PERFORMANCE DE UM RESERVATÓRIO NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO NO ATENDIMENTO À DEMANDAS ÓTIMAS PARA IRRIGAÇÃO

ALCIDNEY BATISTA CELESTE[1], ROBERTA LIMA BARBOSA[2], WILSON FADLO CURI[3] E ROSIRES CATÃO CURI[4]

[1] Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande -PB, (83) 88030391, alcidney@yahoo.com.br.

[2] Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande -PB.

[3] PhD, Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Física, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande-PB.

[4] PhD, Professora Adjunta da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande-PB.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: Este estudo determina e analisa os indicadores referentes à Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade do açude Piranhas, situado na região semi-árida do estado da Paraíba, em relação ao atendimento de demandas otimizadas para práticas potenciais de irrigação. Utilizou-se para tanto, um modelo de simulação, no qual se verificou o comportamento do reservatório para uma série histórica de 53 anos. As demandas ótimas para irrigação foram determinadas a partir de um cenário anual padrão, em que se utilizam valores médios hidrológicos e agronômicos e foram calculadas com o uso de um modelo de otimização baseado em programação não-linear. Os resultados alcançados foram de 84,6% para confiabilidade, 29,6% para resiliencia e 75,3% para vulnerabilidade. Eles estão de acordo com o comportamento típico de atendimento as demandas em regiões semi-áridas, ou seja, quando ocorrem falta de água, geralmente, é demorada (baixa resiliencia) e severa (alta vulnerabilidade).

PALAVRAS CHAVE: Indicadores de desempenho, Otimização, Simulação, Irrigação.

PERFORMANCE INDEXES FOR A OPTIMAL IRRIGATION WATER DEMAND SUPPLIED BY A RESERVOIR LOCATED IN THE SEMI ARID REGION OF PARAIBA STATE

ABSTRACT: This work is concerned with the determination and analyse of the reliability, resilience and vulnerability performance indexes for a potential irrigation water demand, which were attained from a nonlinear optimization procedure, to be supplied by the Piranhas reservoir. The reservoir is located at the semiarid region of Paraiba state. A simulation model over a 53 years monthly time series data was used to determine those indexes. The optimal crop area allocation and their water requirements were obtained from a nonlinear optimization model applied to a monthly averaged climatic, agricultural and hydrologic data. The attained indexes were 84,6% for reliability, 29,6 % resiliency and 75,3% for vunerability. Those results are in accordance with the semiarid region reservoirs behavior, that is, when there exists water shortage it may last for a long time period (low resilience) with a great impact (high vulnerability).

KEYWORDS: Performance indexes, Optimization, Simulation, Irrigation**.**

INTRODUÇÃO: Os estudos de alternativas operacionais, em especial na operação de reservatórios, são comumente feitos por meio de aplicação de metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de *Otimização e Simulação* (YEH, 1985; SIMONOVIC, 1992; WURBS, 1993 e LABADIE, 1984), visando soluções aos problemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos

desses sistemas. A aplicação de técnicas de otimização para determinação do potencial de áreas irrigadas a partir dos recursos hídricos acumulados em reservatórios de acumulação carecem de verificação com respeito à ocorrência de falhas no atendimento, suas severidades e tempo de retorno à situação de normalidade (PEDREIRA, 2005). O objetivo desse estudo foi determinar e analisar os indicadores referentes à Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade do açude Piranhas, situado na região semi-árida do estado da Paraíba, em relação ao atendimento de demandas otimizadas para práticas potenciais de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS: O reservatório estudado foi o açude Piranhas, que está localizado na bacia hidrográfica do Rio Piancó, situada no semi-árido do estado da Paraíba. O reservatório tem uma capacidade de aproximadamente 25 milhões de m³ e atualmente é utilizado apenas ao abastecimento da cidade de Ibiara, localizado na mesma região, com uma população estimada em 5860 habitantes. A metodologia do trabalho partiu inicialmente da utilização de um cenário anual padrão, o qual se utiliza de valores médios. Estes valores são referentes às características climáticas, hidrológicas e agrícolas da região. As séries pluviométricas e fluviométricas utilizadas compreendiam uma série de 53 anos e foram obtidas do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba - PDRH-PB (SCIENTEC, 1997). Quanto aos dados agrícolas, trabalhou-se com duas culturas representativas, uma cultura perene hipotética, representativa das culturas perenes reais e uma cultura sazonal hipotética, representativa das culturas sazonais. As características agronômicas, como: produtividade, custo de produção, preço de venda, etc. e as características do sistema de irrigação utilizado, também foram valores médios calculados a partir das características agronômicas e do sistema de irrigação das culturas reais. Com relação à cultura sazonal representativa, considerou-se um ciclo fenológico médio em torno de 4 meses e subdividiu-se o plano cultural, além da cultura perene representativa, em 12 culturas sazonais, diferenciando-se entre si apenas pelo mês inicial de plantio, como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Plano cultural utilizado

