

Modelo linear para operação de reservatórios em período seco na bacia do Rio Curu — Ce.

Hypérides Pereira de Macedo (1)
Ernesto da Silva Pitombeira (2)
Mateus Mosca Viana (3)

O presente trabalho estuda a operação racionalizada de um sistema de reservatórios que regularizam na Bacia do Rio Curu no Ceará. O estudo propõe um modelo linear em bases mensais para o período seco, definindo a liberação d'água de cada açude de forma a minimizar as perdas por evaporação.

A importância da evaporação na região semi-árida do Brasil é tão significativa que a sua redução implica numa função de benefício para o sistema.

Aspectos Gerais:

O modelo proposto visa basicamente a regularização de forma otimizada da gestão dos açudes no período seco em condições de mínima evaporação. Os reservatórios situados em paralelo contribuem de forma independente porém dentro dos limites estabelecidos pelas condições técnicas de cada um. Assim, é que, cada açude deve fornecer um valor mínimo imposto pelo seu compromisso próprio a jusante até um valor máximo limitado pela sua capacidade de regularização. A partir de um certo ponto no rio os três reservatórios convergem para um ponto comum somando suas descargas de forma a atender novas áreas que desta vez podem ser abastecidas pelos mesmos operando em conjunto.

Condições Específicas

O açude General Sampaio situado mais a montante do vale atende os consumidores privados ao longo do rio entre ele e a barragem de Serrota, e através desta alimenta a 1ª etapa do projeto Curu — Pentecoste do DNOCS.

O açude Pereira de Miranda situado bem próximo a confluência do Rio Canindé com o Rio Curu, alimenta a 2ª etapa do projeto Curu — Pentecoste, a Turbina hidro-elétrica e alguns consumidores privados logo a jusante da Barragem.

(1) Engº Civil, Prof. da Unifor
(2) Engº Civil, Prof. da Unifor
(3) Analista de Sistemas, Prof. da UFC

O açude Caxitoré fornece obrigatoriamente água para as propriedades situadas às margens do rio do mesmo nome até a confluência.

A partir de São Luís do Curu, ou mais precisamente após a 2ª etapa do projeto Curu — Pentecoste a água em disponibilidade no leito do rio poderá advir dos três reservatórios. Este ponto de convergência das descargas foi tomado como base da equação do sistema sendo que a vazão de cada açude está corrigida de um coeficiente proporcional a suas perdas em trânsito em função da distância dos mesmos ao ponto comum. Estas considerações estão explicitadas na Fig. 1.

c) Definição das Variáveis do Modelo

O modelo se compõe de dois elementos básicos:

— A descarga Liberada na Galeria numa variação de nível $jH_t > jH > jH_{t+1}$ do açude: jX_t .

— A Evaporação do Espelho d'água numa variação de nível $jH_t > jH > jH_{t+1}$ do açude: jE_t .

Dispondo das curvas Volume = f (cota) e Área = f (cota), de cada açude, é possível estabelecer equações lineares destas funções, de vez que qualquer curva com características exponenciais podem em condições aceitáveis, admitir processos de linearização dentro de determinadas faixas de utilização do açude, como demonstra as Figs. 2 e 3.

Objetivando tornar o modelo mais simples e mais operativo, foi estabelecido o período "t" de um mês ou seja a variação das condições de cada reservatório foi estudada em bases mensais.

Operando em termos de volume evaporado e volume descarregado por mês, estes valores podem ser postos em função de H.

$$jE_t = f(jH_t)$$

$$jX_t = f(jH_t)$$

A variação total de volume num reservatório jDV_t pode ser também uma função de jH_t .

