

Estudo hidrológico das possibilidades de irrigação do rio Una

Henry Maksoud

Prof. de Hidrologia do Centro Panamericano de Aperfeiçoamento para Pesquisas de Recursos Naturais, — IPGH — OEA.

O rio Una é um curso-d'água tributário da margem direita do rio Paraíba do Sul, que desemboca entre as cidades de Tremembé e Pindamonhangaba no Estado de São Paulo. Sua área de drenagem total mede cerca de 400 km². A rede de drenagem da bacia inclui o próprio rio Una que procede da parte sul da bacia, e, próximo à localidade chamada Registro, recebe, pela direita, o Ribeirão das Almas que é o mais importante de seus afluentes e drena a região Sul-Oriental da Bacia. Pela esquerda, o único tributário que se pode destacar é o Ribeirão do Itaim, que drena uma área de 57 km² situada a sudoeste na bacia e desemboca no Una a uns 16 km acima do ponto de união deste com o Paraíba. Nesta breve descrição pode-se mencionar também o afluente do Ribeirão das Almas chamado Ribeirão do Pouso Frio, o qual, por sua vez, recebe as águas do Ribeirão das Sete Voltas. Além desses cursos-d'água, a rede fluvial se compõe de vários outros pequenos tributários.

Nos últimos 20 km de seu percurso, o Rio Una possui um vale com uma topografia caracterizada por dois conjuntos típicos de terrenos, a saber:

- 1) Terrenos aluviais quasi planos que constituem a planície de inundação; esta planície, que em alguns pontos ultrapassa

a largura de 1 km, estende-se até a desembocadura onde se junta com a extensa várzea do Paraíba.

- 2) Terrenos elevados mais ou menos ondulados, que, de ambos os lados, margeiam a planície aluvial, apresentando o aspecto de terraços; estes terrenos, devido à era de sua origem são denominados terrenos terciários.

A fig. 1 mostra esquematicamente a posição relativa dos terrenos citados, numa secção hipotética do vale neste trecho inferior da bacia. Cabe mencionar que uma parte dos terrenos aluviais da bacia do Una já está sendo utilizada para fins agrícolas, principalmente para o cultivo de arroz; parte do deflúvio do rio Una tem sido derivado para a irrigação dessas áreas cultivadas. A irrigação de uma área de cerca de 800 Ha, de várzea da margem direita do rio Paraíba, entre a barra do Una e Pindamonhangaba, também tem sido feita com água do rio Una.

O estudo que aqui se descreve teve por finalidade obter informações quantitativas que permitissem uma avaliação das possibilidades de utilização dos recursos de água do rio Una para a irrigação dos terrenos aluviais e terciários, disponíveis no trecho inferior de sua bacia e adjacências, e na várzea do Paraíba.

* Este trabalho, efetuado sob a direção do autor, constitui parte do Seminário de 1956 do Setor de Hidrologia do Centro Panamericano de Recursos Naturais, no qual tomaram parte os seguintes bolsistas: Leandro J. Primo (Argentina) Pedro Vargas Fernández (Bolívia); Victor Rodrigues Garcia (Colômbia); Roger Prendas Muñoz (Costa Rica); Jaime Cevallos Murillo (Equador); Guillermo Imery (El Salvador); Ernesto Gutierrez Gutierrez (Nicaragua) José R. Rosa e Carlos Tong See (Panamá).

Colaborações

O trabalho constou de duas partes principais: A primeira parte consistiu da estimativa das demandas de água que ocorreriam para áreas irrigadas de diversos tamanhos e vários padrões de utilização dos terrenos disponíveis. A segunda parte envolveu a determinação dos volumes de armazenamento necessários em um reservatório num dado ponto, para a regularização do rio Una para suprir as demandas de irrigação estimadas. Foi também estudada a possibilidade de utilizar o reservatório para o controle de enchentes.

PARTE I

AVALIAÇÃO DAS DEMANDAS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

a) Padrão de Utilização com Irrigação dos Terrenos Disponíveis

Os terrenos disponíveis para o cultivo com irrigação são de dois tipos gerais: terrenos de várzea e terrenos terciários. Devido ao fato de que esses terrenos deverão comportar diferentes culturas e também métodos dissimilares de irrigação, há necessidade de considerá-los separadamente na avaliação das demandas de água para irrigação. Por isso, quando se fala em área total irrigada é preciso saber-se que porcentagem dessa área é constituída de terrenos de várzea ou de terciários. Para um determinado tamanho de área irrigada, é possível ter-se vá-

rias combinações proporções da área total ocupadas por terrenos de várzea e terrenos terciários. Por exemplo, para uma área total de 1000 Ha, 600 Ha (60%) ou 800 Ha (80%) poderiam ser de terrenos aluviais com determinado sistema de culturas e os restantes 400 Ha ou 200 Ha seriam terrenos terciários com outro sistema de utilização.