Cultura	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Perene	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sazonal 1	■	■	■	■								
Sazonal 2		■	■	■	■							
Sazonal 3			■	■	■	■						
Sazonal 4				■	■	■	■					
Sazonal 5					■	■	■	■				
Sazonal 6						■	■	■	■			
Sazonal 7							■	■	■	■		
Sazonal 8								■	■	■	■	
Sazonal 9									■	■	■	■
Sazonal 10	■									■	■	■
Sazonal 11	■	■									■	■
Sazonal 12	■	■	■									■

Quanto ao modelo de otimização aplicado, trata-se do modelo ORNAP, desenvolvido por CURI e CURI (2003), em escala mensal e é baseado em técnicas de programação não-linear. Quando da convergência do processo de otimização, o modelo gera resultados referentes aos estados do reservatório a cada mês, as vazões mensais ótimas liberadas para irrigação, as áreas ótimas irrigadas por cultura e as respectivas receitas líquidas adquiridas com a irrigação. Os valores das vazões ótimas para irrigação obtidas na otimização, foram usados como dados de entrada para o modelo de simulação aplicado posteriormente. Trata-se do modelo ACQUANET (LABSID, 2002), que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Para a simulação, utilizou-se uma série histórica de influxos de 53 anos de dados (636 meses). Terminada a simulação do sistema, foi possível verificar o comportamento do reservatório, mês a mês, ao longo de toda a série em atender as demandas ótimas de irrigação. A partir dos resultados da simulação, foram calculados os indicadores

de performance que, segundo HASHIMOTO *et al.*(1982) são: A Confiabilidade (*Conf)*, que expressa a percentagem do tempo em que o reservatório atende suas demandas, a Resiliência (*Res)*, que indica quão rapidamente o reservatório se recupera de uma falha, caso esta tenha ocorrido e a Vulnerabilidade (*Vul*) que expressa a magnitude dessas falhas. Pela Figura 1:

$$Conf = Prob(V_t \in S)$$

$$Res = \frac{\Pr ob(V_t \in F \; e \; V_{t+1} \in S)}{\Pr ob(V_t \in F)}$$

$$Vul = \frac{1}{n_f} \sum \left| \frac{V_t - V_d}{V_d} \right|$$

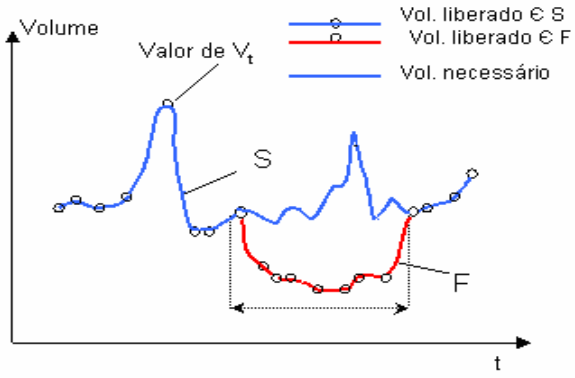

Figura 1 - Exemplo fictício de operação de reservatório

Onde: V_d é o volume necessário, V_t é o volume liberado no mês *t*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Os resultados encontrados na operação do açude Piranhas estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 1, têm-se as áreas totais potencialmente irrigaveis e respectivas receita líquidas obtidas por cultura, na operação do reservatório, no processo de otimização, obtendo-se uma área irrigada total em torno de 2590 ha, gerando uma receita líquida total de R$ 23.181 mil.. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados operacionais do reservatório, os quais são: o volume final do reservatório mês a mês, volume evaporado, vazões ótimas para irrigação, precipitação efetiva e evapotranspiração na área irrigada. Dentre os resultados da otimização, as vazões ótimas, em destaque na Tabela 2, foram utilizadas como dados de entrada para a simulação.