$$jDV_t = f(jH_t) \text{ (Ver Fig. 2)}$$

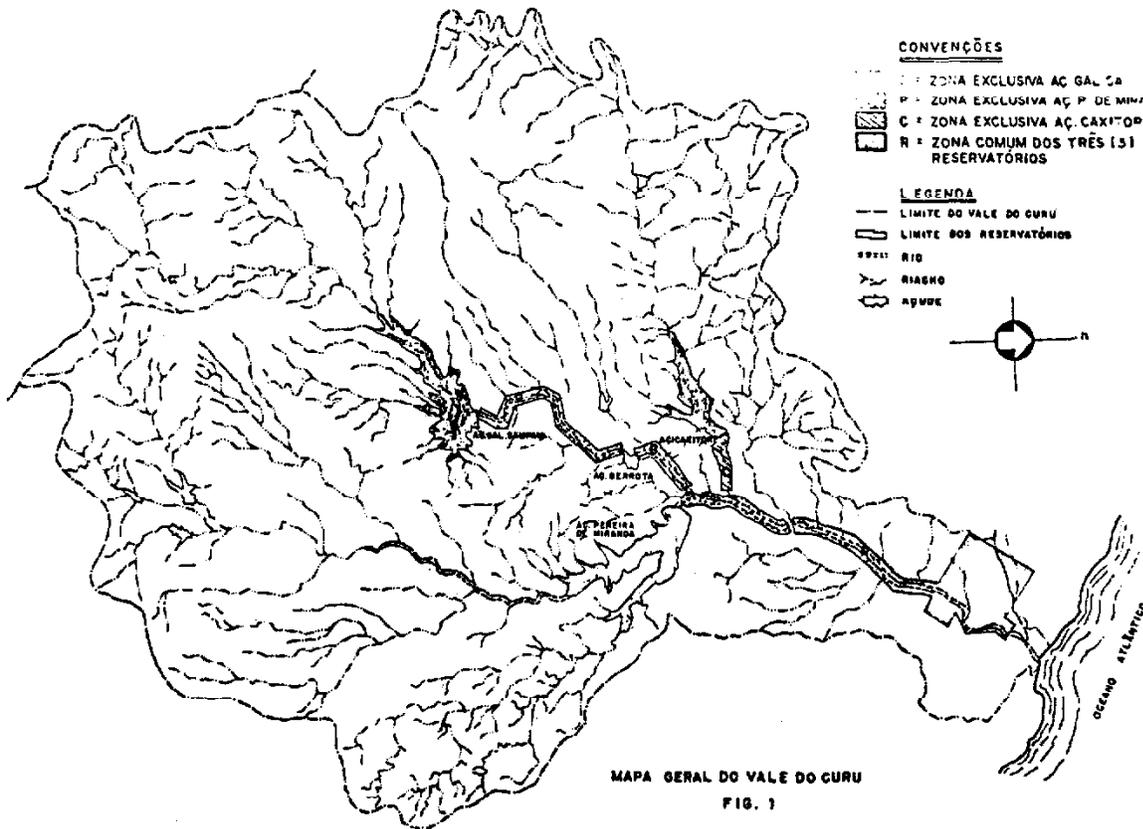
j : n.º de ordem do Reservatório

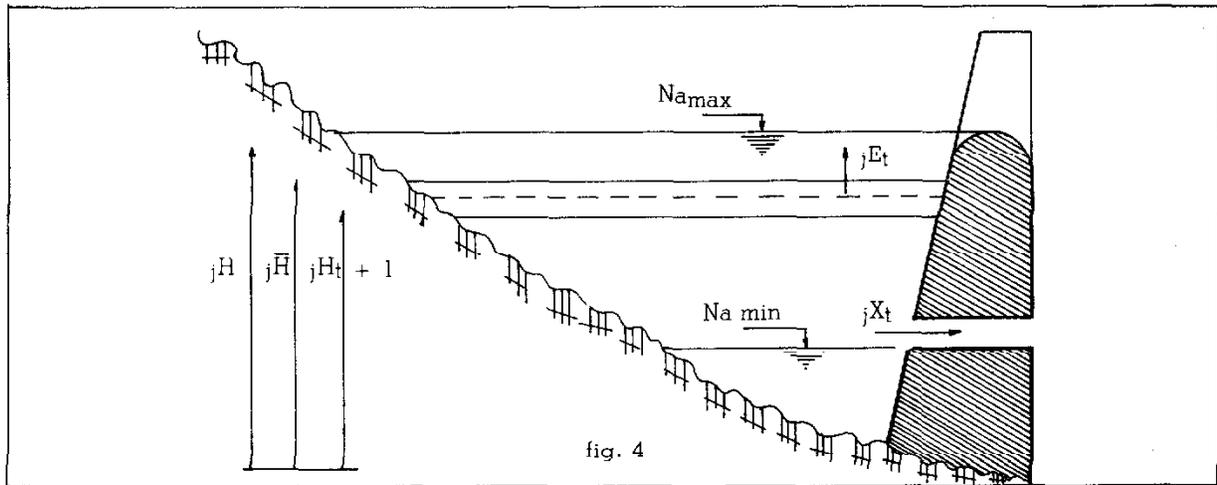
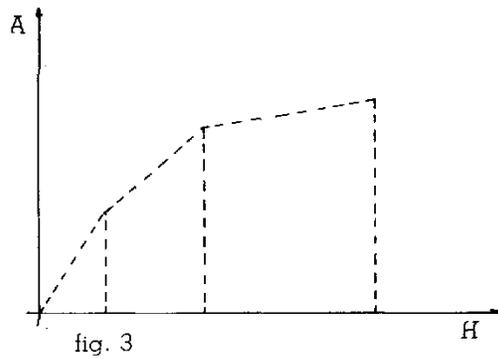
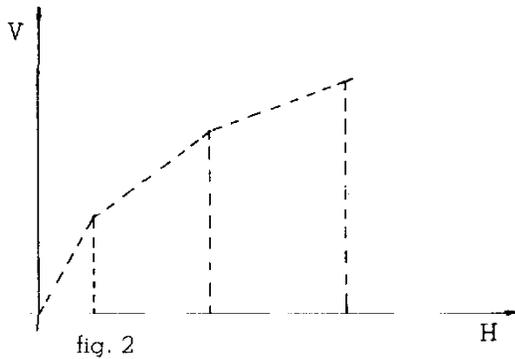
$j = 1$ (Gal. Sampaio)

$j = 2$ (Pereira de Miranda)

$j = 3$ (Caxitoré)

t : período





NA máx. = NÍVEL Máximo (Soleira do Sangradouro)
 NA mín. = NÍVEL Mínimo (Soleira da Galeria)
 jH_t = Estado Inicial do Reservatório
 jH_{t+1} = Estado Final do Reservatório
 $j\bar{H}$ = Estado Médio do Reservatório ou Nível Correspondente ao Espelho Médio.
 jE_t = Evaporação
 jX_t = Descarga

Com base nas equações da área é possível estabelecer o espelho d'água médio no período:

$$jA = \frac{jA_t + jA_{t+1}}{2}$$

Volume médio evaporado por mês no açude no período $(t;t+1)$ é determinado a partir da lâmina média de evaporação do açude para o período seco que seguindo o estudo da Missão Alemã para o Tanque Fluante é de $e = 0,189$ m logo, a descarga contínua de evaporação no mês será:

$$jE = e \cdot j\bar{A} / 2.592 \times 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

A equação da continuidade de um reservatório será:

$$jDV_t = jX_t + jE_t$$

Com base nas curvas de Área x Cota e Volume x Cota, são definidas as equações lineares dessas funções.

$$jA_t = f(jH_t) \text{ e } jV_t = f(jH_t)$$

Para melhor ajustar o processo de linearização dessas curvas exponenciais, foram estabelecidos diversos trechos ao longo da curva, correspondendo cada a um segmento de reta, conforme expressam as figuras 2 e 3.

A variação de volume no reservatório no período $(t;t+1)$ será determinada conforme a equação do volume:

$$jDV = jV_t - jV_{t+1}$$

A descarga contínua correspondente no mês será:

$$jDV / 2.592 \times 10^3 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

As equações para os diversos segmentos de linearização selecionados entre os níveis são estabelecidos a partir da equação das áreas.

O valor do nível inicial do açude $jH_t = H_0$, que é um termo conhecido da equação, e correspondente ao estado atual do reservatório.

Determinação da Matriz Tecnológica

As restrições básicas para cada reservatório são inerentes a limitações inferiores e superiores, conforme a situação própria dos mesmos de acordo com o seguinte:

- Valor mínimo definido pela zona de influência própria de cada açude.
- Valor máximo definido pela capacidade de regularização de cada reservatório.