Um estudo mais demorado e detalhado talvez pudesse indicar aproximadamente a combinação ou combinações mais adequadas, economicamente, para o caso. Para as finalidades deste trabalho, porém, e levando em conta algumas hipóteses possíveis, foram estabelecidos quatro padrões arbitrários de utilização dos terrenos. A Tabela 1 indica a porcentagem ocupada por cada tipo de terreno para cada padrão considerado.

TABELA 1 — Padrões de utilização dos terrenos disponíveis.

Porcentagem da área irrigada ocupada por cada tipo de terreno.

TIPO DE TERRENOS

Padrão	Terrenos de Várzea	Terrenos terciários
I	100%	0%
II	80%	20%
III	70%	30%
IV	60%	40%

TABELA 2 — PADRÃO I: DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL MENSAL DAS CULTURAS NA ÁREA IRRIGADA.

MÊS												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CULTURA												
ARROZ	100	100	100								100	100
TOMATE				9	9	9	9	9	9			
BATATINHA INGLESA					14	14	14	14				
FEIJÃO							14	14	14			
OLERICULTURA				3	3	3	3	3	3	3		
TOTAL	100	100	100	12	26	26	40	40	26	3	100	100

TABELA 3 — PADRÃO II: DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL MENSAL DAS CULTURAS NA AREA IRRIGADA.

MES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CULTURA												
ARROZ	80	80	80								80	80
TOMATE				7	7	7	7	7	7			
BATATINHA INGLESA					12	12	12	12				
FEIJÃO							12	12	12			
OLEROCULTURA				3	3	3	3	3	3	3		
CAFÉ	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
FORRAGEIRA	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
TOTAL	100	100	100	30	42	42	54	54	42	233	100	100

TABELA 4 — PADRÃO III: DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL MENSAL DAS CULTURAS NA AREA IRRIGADA.

MES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CULTURA												
ARROZ	70	70	70								70	70
TOMATE				6	6	6	6	6	6			
BATATINHA INGLESA					10	10	10	10				
FEIJÃO							10	10	10			
OLEROCULTURA				2	2	2	2	2	2	2		
CAFÉ	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
FORRAGEIRA	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TOTAL	100	100	100	38	48	48	58	58	48	32	100	100

TABELA 5 — PADRÃO IV: DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL MENSAL DAS CULTURAS NA ÁREA IRRIGADA.

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CULTURA												
ARROZ	60	60	60								60	60
TOMATE				5	5	5	5	5	5			
BATATINHA INGLESA					9	9	9	9				
FEIJAO						9	9	9				
OLERI-CULTURA				2	2	2	2	2	2	2		
CAFÉ	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
FORRAGEIRA	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
TOTAL	100	100	100	47	56	66	65	66	56	42	100	100

b) Necessidades Hídricas dos Cultivos

Culturas consideradas no estudo — De acôrdo com informações locais e sugestões oferecidas por engenheiros agrônomos do Serviço do Vale do Paraíba*, do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, foram consideradas no cálculo das necessidades de água as seguintes culturas: a) arroz, em rotação com o tomate, feijão, batatinha inglesa, olericultura e outras culturas similares, ocupando os terrenos de várzea; e b) café ou plantas cítricas e forrageiras, nos terrenos terciários. As Tabelas 2, 3, 4 e 5 mostram, para cada padrão de utilização dos terrenos disponíveis, a distribuição porcentual mensal das culturas na área irrigada. Esses valores, juntamente com os de uso consumptivo descritos a seguir servirão de base para a determinação das curvas de variação das demandas mensais de água para a irrigação de áreas de vários tamanhos.

Uso consumptivo de água — O uso consumptivo de água de cada cultura foi estimado

(**) «Consumptive Use of Water» — A Symposium, Trans. ASCE, Vol. 117, 1952.

pelo método Blaney-Criddle (**), que consiste na transferência de dados de uso consumptivo

* Especial referência deve ser feita ao Eng. Agrônomo Jorge Duprat Cardoso pelas informações e excelentes sugestões quanto aos tipos de culturas a serem consideradas no estudo e sua distribuição na área.

(**) «Consumptive Use of Water» — A Symposium, Trans. ASCE, Vol. 117, 1952.

obtidos em áreas experimentais para a área em questão, por meio da fórmula:

$$u = 25,4 k f, (1)$$

onde u é o uso consumptivo (1) mensal da cultura, em milímetros; k é um coeficiente mensal de uso consumptivo determinado experimentalmente para cada cultura; e f é um fator mensal de uso consumptivo que depende da temperatura e da latitude do lugar. O valor mensal de f para um determinado mês e determinada localidade é calculado, multiplicando-se a temperatura média mensal (em °F) do ar observada, pela porcentagem mensal do total anual teórico de horas de insolação correspondente à latitude do lugar. A Tabela 6 mostra os fatores mensais (f) de uso consumptivo calculados para a bacia do rio Una, aproveitando as temperaturas médias mensais observadas no posto meteorológico de Taubaté.

