

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSOS DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE RESERVATÓRIOS
PARA USOS DE CONSERVAÇÃO

Campina Grande

Dezembro 1990

MARCIA MARIA RIOS RIBEIRO

OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE RESERVATORIOS
PARA USOS DE CONSERVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HIDRICOS

UBALD KOCH

Orientador

RAIMUNDO SERGIO SANTOS GOIS

Orientador

Campina Grande

Dezembro 1990



R484o Ribeiro, Marcia Maria Rios.
Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação / Marcia Maria Rios Ribeiro. - Campina Grande, 1990.
167 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1990.
"Orientação: Prof. Dr. Raimundo Sergio Santos Gois".
Referências.

1. Alta Voltagem. 2. Tensão Elétrica. 3. Potencial Resistivo - Divisor. 4. Engenharia Elétrica - Dissertação. I. Gois, Raimundo Sergio Santos . II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.13(043)

MARCIA MARTA RIOS RIBEIRO

OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE RESERVATÓRIOS
PARA USOS DE CONSERVAÇÃO


Dissertação aprovada em 20/12/1990

AREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HIDRICOS



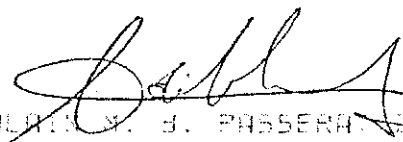
Dr. Ing. UBALDO KOCH

Orientador



PH.D. VALDEYRAS S. SRIA VHSAK

Componente da Banca



PH.D. ALVIN X. S. PASSERA DE SILANS

Componente da Banca

Lampina Grande - Po

Dezembro de 1990

A

José Nivaldo Ribeiro e
Mércia Rios Ribeiro,
pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de pesquisa envolve diversas pessoas, que colaboram e incentivam a sua consecução. Neste sentido, agradeço aqueles professores, funcionários e alunos da Área de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, campus II, que de alguma maneira tiveram participação neste estudo.

Aos professores orientadores, Ubald Koch e Raimundo Sérgio Santos Góis.

Os colegas e amigos Celso Augusto Guimarães Santos e Wellington dos Anjos Santos forneceram programas computacionais para fase de tratamento dos dados; para esta mesma etapa contribuíram, Eliane de Sousa Conrado e Solange Oliveira Silva. Carlos de Oliveira Galvão, cedeu seu micro computador para uso durante grande parte da execução deste trabalho.

A Hélio Francisco Bezerra, que ofereceu o apoio para a implantação computacional do modelo HEC-3.

Os seguintes órgãos cedeceram dados e informações essenciais: DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas); IAJAT (Instituto Agrônômico José Augusto Trindade); Governo do Estado da Paraíba, especialmente à CAGEPA (Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba); SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste); IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); DNAEE (Departamento Nacional de Águas e

Energia Elétrica).

Ao Governo do Estado da Paraíba, pela minha liberação para a realização do mestrado.

O CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), forneceu suporte financeiro durante os anos do curso.

A versão do modelo HEC-3 usada, foi cedida pelo professor José Nilson Beserra Campos (UFC). As discussões com os professores Vajapeyan S. Srinivasan (UFPb), Antônio Eduardo Lanna (UFRS) e Nestor Rolando Corrêa (Universidade de Hannover), foram importantes no desenvolvimento do estudo.

José Nivaldo Ribeiro Filho e Paulo Roberto Rodrigues Pessoa, prestaram apoio na confecção dos desenhos.

Minha homenagem especial ao colega e amigo, Flávio Alves da Silva.

Por fim, José Nivaldo, Mércia, Nivaldo Filho, Patricia e José Rios, estiveram presentes transmitindo força durante todo o mestrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura		página
A.1	Nordeste brasileiro com destaque para a região estudada.	115
A.2	Bacia dos açudes Engenheiro Avidos-São Gonçalo.	116
A.3	Corte esquemático de um reservatório indicando as quatro zonas imaginárias de armazenamento propostas pelo modelo HEC-3.	117
A.4	Fluxograma geral do modelo HEC-3; segundo HEC-3, 1976.	118
A.5	Corte esquemático de um reservatório mostrando as variáveis envolvidas no cálculo da vazão "QO(L)" necessária para o reservatório alcançar cada um dos níveis-índices "L" definidos.	119
A.6	Vazões históricas mensais; período 1921-1935 (Posto São José de Piranhas).	120
A.7	Vazões artificiais; período 1959-1986.	121
A.8	Curvas de cota, área e volume do açude Engenheiro Avidos (fonte: SUDENE, 1970).	122
A.9	Curvas de cota, área e volume do açude São Gonçalo (fonte: SUDENE, 1970).	123
A.10	Configuração esquemática do sistema estudado para ser simulada pelo modelo HEC-3.	124
A.11	Reservatório Engenheiro Avidos com volume armazenado alocado em quatro zonas; com nível 4 = nível 3.	125
A.12	Reservatório São Gonçalo com volume armazenado alocado em quatro zonas; com nível 4 = nível 3.	125
A.13a	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período histórico 1921-1935, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e Q_{MIN2} básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	127
A.13b	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período histórico 1930-1933, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$,	128