Restrição Inferior	Restrição Superior
$1X_t \text{ é } \geq 2$	$1X_t \text{ é } \leq 3$
$2X_t \text{ é } \geq 1$	$2X_t \text{ é } \leq 7$
$3X_t \text{ é } \geq 0,2$	$3X_t \text{ é } \leq 3$

Na zona considerada de influência comum aos três reservatórios, foi considerado um fator de correção para a descarga de cada açude proporcional à distância do mesmo a este ponto confluyente, em função naturalmente das perdas estimadas em trânsito.

As distâncias respectivas dos reservatórios ao ponto comum ou seja São Luís do Curu são:

- Gal Sampaio/ S. Luís do Curu: 67 km
- Pereira de Miranda/ S. Luís do Curu: 20 km
- Caxitoré/ S. Luís do Curu: 20 km

Sobre o primeiro trecho não foi considerado a distância total, pois o açude Serrota é suficiente para equilibrar suas perdas de sua evaporação e do trecho a jusante até S. Luís do Curu, já que seu volume controla também uma pequena bacia e funciona no final das contas como reservatório de compensação das descargas aduzidas no Gal. Sampaio. Além disso, o trecho citado é a zona da 1ª Etapa do projeto Curu-Recuperação do DNOCS onde a recarga do lençol aluvial, oriunda da irrigação gravitária deve ser significativa para cobrir tais perdas.

Isto posto, as perdas relativas ao açude Gal. Sampaio correspondem ao trecho até o reservatório do Serrota, isto é 36 km.

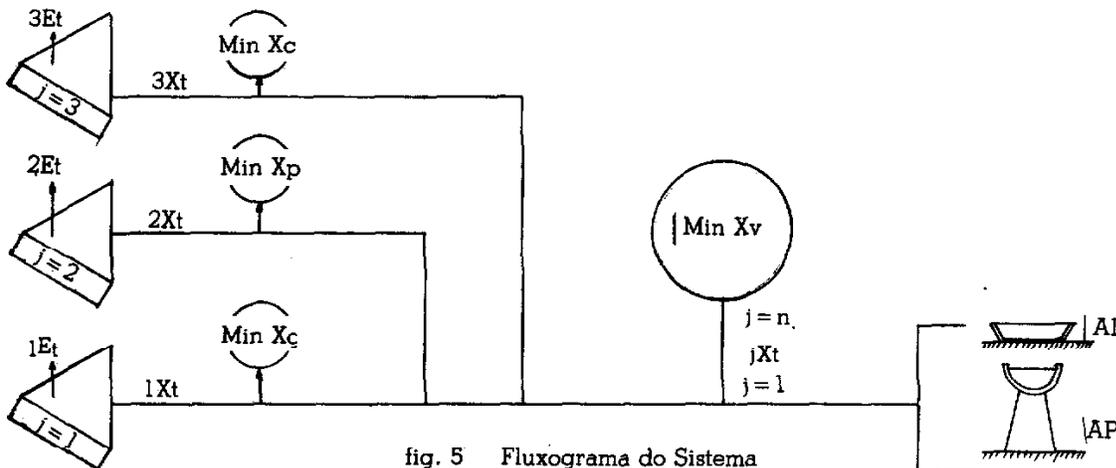


fig. 5 Fluxograma do Sistema

Considerando a perda de 1% por km, temos de acordo com a expressão:

$$jX_L = jX_0 \cdot r^{k-1}$$

jX_L = Descarga em S. Luís do Curu
 jX_0 = Descarga na Galeria do Açude
 r = Razão de perda
 k = Distância em km

Coefficiente de correção será:

$$jC = jX_L/jX_0$$

Neste caso:

$$\begin{cases} 1c = 0,70 \\ 2c = 0,90 \\ 3c = 0,90 \end{cases}$$

Finalmente procurou-se estabelecer os limites comuns aos (3) reservatórios, desta vez funcionando em conjunto e que basicamente representam as necessidades totais do vale. Esta equação exprime a operação conjugada dos Açudes Gal. Sampaio, Pereira de Miranda e Caxitoré (Fig. 5) considerando o consumo pleno dos projetos da bacia. O valor da restrição fixado envolve um entorno de +/- 20% da somatória das descargas consumidas nas atividades que utilizam água na bacia.

$$\begin{aligned} 1c \times 1X_t + 2c \times 2X_t + 3c \times 3X_t &\leq X_0 \\ 1c \times 1X_t + 2c \times 2X_t + 3c \times 3X_t &\leq X_0 \end{aligned}$$