(1) — O uso consumptivo mensal de uma cultura denota a quantidade de água usada pela planta por transpiração e para a formação de tecidos, durante um det. mês de seu ciclo evolutivo, somada à quantidade evaporada do solo adjacente e da superfície interceptadora da vegetação, nesse período. O uso consumptivo é normalmente expresso em milímetros quando se usa o sistema métrico.

TABELA 6 — FATORES DE USO CONSUMPTIVO (f)

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp. Média m. (°F)	74	74	73	70	66	63	62	64	67	69	71	73
%Teórico do total anual de horas de insolação (p)	9.40	8.16	8.56	7.86	7.73	7.29	7.63	8.00	8.12	8.86	8.84	9.45
Fator de uso Consumptivo $f = t \times p$	6.98	6.05	6.26	5.50	5.11	4.60	4.74	5.12	5.43	6.11	6.36	6.96

Os coeficientes mensais de uso consumptivo (k) adotados no presente trabalho estão resumidos na Tabela 7. Esses valores mensais são baseados em coeficientes experimentais médios ob-

tidos por H. K. Blaney na Califórnia, e em informações locais que puderam ser coletadas acerca do ciclo evolutivo das culturas consideradas e dos métodos locais de irrigação.

TABELA 7 — COEFICIENTES MENSAIS DE USO CONSUMPTIVO (k)

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CULTURA												
Arroz	1.68	1.33	0.67								0.67	1.68
Tomate				0.49	0.99	0.99	0.99	0.49	0.25			
Batatinha					0.50	1.00	1.00	1.00	0.50			
Feijão							0.58	1.17	0.35			
Olericultura				0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60		
Café	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
FORAGEIRAS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Os valores mensais de f e k dados nas Tabelas 6 e 7 foram usados para calcular pela fórmula (1) os valores mensais de uso consumptivo (u) de cada cultura, valores esses mostrados na Tabela 8.

TABELA 8 — USO CONSUMPTIVO MENSAL (u) DE CADA CULTURA EM MILÍMETROS

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
CULTURA													
Arroz	298	205	107								109	294	1013
Tomate				69	129	116	120	64	35				533
Batatinha					65	117	121	65					3668
Feijão							70	153	49				272
Olericultura				84	78	71	73	79	83	94			562
Café	115	99	103	91	84	76	79	85	90	101	105	115	1143
FORAGEIRAS	132	114	119	105	97	88	91	98	104	116	121	131	1316

TABELA 9 — PRECIPITAÇÃO MENSAL CONSIDERADA E PRECIPITAÇÃO EFETIVA MENSAL ASSUMIDA (pe) mm.

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Precipitação Total	150	140	120	45	10	10	10	10	20	60	80	120	775
Precipitação Efetiva	120	120	90	40	10	10	10	10	15	50	65	100	640

c) Demanda Mensal de Irrigação das Culturas

Parte do uso consumptivo mensal deverá ser suprido pelas chuvas. É sabido, porém, que somente uma parte destas é efetiva no sentido de suprir as demandas de evapotranspiração das plantas e solos adjacentes. A efetividade da precipitação depende da magnitude e intensidade da chuva, da capacidade de infiltração do solo, da capacidade de armazenamento do solo, do ritmo de evapotranspiração e de outros fatores.

Os valores de precipitação mensal adotados para o presente estudo (Tabela 9) foram obtidos de uma análise sumária de probabilidade de ocorrência de chuvas mensais, utilizando dados de Taubaté. A Tabela 10 mostra a análise correspondente ao mês de Janeiro. Os valores mensais adotados, excepto os dos meses de junho, julho, agosto e novembro correspondem aproxima-

damente às chuvas com intervalo médio de recorrência de 5 anos. Outros estudos relativos às características das chuvas na região foram efetuados, mas não serão descritos neste trabalho.

A demanda mensal de irrigação das culturas é calculada subtraindo-se a precipitação efetiva mensal do uso consumptivo mensal correspondente dado na Tabela 8. Esses valores não levam em conta, porém, as porcentagens relativas de ocupação da área por cada cultura. Por isso, deve-se multiplicar a diferença entre o uso consumptivo mensal e a precipitação efetiva, pelas porcentagens dadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 para se obter valores de demanda ponderada, pois cada cultura ocupa apenas uma parte da área total. A Tabela 11 dá os valores da demanda de irrigação mensal ponderada das culturas para o Padrão IV de utilização dos terrenos disponíveis.

TABELA 10 — FREQUENCIA DAS CHUVAS DO MÊS DE JANEIRO EM TAUBATÉ S. P. PERÍODO DE OBSERVAÇÕES, N = 59 ANOS (1897 — 1955)