	$N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	
A.13c	Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período histórico 1930-1933, demandas atuais e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	129
A.13d	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1921, 1922, 1923, 1924 e 1925, demanda atual e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	130
A.13e	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1926, 1927, 1928, 1929 e 1930, demanda atual e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	131
A.13f	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1931, 1932, 1933, 1934 e 1935, demanda atual e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	132
A.13g	Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1959-1986, demandas atuais e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	133
A.13h	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período artificial 1979-1984, demandas atuais e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	134
A.13i	Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1979-1984, demandas atuais e operação com $N_{\text{EA}} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.	135
A.13j	Vazões de conservação (QCONS) médias mensais liberadas do reservatório Engenheiro Avidos para atendimento das demandas atuais de jusante, período não crítico da série histórica e artificial.	136
A.14a	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período histórico 1930-1933, demandas futuras e operação com $N_{\text{EA}} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	138
A.14b	Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período histórico 1930-1933, demandas futuras e operação com $N_{\text{EA}} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{\text{EE}} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	139

A.14c	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período artificial 1959-1986, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	140
A.14d	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para o período artificial 1979-1984, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	141
A.14e	Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1979-1984, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	142
A.14f	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1959, 1960, 1961, 1962, 1963 e 1964, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	143
A.14g	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1965, 1966, 1967, 1968, 1969 e 1970, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	144
A.14h	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1971, 1972, 1973, 1974, 1975 e 1976, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	145
A.14i	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1977, 1978, 1979, 1980, 1981 e 1982, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	146
A.14j	Volume armazenado no reservatório Engenheiro Avidos para os anos 1983, 1984, 1985 e 1986, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SO} = 12,00 \text{ hm}^3$ e QMIN2 básica = $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.	147
A.14l	Vazões de conservação (QCONS) médias mensais liberadas do reservatório Engenheiro Avidos para atendimento das demandas futuras de jusante, período não crítico da série histórica e artificial.	148
A.15	Corte esquemático de um reservatório indicando oito zonas de armazenamento.	149

- A.16a Volume armazenado no reservatório Engenheiro 151
Avidos para o período histórico 1930-1933,
demandas atuais e operação sem nível de alerta.
- A.16b Volume armazenado no reservatório São Gonçalo 152
para o período histórico 1930-1933, demandas
atuais e operação sem nível de alerta.

LISTA DE TABELAS

Tabela		página
3.1	Características morfológicas da bacia hidrográfica dos açudes Engenheiro Avidos e São Gonçalo (DNOCS, 1985).	23
3.2	Características do PISG quanto às áreas irrigáveis em ha (DNOCS, 1985, 1988).	27
5.1	Valores máximos mensais de evaporação (mm) ocorridos na estação Engenheiro Avidos; período 1979-1983.	52
5.2	Relação de secas no Nordeste do Brasil (século XX até ano de 1983, SUDENE, 1983; Medeiros Fº e Souza, 1988).	57
5.3	Parâmetros estatísticos para as séries de vazões estudadas.	58
5.4	Coefficientes de regressão linear para os meses de fevereiro, março e abril da série fluviométrica dos 28 anos (série artificial).	59
5.5	Demandas de abastecimento atual (1989); segundo CAGEPA. Valores constantes para todos os meses do ano.	60
5.6	Demandas de abastecimento para o ano de 2010. Valores constantes para todos os meses do ano.	62
5.7	Projetos de irrigação e respectivas áreas irrigáveis (DNOCS, 1985, 1988; Governo da Paraíba, 1986; Sampaio et al., 1981).	63
5.8	Demanda mensal para irrigação para o ano de 1989 (m ³ /s).	65
5.9	Demanda mensal para irrigação para a condição de futuro (m ³ /s).	65
5.10	Cota, área e volume para o reservatório Engenheiro Avidos e para o reservatório São Gonçalo, SUDENE, 1970.	66
6.1	Demandas mensais para a situação atual para cada ponto de controle do sistema (m ³ /s).	74

