variável, se encontrar no próximo período de tempo numa zona mais satisfatória, estando neste período de tempo numa zona insatisfatória ou de alerta. Esta estatística tenta medir a capacidade do sistema recuperar-se de uma situação não satisfatória em que se encontra. Deste modo são construídas as seguintes estatísticas(amarelo e vermelha) para os resultados da simulação:

$$\text{"resiliência"} = \frac{\text{nº de vezes que um valor na zona insatisfatória foi seguido de um valor na zona satisfatória}}{\text{nº de valores simulados na zona insatisfatória}} \quad (2)$$

Após a escolha das opções neste caso particular é a opção 1 para o armazenamento e 2 para os demais parâmetros, é feita a simulação e o indicador de resultados detecta pontos vermelhos nos seguintes locais: reservatório de Alqueva, local do consumo Algarve e da vazão ecológica, os pontos amarelos não serão apresentados neste trabalho, mas foram detectados no local do consumo urbano e industrial e do consumo por irrigação. A confiabilidade amarela do reservatório de Alqueva foi de 98%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em somente 2% dos 38 anos simulados, sendo esta a zona amarela da alternativa 1, ou seja, a zona superior. Caracterizando-se assim uma confiabilidade bastante boa em relação ao aproveitamento hidrelétrico de Alqueva. A confiabilidade verde do reservatório de Alqueva é de 23% em relação a zona média da opção 1 escolhida. A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 1 para a zona verde ou intermediária é de 28% ou seja uma porcentagem pequena. Em relação a recuperação do sistema da zona verde para a zona amarela da resiliência é de $0,29^{-01}\%$, ou seja praticamente desprezível. A Figura 3 mostra os índices de confiabilidade e de resiliência no reservatório de Alqueva.

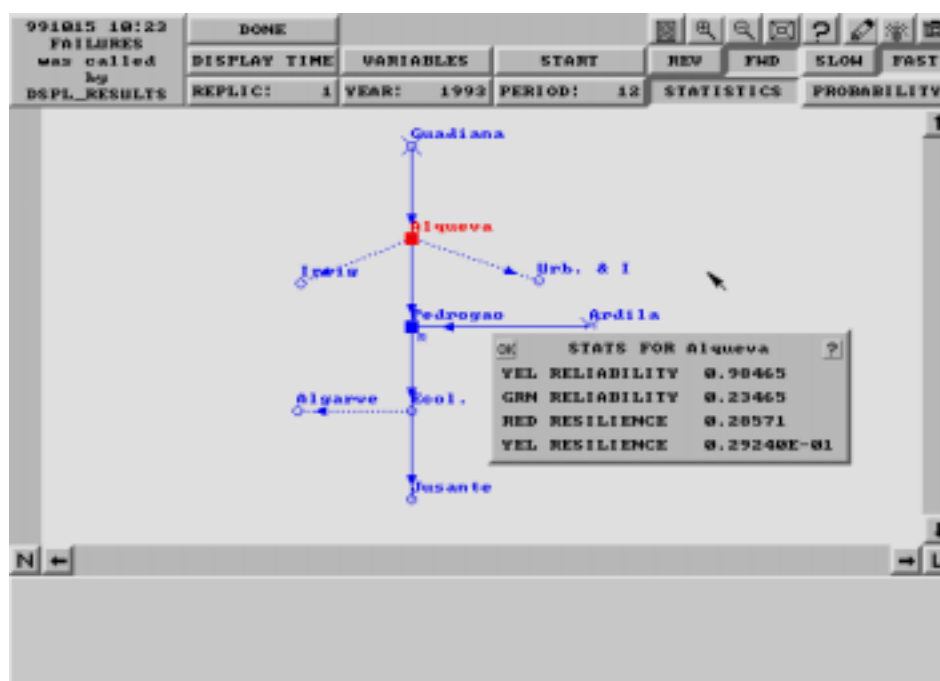


Figura 3 – Índices de confiabilidade e resiliência em Alqueva

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, P. S. F. *Planejamento da operação de um sistema de reservatórios múltiplos para geração hidroelétrica*. Dissertação de Mestrado apresentada a EPUSP. São Paulo: 127 p.

- BETTENCOURT, M. L. *Frequencia de ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal*. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1975.
- CARMO, M. B. *Optimização e Simulação do Sistema Hidroelétrico do Alto Cunene*. Dissertação de Mestrado, IST, UTL, Lisboa.
- COSTA, et al. *Bacia Portuguesa do Guadiana. Caracterização Hidrológica Sumária*, Uninova-Direção-Geral do Ambiente - LNEC, 1993.
- Hidrotécnica Portuguesa, Empreendimentos do Sistema Produtor, Lisboa, 1997.
- LOUCKS et al. Interactive River-Aquifer Simulation. Program Description and Operation, 1994.
- OLIVEIRA, R. *Simulação do Empreendimento de Alqueva*. Relatório 333/95, LNEC.