ANO	Ordem crescente de magnitude	Chuva (em mm) igual ou menor que	Intervalo de recorrência em anos $T = \frac{N}{M}$	ANO	Ordem crescente de magnitude	Chuva em mm) igual ou menor que	Intervalo de recorrência em anos $T = \frac{N}{M}$
1903	1	20.6	59.00	1940	31	222.9	1.90
1918	2	65.5	29.50	1908	32	226.6	1.84
1954	3	76.8	19.60	1935	33	228.0	1.79
1920	4	84.4	14.80	1916	34	231.7	1.74
1925	5	101.4	11.80	1930	35	231.9	1.68
1945	6	111.9	9.80	1937	36	233.7	1.64
1953	7	116.9	8.40	1938	37	234.3	1.59
1931	8	134.0	7.40	1897	38	241.9	1.55
1941	9	142.0	6.60	1952	39	243.7	1.51
1927	10	143.3	5.90	1915	40	246.6	1.47
1902	11	145.1	5.40	1955	41	246.9	1.44
1942	12	149.5	4.90	1912	42	248.6	1.40
1944	13	161.2	4.50	1951	43	250.4	1.37
1942	14	166.4	4.20	1950	44	260.0	1.34
1900	15	170.0	3.90	1934	45	261.0	1.31
1901	16	174.0	3.70	1898	46	269.2	1.28
1936	17	176.7	3.50	1939	47	274.1	1.25
1905	18	179.1	3.30	1924	48	276.5	1.22
1933	19	180.6	3.10	1928	49	284.0	1.20
1923	20	181.9	2.95	1906	50	284.8	1.18
1910	21	185.6	2.8	1922	51	285.6	1.16
1946	22	190.8	2.7	1921	52	297.5	1.13
1907	23	194.2	2.6	1909	53	317.0	1.12
1932	24	195.0	2.5	1919	54	317.0	1.09
1948	25	203.0	2.4	1949	55	324.1	1.07
1916	26	208.5	2.3	1903	56	342.5	1.05
1899	27	211.2	2.2	1947	57	370.9	1.03
1911	28	212.0	2.1	1926	58	396.3	1.02
1928	29	217.3	2.04	1904	59	478.6	1.00
1914	30	220.6	1.96				

d) Demanda Mensal do Projeto Levando em Conta Perdas Prováveis

É praticamente impossível suprir as demandas de irrigação das culturas sem quaisquer perdas ou desperdícios. A quantidade de água (df) em milímetros por mês por hectare que deve ser entregue na fazenda irrigada é dada por,

$$dp = \frac{dc}{1 - Lf}$$

onde dc é a demanda de irrigação mensal das culturas (Tabela 11, para o Padrão IV) e Lf as perdas na fazenda expressas por um valor

decimal correspondente à relação entre as perdas na fazenda (em mm, por ex.) e a quantidade de água entregue na fazenda.

É bastante difícil estimar «a priori» com qualquer grau de precisão o valor de Lf para um dado projeto. As perdas na fazenda dependerão de um grande número de fatores e talvez a única maneira de se determinar valores aproximados de Lf seria por meio de medições diretas em projetos funcionando em condições idênticas às do problema em questão, preferivelmente na própria área ou região em estudo.

Para as finalidades deste estudo adotou-se como primeira estimativa os valores: a) Lf = 0,6, para os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, quando predomina a irrigação

Colaborações

do arroz por inundação; e b) $L_f = 0,4$ para os meses restantes. Embora as informações disponíveis sejam muito poucas é possível avaliar a grosso modo que tais perdas, principalmente as correspondentes aos meses de Novembro a Fevereiro, só não serão ultrapassadas na área em questão se as fazendas de irrigação forem bem administradas. Para comparação e a fim de considerar a hipótese de perdas maiores, foram também usados valores de $L_f = 0,7$ e $0,6$, respectivamente para os mesmos meses citados; nesta descrição não serão, porém, incluídos os cálculos correspondentes a estes valores embora tenham sido efetuados no trabalho original.

Na primeira parte das Tabelas 12, 13, 14 e 15 acham-se os valores mensais de demanda na fazenda, em milímetros, para os vários padrões de utilização dos terrenos levando em conta as perdas correspondentes aos valores de $L_f = 0,6$ e $0,4$. Na segunda parte destas Tabelas encontram-se os valores das demandas mensais do projeto, em mm, para os vários padrões de utilização dos terrenos, levando em conta perdas prováveis nos casais, de acordo com a expressão.

$$dp = \frac{df}{1 - L_c}$$

onde dp é a demanda mensal do projeto e L_c um valor decimal que leva em conta as perdas na adução da água. O valor de L_c adotado para o presente estudo foi de $0,3$ embora também considerou-se um valor maior ($0,4$), para comparações. Estes valores foram adotados arbitrariamente após uma avaliação qualitativa sumária das possibilidades de perdas de água em canais adutores sem revestimento, na área do futuro projeto.

As Tabelas, 16, 17, 18 e 19 fornecem os valores das demandas médias mensais em litros por segundo para diversos tamanhos de área irrigadas e para os valores de $L_f = 0,6$ e $0,4$ e $L_c = 0,3$. Estes valores foram usados para traçar uma série de curvas acumulativas de demanda de água para irrigação as quais foram utilizadas no estudo de regularização que a seguir se descreve.

TABELA 11 — PADRÃO IV — DEMANDA DE IRRIGAÇÃO PONDERADA MENSAL DAS CULTURAS NA AREA IRRIGADA, EM MILIMETROS.