6.2	Valores do QMIN2 para um QMIN2 básica de 1,00 m ³ /s.	75
6.3	Simulações com diversos N _{EA} , para QMIN2 básica de 1,00 m ³ /s com N _{EO} = 12,00 hm ³ .	76
6.4	Simulações com nível N _{EA} = 15,00 hm ³ /s, 20,00 hm ³ e 30,00 hm ³ , com QMIN2 básica de 1,00 m ³ /s.	77
6.5	Resumo dos melhores resultados de algumas operações tentadas para demanda atual sob condições da série histórica de vazões.	78
6.6	Valores do QMIN2 para um QMIN2 básica de 1,20 m ³ /s.	79
6.7	Algumas operações tentadas para demanda atual sob condições da série artificial de vazões.	81
6.8	Percentual de demanda total atendida para o período de operação 1980-1984, com N _{EA} = 100,00 hm ³ e QMIN2 básica de 1,20 m ³ /s.	84
6.9	Valores do QMIN2 correspondente a 70,0 % de QMIN1 no PC 3.	86
6.10	Valores do QMIN2 correspondente a 50,0 % de QMIN1 no PC 3.	86
6.11	Demanda atendida em PC 2, 50,0 % do valor total.	87
6.12	Valores do QMIN2 correspondente a 30,0 % de QMIN1 no PC 3.	87
6.13	Demandas mensais para a situação futura para cada ponto de controle do sistema (m ³ /s).	89
6.14	Operações para demanda de futuro sob condições da série histórica de vazões.	90
6.15	Operações para demanda de futuro sob condições da série artificial de vazões.	93
6.16	Simulação com oito níveis nos reservatórios para demanda atual, sob série histórica de vazões.	95
6.17	IE nos PC _n com N _{EA} = 25,00 hm ³ e N _{EO} = 9,60 hm ³ para as demandas atuais e de futuro.	96
B.1	Evaporação em Engenheiro Avidos (multiplicado por 0,75).	154
B.2	Vazões históricas do posto São José de Piranhas (período 1921-1935).	154

B.3	Chuva média na subbacia São José de Piranhas.	155
B.4	Chuva média na subbacia Engenheiro Avidos.	156
B.5	Limites de confiança para a série histórica de São José de Piranhas (1921-1935); com um nível de significância de 10 %.	156
B.6	Vazões artificiais (período 1959-1986).	157
B.7	Dados populacionais para cálculo das demandas de abastecimento.	158
B.8	Taxa de crescimento "r" ao ano para cálculo da população de projeto.	158
B.9	Coefficientes de cultivo médio segundo Blaney e Criddle (1962) citados por Daker (1984).	158
B.10	Chuva no posto Engenheiro Avidos (período 1921-1935).	159
B.11	Chuva no posto Nazarezinho (período 1921-1935).	159
B.12	Chuva no posto São Gonçalo (período 1921-1935).	159
B.13	Médias aritméticas da pluviometria para serem usadas como precipitação no cálculo da quantidade de água necessária para irrigar.	160
B.14	Projeto de irrigação Engenheiro Avidos.	161
B.15	Projeto de irrigação Gravata - área de aluvião.	162
B.15a	Projeto de irrigação Gravata - área de encosta.	163
B.16	Projeto de irrigação São Gonçalo.	164
B.17	Vazão histórica em Engenheiro Avidos (período 1921-1935).	165
B.18	Vazão histórica em São Gonçalo (período 1921-1935).	165
B.19	Vazão artificial em Engenheiro Avidos (período 1959-1986).	166
B.20	Vazão artificial em São Gonçalo (período 1959-1986).	166
B.21	Algumas operações tentadas para a série histórica de vazões com as demandas atuais.	167

LISTA DE VARIÁVEIS

$A_{p.c}$	Área de drenagem para o ponto de controle em questão.
AL	Nível que os reservatórios devem atingir para que seja atendida a vazão desejada no ponto de controle em questão.
AREA	Área do reservatório.
C	Consumo de água em l/s.
CEVAP	Taxa multiplicativa da evaporação.
D	Demanda média anual.
$D_{r.a}$	Demanda requerida média anual.
$D_{a.a}$	Demanda atendida média anual.
E	Escassez média anual.
EL	Cota do reservatório.
ELEV	Cota no reservatório para o fim do mês operado.
EV	Lâmina evaporada (mm).
E_t	Evaporação no tanque Classe A.
EVTMP	Evaporação no reservatório para o volume STORA.
IE	Índice de escassez.
IR	Número indicativo do ponto de controle imediatamente a montante do ponto em operação.
IYR	Número do primeiro ano da simulação.
ISRCH	Identificação do tipo de operação quanto a permissão ou não do sobrearmazenamento.
IRPT	Níveis constantes durante toda a operação ou variáveis entre os meses e constantes nos anos.
IPERA	Identificação do tipo de ano a ser simulado.
IDVPR	Derivações com mesma prioridade de vazão mínima requerida ou não.
K	Número índice para os valores da tabela cota, área e volume.