Tabela 1 - Áreas ótimas e receitas líquidas totais

	OPERAÇÃO ÓTIMA DO AÇUDE PIRANHAS	
CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (mil R$)
Perene	94,0	629,5
Sazonal 1	851,6	5494,7
Sazonal 2	834,0	11833
Sazonal 3	1,3	8,5
Sazonal 4	0,5	3,4
Sazonal 5	0,2	1,3
Sazonal 6	0,1	0,3
Sazonal 7	0,1	0,6
Sazonal 8	0,0	0,0
Sazonal 9	136,7	881,7
Sazonal 10	0,0	0,2
Sazonal 11	238,2	1536,8
Sazonal 12	432,6	2791,3
Total	**2589**	**23181**

Tabela 2 - Resultados operacionais do Reservatório

Vol. inicial =20,8 hm³, Vmáx = 25 hm³

MÊS	P/ RESERVATORIO			P/ ÁREA IRRIGADA		
	VOL. RESERV (hm³)	VOL. EVAP. hm³)	VOL. VERT. (hm³)	**VAZ. IRRIG (hm³)**	PREC. EFET. (hm³)	EVPT. (hm³)
AGO	20,2	0,43	0	**0,23**	0	0,18
SET	19,2	0,46	0	**0,57**	0	0,44
OUT	17,9	0,49	0	**0,80**	0	0,61
NOV	15,9	0,44	0	**1,48**	0	1,12
DEZ	13,3	0,39	0	**2,30**	0,23	1,96
JAN	10,7	0,30	0	**2,59**	1,29	3,23
FEV	10,5	0,23	0	**1,18**	4,78	5,41
MAR	13,9	0,26	0	**0,60**	5,54	5,91
ABR	19,5	0,28	0	**1,04**	4,26	4,93
MAI	20,3	0,29	0	**3**	0,84	2,78
JUN	21,1	0,29	0	**0,13**	0,02	0,12
JUL	20,8	0,35	0	**0,17**	0,01	0,15
MÉDIA	16,9	0,35	0	**1,14**	1,41	2,24

Onde: VOL RESERV - Volume do reservatório, VOL. EVAP - Volume evaporado, VOL. VERT. Volume vertido, VAZ IRRIG - Volume para irrigação, PREC. EFET.- Precipitação efetiva, EVPT - Evapotranspiração

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados do modelo de simulação e dos indicadores de desempenho do reservatório. Dentre os resultados da simulação, constam: a quantidade de meses em que o reservatório atendeu suas demandas (M_S), a quantidade de meses em que ocorreram falhas no atendimento (M_F), a quantidade de meses em que o reservatório estando em falha num mês, se recupera no mês seguinte (M_{F-S}) e o déficit hídrico total durante todo o período simulado.

Tabela 3 - Resultados da simulação e indicadores de desempenho do reservatório

M_S	M_F	M_{F-S}	Déficit hídrico (hm³)
538	98	29	109,5
INDICADORES DE DESEMPENHO			
CONFIABILIDADE	RESILIÊNCIA	VULNERABILIDADE	
84,6 %	29,6 %	75,3 %	

CONCLUSÕES: De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que o açude Piranhas atende bem as demandas ótimas de irrigação, com uma confiabilidade em torno de 85%. O baixo valor da resiliência demonstrou que o reservatório tem baixa capacidade de recuperação quando o mesmo se encontra em estado de falha, uma vez que ele leva em média 3 meses para se recuperar de uma falha. A vulnerabilidade em torno de 75% indica que as falhas são bastante severas. O déficit hídrico de 109,5 hm^3 foi com base em um intervalo de tempo de 53 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CURI, W. F.; CURI, R.C., ORNAP (2003) Optimal Reservoir Network Analysis Program. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió. **Anais**...Maceió. CD-ROM.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resour. Res.**, 18(1), pp. 14-20.

LABADIE, J. W.; PINEDA, A. M.; BODE, D.A. (1984). Network analysis of raw supplies under complex water rights and exchanges**: Documentation for program MODSIM3**. Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado, EUA.

LABSID – Laboratório de sistemas de suporte a decisão – USP (2002). **ACQUANET – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos – manual do usuário**. p. 22.

PEDREIRA, G.C. (2005**), Estudo da otimização do uso dos recursos hídricos do reservatório Poço Redondo e determinação de indicadores de desempenho do reservatório e do perímetro irrigado.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- graduação em Eng. Civil e Ambiental, área de concentração: Recursos hídricos, UFCG, Campina Grande, p.155.

SCIENTEC (1997), Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN.

SIMONOVIC, S. P.(1992). Reservoir System Analysis: Closing gap between theory and pratice. **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.,** Nova York, vol. 118, n.3. p.262-280.

YEH, W. W-G. (1985). Reservoir Management and Operations Model: a State-of-the-Art Review. **Water Resources Research**, Vol. 21, n. 12, pp. 1797-1818, December.

WURBS, R. A. (1993). Reservoir-system Simulation and Optimization Models **J. Water Resour. Plann. Manage. Am. Soc. Civ. Eng.,** Nova York, v. 119, n.4, p.455-472.