MES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Cultura													
Arroz	107	51	10								26	120	314
Tomate				2	6	5	6	3	2				24
Batatinha Inglesa					5	10	10	5					30
Feijão							5	13	3				21
Oléricultura				2	2	2	2	2	2	2			14
Café	0	0	4	14	20	18	19	20	20	14	11	4	144
FORAGEIRAS	0	0	4	9	11	10	11	12	12	9	7	4	89
TOTAL	107	51	18	27	44	45	53	55	39	25	44	128	636

P A R T E II

REGULARIZAÇÃO DO RIO UNA PARA A IRRIGAÇÃO DOS TERRENOS DISPONÍVEIS NO TRECHO INFERIOR DE SUA BACIA E ADJACÊNCIAS

Na bacia do rio Una existem diversos locais favoráveis topograficamente para a construção de barragens visando a criação de reservatórios de regularização do regime fluvial.

Embora para a solução deste problema pudessem ser considerados dois ou mais reservatórios que trabalhassem em série ou em paralelo, no estudo que aqui se descreve levou-se em conta apenas dois casos de um só reservatório. No primeiro caso, o reservatório seria criado por uma barragem no ponto A (mostrado na fig. 1) do rio Una onde a área de drenagem é da ordem de 288 km² ou sejam 72% da área total.

TABELA 12 — PADRÃO I — DEMANDA MENSAL DO PROJETO, LEVANDO EM CONTA PERDAS PROVÁVEIS.

	Lf=0.4 E.6		Lc=0.3		Lc=0.4		
	dc	dc	df	df	1-Lc	df	
	mm	1-Lf	1-Lf	1-Lc	dp=1-Lc	dp=1-Lc	
J	178	0.4	445	0.7	637	0.6	744
F	85	0.4	212	0.7	303	0.6	353
M	17	0.6	28	0.7	40	0.6	47
A	4	0.6	7	0.7	10	0.6	12
M	21	0.6	35	0.7	50	0.6	59
J	27	0.6	45	0.7	64	0.6	75
J	36	0.6	60	0.7	86	0.6	100
A	35	0.6	58	0.7	83	0.6	97
S	9	0.6	15	0.7	21	0.6	25
O	1	0.6	2	0.7	3	0.6	3
N	44	0.4	110	0.7	157	0.6	184
D	194	0.4	485	0.7	695	0.6	810
Total	651	—	1502	—	2149	—	2509

TABELA 13 — PADRÃO II — DEMANDA MENSAL DO PROJETO, LEVANDO EM CONTA PERDAS PROVÁVEIS.

	Lf=0.4 E.6		Lc=0.3		Lc=0.4		
	dc	dc	df	df	1-Lc	df	
	mm	1-Lf	1-Lf	1-Lc	dp=1-Lc	dp=1-Lc	
J	143	0.4	358	0.7	511	0.6	597
F	68	0.4	170	0.7	243	0.6	283
M	19	0.6	31	0.7	44	0.6	52
A	15	0.6	25	0.7	36	0.6	42
M	33	0.6	55	0.7	79	0.6	92
J	36	0.6	60	0.7	86	0.6	100
J	45	0.6	75	0.7	107	0.6	125
A	45	0.6	75	0.7	107	0.6	125
S	23	0.6	38	0.7	54	0.6	64
O	13	0.6	22	0.7	31	0.6	37
N	44	0.4	110	0.7	157	0.6	183
D	159	0.4	398	0.7	569	0.6	660
Total	642	—	1417	—	2024	—	2360

TABELA 14 — PADRÃO III — DEMANDA MENSAL DO PROJETO, LEVANDO EM CONTA PERDAS PROVÁVEIS.

MES	Lf=0.3		E.6		Lc=0.3		Lc=0.4	
	dc mm	1-Lf	dc df=— 1-Lf	1-Lc	df dp=— 1-Lc	1-Lc	df dp=— 1-Lc	
J	125	0.4	312	0.7	446	0.6	520	
F	60	0.4	150	0.7	214	0.6	250	
M	16	0.6	27	0.7	38	0.6	45	
A	18	0.6	30	0.7	43	0.6	50	
M	36	0.6	60	0.7	86	0.6	100	
J	38	0.6	63	0.7	90	0.6	105	
J	46	0.6	77	0.7	110	0.6	128	
A	47	0.6	78	0.7	112	0.6	130	
S	29	0.6	48	0.7	69	0.6	80	
O	16	0.6	27	0.7	38	0.6	45	
N	43	0.4	107	0.7	153	0.6	178	
D	141	0.4	352	0.7	503	0.6	587	
Total	615	—	1331	—	1902	—	2218	

TABELA 15 — PADRÃO IV — DEMANDA MENSAL DO PROJETO, LEVANDO EM CONTA PERDAS PROVÁVEIS.