K_t	Coeficiente de ajuste do tanque Classe "A".
K_v	Coeficiente de variação do dia de maior consumo.
L	Identificação de cada um dos níveis-índices.
M	Número do ponto de controle.
METRC	Unidades usadas (sistema métrico).
MDNST	Identificação do próximo ponto de controle a jusante.
MQ	Identificação da estação fluviométrica base para cálculo das vazões locais.
NYRS	Número de anos simulados.
NL	Nível-índice máximo no reservatório.
NFL	Nível-índice correspondente ao topo da zona de conservação principal.
N_{EA}	Nível de alerta no reservatório Engenheiro Avidos.
N_{SG}	Nível de alerta no reservatório São Gonçalo.
PC	Ponto de controle.
P_n	População de projeto para o ano T_n .
P_o	População conhecida referente ao ano T_o .
q	Consumo per capita (l/hab/dia).
QDV	Requerimento de derivação, constante em toda operação.
QMN	Vazão desejada, constante em toda operação.
QM2	Vazão mínima requerida, constante em toda operação.
QMX	Vazão máxima permitida, constante em toda operação.
QDIV	Requerimento de derivação, variável entre os meses e constante para todos os anos.
QMIN1	Vazão desejada, variável entre os meses e constante nos anos.
QMIN2	Vazão mínima requerida, variável nos meses e constante nos anos.
QMX	Vazão máxima permitida, variável nos meses e constante nos anos.
QLKG	Valor da perda por infiltração, constante para toda a

operação.

QO(L)	Liberação necessária para alcançar cada um dos níveis-índices L definidos.
QOT(L)	Liberação necessária para alcançar cada um dos níveis-índices L definidos, considerando a liberação vinda do ponto de controle de montante.
QII	Vazão afluyente na estação MQ.
QI	Vazão afluyente total no ponto de controle.
QL	Vazão local no ponto de controle para o mês operado.
QA	Vazão meta a ser atendida na operação.
QCONS	Liberação de conservação para atendimento das demandas de jusante.
QRIV	Liberação de cheia.
QDIVA	Derivação atendida.
r	Taxa de crescimento populacional.
RTIO	Fator que multiplica as vazões de MQ.
STOR	Volume do reservatório.
STORA	Volume armazenado no reservatório para o início do mês em operação.
STORB	Volume armazenado no reservatório para o fim do mês em operação.
STORL(L)	Volume correspondente a cada um dos níveis-índices.
S_{max}	Volume máximo no reservatório.
S_{min}	Volume mínimo de operação no reservatório.

SUMARIO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE VARIÁVEIS	xii
SUMARIO	xv
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
CAPITULO I	
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO II	
ANALISE DE SISTEMAS DE RECURSOS HIDRICOS	5
2.1 - O Gerenciamento dos recursos hidricos	5
2.2 - Técnicas de análise de sistemas de recursos hidricos	7
2.3 - A operação de sistemas de reservatórios	9
2.4 - Os modelos de simulação para operação de sistemas de reservatórios	11
2.4.1 - Considerações gerais	11
2.4.2 - Os modelos clássicos	13
2.4.3 - Alguns casos de estudos	15
CAPITULO III	
DESCRIÇÃO DA REGIÃO	19

4.3.2 - A subrotina INOUT	39
4.3.2.1 - Os dados de informações gerais	39
4.3.2.2 - Os dados de caracterização de cada ponto de controle	40
4.3.3 - A subrotina COMP	41
4.3.3.1 - A vazão desejada QMIN1	41
4.3.3.2 - A liberação QO(L)	42
4.3.3.3 - A liberação QOT(L)	43
4.3.3.4 - Verificação dos limites das liberações QOT(L)	43
4.3.3.5 - O nível AL	44
4.3.3.6 - Liberação de conservação QCONS	45
4.3.3.7 - Volume STORB no reservatório .	46
4.3.3.8 - A cota ELEV	47
4.3.3.9 - O tipo de operação realizada .	48
4.3.3.10 - A escassez (E) hídrica mensal	48
4.3.3.11 - Média anual das quantidades .	49
4.4 - A consistência dos dados de saída do HEC-3	49

CAPITULO V

OS DADOS DO SISTEMA	51
5.1 - Os dados usados	51
5.2 - A evaporação	51
5.3 - As vazões	53
5.3.1 - Uso do modelo Tank-Model	53