OU

$$\begin{aligned} 0,70 \times 1X_t + 0,90 \times 2X_t + 0,90 \times 3X_t &\geq 10 \\ 0,70 \times 1X_t + 0,90 \times 2X_t + 0,90 \times 3X_t &\geq 8 \end{aligned}$$

FIG.5 FLUXOGRAMA DO SISTEMA

$\min X_c$: Consumo do Trecho Caxitoré
 $\min X_p$: Consumo do Trecho Pereira de Miranda
 $\min X_g$: Consumo do Trecho General Sampaio
 $\min X_v$: Consumo do Trecho Comum
 AI: Área de Irrigação
 AP: Abastecimento da População

Função Objetivo

As condições climáticas da região semi-árida produzem uma considerável evaporação, sendo este fenômeno responsável pelo maior volume de perda d'água nos açudes.

No equacionamento do balanço hídrico de um reservatório, a evaporação é tão significativa que nos açudes localizados em vários rios periódicos, os volumes evaporados na superfície d'água é equivalente aos volumes produzidos pelas descargas de regularização da bacia. Neste caso, considerando a função do reservatório na região como sendo um gerador de água para irrigação e consumo em geral, a evaporação é portanto um prejuízo que deve ser minimizado. A gestão dos reservatórios de uma bacia de forma a produzir uma evaporação total mínima, é um modelo de máxima eficiência.

Esta função será:

$$E = \sum_{j=1}^{j=n} jE_t$$

ou

$$E = 1E_t + 2E_t + 3E_t$$

Para resolver a Programação Linear proposta, basta colocar esta expressão em função das variáveis de decisão da Matriz, isto é:

$$jE_t = t(jX_t)$$

Para tanto, é necessário considerar o sistema de equações:

$$\begin{aligned} (a) \quad jDV &= jX + jE \\ (b) \quad jDV &= A(jH_t - jH_{t+1}) + B \\ (c) \quad jE &= c(jH_t + jH_{t+1}) + D \end{aligned}$$

$jH_t = H_0$ (Estado inicial do reservatório ou nível do início do período seco)

Substituindo o valor da variável jH_{t+1} da equação (c) em (b), a relação (a) produz a equação procurada,

$$E_t = t(jX_t)$$

Análise do Sistema

O modelo tem como resposta, os valores das descargas jX_t para cada mês. Sua aplicação independe do nível inicial do reservatório. Nos meses subsequentes do período seco, é possível estabelecer um calendário de liberação de água. Haverá então para cada reservatório em cada mês, um valor de vazão estabelecido a partir da resolução do sistema proposto. Os resultados deverão ser cotejados no açude com os níveis observados objetivando ajustar cada vez mais as equações do modelo. Os valores das constantes também poderão ser modificados de acordo com o desenvolvimento do Vale.

Resultado

CALENDÁRIO DE OPERAÇÃO					
NOME DO RESERVATÓRIO	COTA			VOLUME INICIAL (MILHÃO) m ³	VAZÃO COMPORTA (m ³ /S)
	INICIAL OBSERV.	CALCUL.	FINAL OBSERV.		
Açude General Sampaio	120,45	120,00		205.823	3.000
Açude Pereira de Miranda	55,90	55,48		322.115	3.789
Açude Caxitoré	68,33	68,15		119.775	0.100
VAZÃO TOTAL POR EVAPORAÇÃO = 6.204 m ³ /S					

Bibliografia

Krutilla J. V. and Eckstein O., "Multiple Purpose River Development", Johns Hopkins paperbacks edition, 1969.

Buras N., "Scientific Allocation of Water Resources", American elsevier publishing company, inc. New York, 1972.

Girão e Ellen Rieder, "Programação Linear", Almeida Neves — Editores Ltda, Rio de Janeiro, 1971.

Eegleson P. S., "Dynamic Hydrology", Mc Graw — Hill Book Company, USA, 1970.

Tahal/Sondotécnica, "Aproveitamento Hidro-Agrícola da Bacia do Rio Curu". DNOCS — 1971.

Hall Warren A. and John A. Dracup, "Water Resources Systems Engineering", Mac Graw — Hill Book Company, 1970.