MES	Lf=0.3		E.6		Lc=0.3		Lc=0.4	
	dc mm	1-Lf	dc df=— 1-Lf	1-Lc	df dp=— 1-Lc	1-Lc	df dp=— 1-Lc	
J	107	0.4	268	0.7	383	0.6	447	
F	51	0.4	128	0.7	183	0.6	213	
M	18	0.6	30	0.7	43	0.6	50	
A	27	0.6	45	0.7	64	0.6	75	
M	44	0.6	73	0.7	105	0.6	122	
J	45	0.6	75	0.7	107	0.6	125	
J	53	0.6	88	0.7	126	0.6	147	
A	55	0.6	92	0.7	131	0.6	153	
S	39	0.6	65	0.7	93	0.6	108	
O	25	0.6	42	0.7	60	0.6	70	
N	44	0.4	110	0.7	157	0.6	183	
D	128	0.4	320	0.7	457	0.6	533	
Total	636	—	1336	—	1909	—	2276	

TABELA 16 — PADRÃO I — DEMANDA MÉDIA MENSAL (dp) em litros por segundo
PARA DIVERSOS TAMANHOS DE AREAS IRRIGADAS.
Lf = 0.6 e 0.4; Lc = 0.3

MÊS	500 ha	1000 ha	1500 ha	2000 ha	2500 ha	3000 ha	3500 ha	4000 ha	4500 ha	5000 ha
J	1210	2420	3631	4840	6052	7260	8470	9680	10890	12104
F	576	1151	1727	2300	2879	3453	4029	4600	5180	5758
M	76	152	228	304	380	456	532	608	684	760
A	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190
M	95	190	285	380	475	570	665	760	855	950
J	122	243	365	484	608	729	851	968	1094	1216
J	164	327	490	654	817	981	1145	1308	1472	1634
A	158	315	473	630	789	945	1103	1260	1417	1578
S	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
O	6	11	17	23	28	33	38	46	50	56
N	299	597	895	1193	1492	1791	2090	2386	2687	2984
D	1321	2641	3962	5282	6603	7923	9244	10564	11885	13206

TABELA 17 — PADRÃO II — DEMANDA MÉDIA MENSAL (dp) em litros por segundo
PARA DIVERSOS TAMANHOS DE AREAS IRRIGADAS.
Lf = 0.6 e 0.4; Lc = 0.3

MÊS	500 ha	1000 ha	1500 ha	2000 ha	2500 ha	3000 ha	3500 ha	4000 ha	4500 ha	5000 ha
J	970	1940	2914	3886	4857	5825	6800	7767	8738	9709
F	462	925	1386	1848	2310	2770	3234	3694	4155	4617
M	83	167	251	335	418	502	585	669	752	836
A	69	137	205	274	342	410	479	547	616	684
M	150	300	450	601	751	901	1051	1201	1351	1501
J	163	327	490	654	817	980	1144	1307	1471	1634
J	203	406	610	814	1017	1220	1424	1626	1830	2033
A	203	406	610	814	1017	1220	1424	1626	1830	2033
S	102	205	308	411	513	616	719	821	923	1026
O	59	118	177	236	295	353	412	471	530	589
N	298	596	895	1194	1492	1790	2089	2386	2685	2983
D	1080	2160	3245	4327	5409	6487	7572	8649	9730	10811

No segundo caso considerado, o reservatório seria formado por uma barragem no local B onde a área da bacia contribuinte é igual a 275 km². Em ambos os casos assumiu-se que o deflúvio das partes da bacia não controladas pela barragem se escoaria livremente podendo ser utilizado para outras finalidades.

Características do deflúvio do rio Una — A coleta de dados de deflúvio do rio Una iniciou-se no ano 1933 quando a Divisão de Águas do Departamento Nacional de Produção Mineral do Ministério da Agricultura instalou um posto fluviométrico na localidade de Remédios,

Município de Taubaté. O local escolhido aparentemente não apresentava condições para o bom funcionamento de um posto fluviométrico (*) apresentando constantes variações em suas características hidráulicas. O posto, porém, funcionou durante dez anos, até que em 1944 foi suprimido. Dêsse ano até 1954 não foram feitas observações fluviométricas na bacia do rio Una.

Em 1954 o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo instalou 3 postos fluviométricos: dois deles sobre o rio Una, situados na Fazenda Modelo em Bairro Registro; e o terceiro sobre o Ribeirão das Almas. Estes postos funcionavam até a data da realização deste trabalho.

* Anuário Fluviométrico n.º 4 — Divisão de Águas do D.N.P.M. — Ministério de Agricultura — 1943.

Colaborações

A escassa quantidade e a qualidade dos dados disponíveis não permitiram uma investigação de muitas das características do deflúvio da bacia. No entanto, levou-se a cabo várias análises. Para o estudo da regularização, tratou-se de localizar as séries de dados fluviométricos existentes dentro do histórico hidrológico mais antigo que se dispunha para outros pontos da região. Para isso, foram feitas análises dos dados de chuva total anual das estações pluviométricas de Taubaté, Rezende e outras, e dos dados de deflúvio do rio Paraíba em Barra de Pirai para o período de 1922/55. A finalidade

destas análises foi a de escolher um período representativo, dentro dos dados disponíveis para o Una, para usar nos estudos de regularização. Concluiu-se pela adoção de um período hidrológico sintético de 11 anos o qual se compõe dos dados observados em Remédios de Setembro de 1934 e agosto de 1943 e os observados na Fazenda Modelo de Setembro de 1954 a Agosto de 1956. Este período de Setembro de 1954 a Agosto de 1956 é um dos mais críticos do Histórico hidrológico da região.