5.3.2 - Uso da equação do balanço hídrico	54
5.3.3 - Uso do modelo Thomas-Fiering	55
5.4 - Demandas	59
5.4.1 - Demandas de abastecimento público	60
5.4.1.1 - Cálculo da população P_n	61
5.4.1.2 - Cálculo do consumo de água C	62
5.4.2 - Demandas para irrigação	63
5.4.2.1 - O uso consuntivo	63
5.4.2.2 - A precipitação admitida	64
5.4.2.3 - Cálculo da demanda para irrigação	64
5.5 - Dados dos reservatórios	65

CAPITULO VI

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS SIMULAÇÕES	67
6.1 - Generalidades	67
6.2 - A configuração do sistema para a simulação	68
6.3 - Aspectos gerais das simulações	69
6.4 - As simulações	72
6.4.1 - A operação com a demanda atual	73
6.4.1.1 - Operação com a série histórica	74
6.4.1.2 - Operação com a série artificial	81
6.4.1.3 - Operação variando o nível de alerta	85
6.4.2 - A operação com a demanda futura	89
6.4.2.1 - Operação com a série	

RESUMO

Um modelo de simulação da operação de reservatórios é aplicado a um sistema composto de dois reservatórios em série, Engenheiro Avidos e São Gonçalo, localizados na região semi-árida do Estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil. O HEC-3, com base na política operacional de zoneamento múltiplo dos níveis dos reservatórios, determina as liberações mensais que devem ser feitas a fim de que as demandas sejam atendidas de forma racional. Ênfase é dada aos usos de abastecimento e irrigação, demandas características do sistema. O estudo analisa a situação para as demandas atuais e para as demandas de futuro, para ambos os casos são usadas a série de vazões históricas e a série criada artificialmente a partir de dados gerados; o que possibilita simular o sistema frente a existência de períodos com variação de um ano até cinco anos consecutivos de estiagem. Os resultados indicam o sistema com escassez hídrica já para a situação atual, mostram a importância de se operar o sistema com restrições vinculadas ao volume armazenado nos reservatórios e demonstram a possibilidade de se usar um modelo de simulação de operação de reservatórios no gerenciamento dos recursos hídricos superficiais de uma região.

ABSTRACT

A simulation model for reservoir operation is applied here in to a system with two reservoirs in series, that of Engenheiro Avidos and São Gonçalo. This system is located in the semi-arid region of the Paraíba State, in the northeast of Brazil. The HEC-3 programme utilized in this study is based on the operational policy of establishing zones of operation of the reservoir identified by the levels and it determines the releases in each month that can be made rationally in the face of the demands that exist. Priority of use is given for municipal water supply and irrigation. This study analyses the situations for present and future demands. In both the cases are utilized historical and synthetic series of flows that permit the simulation of the system with critical periods that vary from one to five years of drought. The results show that the system faces shortage even at the present level of demands. The importance of operating the system with restrictions related to the stored volume in the reservoirs and the usefulness of a simulation model for reservoir operation in the management of the water resources of a region is amply demonstrated.

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A importância de se usar os recursos hídricos racionalmente, aumenta na proporção em que estes recursos se apresentam de forma escassa. Os rigores do clima semi-árido do Nordeste do Brasil, com chuvas irregulares em termos de distribuição espaço-temporal, faz com que a água se torne elemento decisório no quadro sócio-econômico da região. Nestas circunstâncias, o planejamento dos recursos hídricos ganha dimensão fundamental; através dele se estabelecem as diretrizes a serem seguidas para proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação dos recursos hídricos.

Na tentativa de diminuir as consequências da ausência das chuvas, o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) durante os seus 80 anos de existência, vem insistindo na política de construção de açudes públicos no Nordeste brasileiro. Com estes açudes, como referenciou Euclides da Cunha em "Os Sertões", escrito no princípio deste século, "...fixar-se-ia uma situação de equilíbrio para a instabilidade

do clima, porque os numerosos [...] açudes uniformemente distribuídos [...], teriam naturalmente, no correr dos tempos, a influência moderadora de um mar interior, de importância extrema" (Cunha, 1963). Até o ano de 1908, o Nordeste contava com 292 açudes que representavam um volume de água armazenado de 15,5 bilhões de metros cúbicos (Borges, 1990). Os açudes, liberando quantidades adicionais de água às vazões naturais nas estiagens, podem garantir o suprimento total ou parcial das demandas requeridas; além do mais, estes açudes armazenam os excessos das cheias que podem ocorrer em certos dias de alguns anos.

Entretanto, não é suficiente apenas construir açudes; é preciso operar estes açudes de forma que o uso da água armazenada, seja disciplinado ao longo do tempo. Os estudos da operação de sistemas de reservatórios vem ganhando expansão crescente com a evolução das técnicas de Análise de Sistemas, cuja pesquisa se desenvolve com o progresso tecnológico na área de computadores.