Determinação da capacidade dos reservatórios — Com os deflúvios médios mensais em

TABELA 18 — PADRÃO III — DEMANDA MÉDIA MENSAL (dp) em litros por segundo PARA DIVERSOS TAMANHOS DE AREAS IRRIGADAS.
Lf = 0 4 e 0 3; Lc = 0 3

MÊS	500 ha	1000 ha	1500 ha	2000 ha	2500 ha	3000 ha	3500 ha	4000 ha	4500 ha	5000 ha
J	847	1695	2547	3380	4240	5084	5932	6779	7627	8474
F	407	815	1220	1620	2030	2440	2846	3253	3659	4066
M	72	145	217	288	361	433	505	578	650	722
A	82	164	245	325	409	490	572	654	735	817
M	164	328	490	650	819	980	1144	1307	1471	1634
J	172	343	513	683	856	1026	1197	1368	1539	1710
J	209	418	627	836	1045	1254	1463	1672	1881	2090
A	213	427	638	850	1065	1277	1490	1702	1915	2128
S	131	263	393	524	656	787	918	1049	1180	1311
O	73	145	217	288	361	433	505	578	650	722
N	291	582	872	1160	1452	1744	2035	2326	2616	2907
D	960	1920	2867	3830	4780	5734	6690	7646	8601	9557

TABELA 19 — PADRÃO IV — DEMANDA MÉDIA MENSAL (dp) em litros por segundo PARA DIVERSOS TAMANHOS DE AREAS IRRIGADAS.
Lf = 0 4 e 0 3; Lc = 0 3

MÊS	500 ha	1000 ha	1500 ha	2000 ha	2500 ha	3000 ha	3500 ha	4000 ha	4500 ha	5000 ha
J	728	1455	2183	2911	3639	4366	5094	5820	6549	7277
F	348	695	1043	1391	1739	2086	2434	2780	3129	3477
M	82	163	245	327	409	490	572	655	735	817
A	122	243	365	486	608	730	851	974	1094	1216
M	200	399	599	798	998	1197	1397	1600	1796	1995
J	204	407	610	813	1017	1220	1423	1628	1830	2033
J	239	479	718	958	1197	1436	1676	1916	2155	2394
A	249	498	747	996	1245	1493	1742	1990	2240	2489
S	177	353	530	707	884	1060	1237	1415	1590	1767
O	114	228	342	456	570	684	798	910	1026	1140
N	299	597	895	1193	1492	1790	2088	2326	2685	2983
D	869	1737	2605	3473	4342	5210	6078	6950	7815	8683

(1/s/km²) do período hidrológico sintético, traçou-se uma curva acumulativa a qual foi usada para a determinação das capacidades de armazenamento útil necessárias nos reservatórios propostos para suprir as demandas de irrigação.

Com a curva de deflúvios acumulados e as curvas de demanda de água para as diversas áreas e padrões de irrigação, foram determinados valores que permitiram o traçado de uma série de curvas de relação entre o armazenamento útil necessário e a área irrigada. As figuras 3, 4, 5 e 6 mostram essa relação para o caso do reservatório no local A e para cada um dos padrões de utilização dos terrenos disponíveis. A fig. 5 indica, por exemplo, que para irrigar 4 000 hectares (2 800 Ha de várzea e 1 200 Ha de terciário) de acordo com o padrão III e as condições assumidas, seria necessário

um reservatório no ponto A (A. D. = 288 km²) com uma capacidade útil de cerca de 33 milhões de metros cúbicos para que o projeto pudesse funcionar sem deficiência de água mesmo através de um período crítico igual ao mais crítico da série de 11 anos de dados usada neste estudo.

As curvas mostradas na fig. 7 indicam de modo resumido o resultado dos estudos para o caso da barragem no ponto A. Deve-se fazer notar que sendo relativamente pequena a diferença entre as bacias contribuintes nos pontos A e B, também o será a diferença entre as capacidades de armazenamento útil necessárias nesses dois pontos, de maneira que a fig. 7 é também útil para indicar aproximadamente o volume necessário no caso do reservatório no local B.

P A R T E III

UM EXEMPLO DE REGULARIZAÇÃO DO RIO UNA PARA A IRRIGAÇÃO CONSIDERANDO A POSSIBILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE PARTE DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO PARA O CONTRÔLE DE ENCHENTES

Suponhamos que se venha a criar a montante do local A no rio Una um reservatório visando a irrigação e o controle de enchentes. Suponhamos também que da capacidade total do reservatório, uma parte seria dedicada exclusivamente para o controle de enchentes; 32,6 milhões de metros cúbicos seriam usados para a irrigação; e 5 milhões seriam reservados como armazenamento morto para a manutenção de peixes e para a retenção de sedimentos.