Neste sentido, considerando o valor que tem a água para o Nordeste brasileiro, este trabalho se propõe a estudar a operação para usos de conservação, de um sistema constituído de dois reservatórios em série (Engenheiro Avidos e São Gonçalo), localizados no semi-árido do Estado da Paraíba, no Nordeste brasileiro, em uma área totalmente inserida no denominado "polígono das secas", segundo classificação da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). O sistema escolhido, representa a principal reserva hídrica superficial da bacia do Alto Piranhas, sendo responsável pelo atendimento das

demandas de abastecimento público das cidades de Cajazeiras e Sousa, entre outras e irrigação de projetos, entre os quais o de São Gonçalo. O objetivo do estudo da operação do sistema é o de oferecer informações sobre a disponibilidade hídrica superficial para o caso das demandas de presente e de futuro e sobre os critérios que ajudam na minimização do déficit hídrico nas épocas de estiagens.

Como ferramenta para viabilizar a análise da operação do sistema, escolheu-se o modelo de simulação HEC-3 desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC). A técnica de simulação foi a adotada pela simplicidade matemática que oferece e pela versatilidade maior em relação aos métodos otimizantes. O HEC-3, já consagrado nos estudos com ênfase na regularização de vazões e de caráter genérico, além de simular a operação dos reservatórios deste trabalho, pode ser aplicado em outras bacias do Nordeste; o modelo pode se tornar um instrumento de auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos superficiais da região.

O trabalho se desenvolve em sete capítulos:

No capítulo 1 (Introdução) é caracterizado o problema a ser analisado no estudo.

No capítulo 2 (Análise de Sistemas de Recursos Hídricos) faz-se uma breve revisão da literatura relacionada com o assunto do trabalho.

O capítulo 3 (Descrição da Região) expõe a área de

estudo, com suas características principais.

No capítulo 4 (O Modelo HEC-3) a ferramenta escolhida para simular a operação do sistema é apresentada.

O capítulo 5 (Os Dados do Sistema) mostra quais os dados usados no trabalho e os cálculos necessários para a obtenção destes dados.

No capítulo 6 (Apresentação e Discussão das Simulações) as simulações desenvolvidas durante o trabalho são expostas e discussões baseadas nos resultados destas simulações são apresentadas.

No capítulo 7 (Conclusões e Recomendações) as impressões finais do estudo e as sugestões para pesquisas futuras são citadas.

CAPITULO II

ANALISE DE SISTEMAS DE RECURSOS HIDRICOS

A análise de sistemas de recursos hídricos é discutida brevemente neste capítulo; são apresentadas as técnicas usadas e ênfase é dada para os modelos de simulação de operação de sistemas de reservatórios.

2.1 - O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HIDRICOS

O avanço das técnicas de engenharia em função do aumento das demandas; a atenção crescente aos problemas do meio ambiente e a modernidade das leis e instituições que governam nossas sociedades; são algumas das razões para o desenvolvimento acentuado do gerenciamento dos recursos hídricos nas últimas décadas (Rossi, 1983). Gerenciar um sistema de recursos hídricos tem como finalidade encontrar a solução dos problemas decorrentes tanto do uso intensivo destes recursos como dos conflitos entre os diversos usos, pois considerando que a água é elemento escasso, sua alocação para vários fins é sempre competitiva. Sendo um processo que visa transformar a disponibilidade natural

em termos apropriados para ser utilizada em processos produtivos, Hermann (1983), indica três etapas para o gerenciamento: o planejamento/projeto, a construção de estruturas destinadas a conter e/ou veicular a água e a operação destas estruturas.

Uma ferramenta imprescindível para os profissionais do gerenciamento de recursos hídricos, é a análise de sistemas de recursos hídricos que teve suas bases apresentadas em 1960 no "Harvard Water Program"; Braga (1987), Maass et al. (1970) e Fiering (1976). Neste documento da literatura oficial americana, um problema de planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos é decomposto em cinco etapas: definição dos objetivos, formulação de medidas quantitativas dos objetivos, geração de alternativas de solução, quantificação das alternativas e seleção da alternativa ótima.

Os objetivos econômicos dominaram o planejamento dos recursos hídricos por muito tempo; porém nos anos 70, novos direcionamentos foram tomados. O "Water Resources Council's Principles and Standards" (1979) citado por Loucks et al. (1981), estabelecia uma série de procedimentos para planejamento de recursos hídricos em agências federais norte-americanas. De acordo com estes princípios, os dois objetivos gerais a serem alcançados no planejamento dos sistemas hídricos são: aumento do desenvolvimento econômico nacional e melhoria da qualidade ambiental.

O primeiro passo para analisar um sistema é identificar os seus limites, seus elementos e as correlações

entre estes. Fasso (1983), afirma que um sistema é um conjunto de elementos interconectados e que tem uma estrutura orientada para alcançar um objetivo comum. Lotti e Pandolfi (1975), entendem que um sistema é um complexo finito de elementos que interagem entre si. Percebe-se portanto, que a análise de um sistema de recursos hídricos não está apenas relacionada com hidrólogos e hidráulicos, mas com outras ciências como a ecologia, agronomia, economia, legislação, sociologia.

2.2 - TECNICAS DE ANALISE DE SISTEMAS DE RECURSOS HIDRICOS

Basicamente as técnicas para análise de sistemas de recursos hídricos podem ser agrupadas em: otimização e simulação (Loucks et al., 1981). Uma outra categoria, os métodos simplificados (diagrama de Rippl), desenvolvidos para aplicações manuais, tem uso limitado em função da complexidade do sistema (Zahed, 1984; Conejo, 1983).

Hall e Dracup (1970) e Loucks et al. (1981), definem simulação como um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em uma sequência lógica que descreve a operação do sistema no espaço e no tempo. Assim, a simulação procura representar um sistema em seus aspectos importantes. No processo de simulação, a solução "ótima" é encontrada por tentativas e erros.

Os modelos de simulação são classificados em (Hall e Dracup, 1970; Hermann, 1980): modelos físicos, modelos analógicos e modelos digitais. Com o progresso computacional, os

modelos digitais estão sendo cada vez mais usados.

Segundo Braga (1987), existem dois tipos básicos de modelo de simulação em recursos hídricos: simulação dos processos hidrológicos e da qualidade da água; onde se obtêm informações dos aspectos quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico e a simulação dos aspectos de dimensionamento e operação de sistemas de recursos hídricos. O último aspecto é objeto de discussão deste trabalho.

Os modelos otimizantes dentre os quais os mais conhecidos são os de programação linear e dinâmica; possuem uma estrutura matemática simplificada e requerem um algoritmo para encontrar valores ótimos das variáveis de decisão (Harboe, 1987).

A vantagem de um modelo de simulação quando comparado com um modelo de otimização, é que a simulação, apesar de não garantir uma solução ótima, pode ser aplicada em complexos sistemas de recursos hídricos. A riqueza de respostas sobre o comportamento do sistema suplanta em muito aquelas fornecidas pela otimização. As idéias inerentes ao modelo de simulação podem ser entendidas mais facilmente que as idéias no modelo de otimização (Loucks e Sigvaldason, 1982).

Para se definir entre um modelo otimizante ou um modelo de simulação, deve-se considerar a complexidade do sistema estudado. Casos simples onde o conhecimento dos fenômenos a serem tratados é suficiente para escrever equações que descrevem e governam o sistema, podem ser muito bem tratados por um modelo

otimizante. Para sistemas complexos que não podem ser analisados diretamente através das metodologias analíticas formais, usa-se a simulação. No caso de um sistema simples, onde se deseje um maior conhecimento do comportamento do sistema, parte-se para a simulação. Uma concepção geral, que vem sendo formada, é que os modelos de simulação e otimização devem ser entendidos como técnicas complementares para auxiliar no processo de análise de sistemas de recursos hídricos (Labadie, 1978; Zahed, 1984; Braga, 1987).

2.3 - A OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS

A água existe na natureza de forma variável no espaço e no tempo. Para diminuir esta variabilidade, regularizar o comportamento temporal e espacial das vazões, são construídos os reservatórios.

Um sistema de reservatórios pode ser classificado nas categorias (HEC, 1974): conservação (regularização) e/ou controle de cheias. Conservação significa armazenar a água para usá-la posteriormente em aproveitamentos de abastecimento residencial, agrícola, industrial; navegação; recreação; geração de energia hidroelétrica; melhoria da qualidade de água. Controle de enchente diz respeito a retenção da água nos períodos de cheias para evitar ou reduzir os danos de jusante.

O objetivo da operação de reservatórios é o de orientar a programação de armazenamentos e descargas ao longo do tempo para reservatórios com dimensões conhecidas (Zahed, 1984).

Portanto, devem ser determinados os critérios de decisão que especificam, o volume de água a ser descarregado em função da demanda, das vazões afluentes e dos níveis dos reservatórios; estes critérios, que definem como o uso da água deve ser administrado, constituem a regra de operação do sistema. A regra de operação é também denominada de regra de liberação (McMahon e Mein, 1978), pois está relacionada com o controle das liberações a serem feitas dos reservatórios.

Yeh (1985), faz uma revisão extensa dos modelos matemáticos existentes para operação de reservatórios e os classifica em: modelos de programação linear, modelos de programação dinâmica, modelos de programação não linear e modelos de simulação. Yeh (1985) afirma que a complexidade de um sistema múltiplo de reservatórios com fins múltiplos, requer decisões quanto as liberações a serem determinadas por modelos de otimização ou de simulação, e que encontrar as melhores regras de operação para o sistema tem sido uma grande área de estudo.