As figs. 3, 4, 5 e 6 ou a fig. 7 indicam que com 32,6 x 10⁶ m³ seria possível irrigar 2 950 Ha com o Padrão I; 3 550 Ha com o Padrão II; 4 000 Ha com o Padrão III; e 4 180 Ha com o Padrão IV. Como se vê, com o mesmo volume de armazenamento pode-se irrigar cerca de 1 000 Ha a mais quando se usa o Padrão III ao invés do Padrão I; com o Padrão III, do total de 4 000 Ha, 2 800 Ha são de terrenos de várzea, apenas um ponto menos que a área de várzea que se poderia irrigar com o Padrão I (2 950 Ha).

A fig. 8 mostra como teria flutuado o nível do reservatório durante os 11 anos do período hidrológico sintético, considerando somente as demandas de irrigação para os quatro casos mencionados no parágrafo anterior. Uma das coisas mostradas nessa figura é a de que seria possível utilizar parte do armazenamento de irrigação para o controle de enchentes. Seria possível, por exemplo, operar o reservatório de tal maneira que durante os meses de maior precipitação (quando existe maior probabilidade de ocorrência de enchentes) o nível d'água não passe de um máximo pré-estabelecido de modo que a capacidade de armazenamento entre esse nível e o nível máximo seja utilizável para auxiliar na retenção de deflúvio de enchentes.

Uma ilustração da maneira de operar um reservatório a fim de utilizar conjuntamente parte de sua capacidade de armazenamento é dada pela fig. 9 que corresponde ao caso da irrigação de uma área de 4 000 Ha com o Padrão III de utilização dos terrenos. A regra adotada para a operação foi a de manter durante os meses de Dezembro a Abril, inclusive, um nível máximo correspondente a 80% da capacidade de armazenamento para irrigação, excessão feita ao período mais crítico quando se permitiu que o nível nesses meses subisse a 90%. Essa figura mostra, também, o nível máximo a que teria chegado o reservatório no caso da enchente hipotética máxima E, mantendo-se durante essa en-

chente, uma descarga constante de $15\text{m}^3/\text{s}$ através da barragem. (Este valor corresponde mais ou menos à capacidade plena de descarga do álveo (não inclui a planície aluvial) do rio Una nas proximidades de Remédios).

Caso o reservatório fosse projetado de acordo com as condições acima, a crista da barragem deveria estar um, dois ou mais metros acima da cota 601,60 que corresponde ao nível máximo devido à enchente E. A barragem teria neste caso uma altura máxima de quase 40 metros. A capacidade total do reservatório seria de 63 milhões de metros cúbicos, dos quais 5 milhões de armazenamento morto, 32,6 milhões para a irrigação e 25,4 milhões para o controle de enchentes. O armazenamento total para o controle de enchentes seria de cerca de 32 milhões de metros cúbicos durante os meses de Dezembro a Abril, pois 6,6 milhões do armazenamento para irrigação seriam também usados para o controle de enchentes.

O exemplo acima teve por finalidade apenas ilustrar um método de atacar o problema e não sugerir uma solução. Outras possibilidades devem ser estudadas principalmente as referentes à utilização de reservatórios para o controle de enchentes. Deve-se considerar, por exemplo, a possibilidade de ter-se um ou mais reservatórios a montante dedicados ao controle de enchentes, o que viria diminuir a necessidade de ter-se uma grande capacidade de armazenamento num só reservatório, no ponto A por exemplo. Uma coisa, porém, é certa: é necessário considerar-se a questão das enchentes conjuntamente com a da irrigação. Para resolver ra-

cionalmente o problema da utilização múltipla dos reservatórios, porém, há necessidade de se conhecer melhor os aspectos fundamentais da hidrologia das enchentes na bacia do rio Una.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de regularização do rio Una visando o uso de parte dos recursos de água da bacia desse rio para a irrigação. O estudo incluiu uma verificação sumária da possibilidade de utilização múltipla de um reservatório.

Na primeira parte descreve-se a estimativa feita das demandas de água que ocorreriam no caso de áreas irrigadas de diversos tamanhos e para vários padrões de utilização dos terrenos disponíveis. Na segunda parte apresenta-se uma série de curvas de relação entre armazenamento útil necessário e área irrigada para os diversos padrões considerados de utilização dos terrenos disponíveis. Na terceira parte dá-se um exemplo prático de aplicação dos resultados obtidos, que inclui um rápido estudo das possibilidades de uso múltiplo de um reservatório que seria destinado em parte para a irrigação (possibilitando a conservação de peixes e animais aquáticos e a retenção de sedimentos) e em parte para o controle de enchentes.

Acredita-se que os resultados deste trabalho poderão ser úteis para uma melhor compreensão dos problemas de controle e conservação dos recursos de água do rio Una, assim como para o planejamento econômico da utilização dos recursos naturais da bacia do rio Paraíba.