O propósito ou múltiplos propósitos de um sistema de reservatórios obriga o uso de determinados modelos de operação. Assim, sistemas construídos para o controle de cheias devem possuir um modelo em tempo real. Sistemas para conservação podem ser tratados em um modelo de base mensal. Sistemas com os mais diversos propósitos são mais aplicados em modelos de simulação. Quando a definição da função objetivo é por exemplo, puramente econômica, usam-se os modelos otimizantes.

2.4 - OS MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS

2.4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A grande aplicação de simulação em recursos hídricos tem sido na área de dimensionamento e operação de reservatórios múltiplos (Braga, 1987). Os modelos de simulação são recomendados por Harboe e Schultz (1985) para análise de sistemas hídricos, por apresentarem resultados mais "transparentes" que os modelos otimizantes. Wurbs et al. (1985) citado por Ford (1990), concluem que por ser largamente aceito e aplicado pela comunidade de desenvolvimento e gerenciamento de reservatórios, o "estado da arte" da análise de sistemas de reservatórios é a simulação.

Labadie (1978), apresenta como componentes de um modelo de simulação para representação de um sistema de reservatórios:

a) Variáveis de entrada: são as quantidades hidrológicas (vazões afluentes), as demandas, as vazões de restrição, os limites operacionais dos níveis do reservatório.

b) Variáveis de estado: variam durante a simulação, como os volumes armazenados nos reservatórios.

c) Variáveis de saída: respostas da simulação, como as vazões liberadas para atendimento de uma certa demanda, a escassez do sistema.

d) Parâmetros: variáveis que caracterizam o sistema; como o volume mínimo e capacidade dos reservatórios.

e) Intervalo de tempo: intervalo mensais para estudos de conservação e diários para controle de cheias são os mais usados.

Os modelos de simulação para operação de sistemas de reservatórios múltiplos com múltiplos fins, se fundamentam em políticas de operação que podem incluir um ou mais dos seguintes componentes (Loucks e Sigvaldason, 1982):

a) Níveis e volumes-metas: definidos os níveis desejados para o reservatório, o operador tenta encontrá-los o quanto for possível enquanto satisfaz as demandas de jusante. Esta política é conhecida como curva-guia ("rule-curve").

b) Zoneamento múltiplo de níveis: várias zonas de armazenamento são definidas e a cada uma corresponde um critério de descarregamento.

c) Faixas de defluência: este componente determina uma relação entre os níveis do reservatório e as vazões nos canais.

d) Curvas-guias condicionadas: as regras operacionais são função não só das curvas-guias como das previsões de afluências.

A literatura mostra que a simulação foi aplicada pela primeira vez a um sistema de reservatórios em 1953 pelo U.S.

Army Corps of Engineers (Maass et al., 1970; Hall e Dracup, 1970). Tratava-se da operação de seis reservatórios no rio Missouri, EUA, cujo objetivo era maximizar a produção de energia elétrica sujeita as restrições de navegação, controle de cheia e irrigação (Pafford Jr., 1957). Hildebrand (1960) citado por Lanna (1982), descreveu o modelo de simulação para o sistema hidroelétrico do rio Colúmbia, EUA. Manzer e Banett (1962) fizeram o mesmo para a bacia hipotética do "Harvard Water Program". Yeh (1985) referencia os estudos de simulação feitos por Emery e Meek (1960) para a planície do Vale do Nilo, Egito. Lanna (1982) cita Morrice (1958) que usou um modelo matemático de simulação para maximizar o volume útil de água de irrigação no vale do rio Nilo, foram considerados dezesseis reservatórios. Hufschmidt e Fiering (1966), citados por Hall e Dracup (1970) e Yeh (1985), usaram simulação no planejamento do sistema do rio Lehigh.

2.4.2 - OS MODELOS CLASSICOS

Loucks e Sigvaldason (1982), assumindo a existência de milhares de modelos de simulação que estão sendo usados na prática entendem que cinco destes modelos são de especial interesse; o HEC-3 e o HEC-5, desenvolvidos pelo Hydrologic Engineering Center entre 1971 e 1979; o SIMYLD-II, do Texas Water Development Board (Evason e Mosely, 1970), EUA; o modelo desenvolvido para o sistema Oswego pelo New York State Department of Environmental Conservation (Liu et al., 1972) e o modelo Acres (Sigvaldason, 1976), desenvolvido para o sistema do rio Trent em Ontário no Canadá.

Além de considerar os modelos citados por Loucks e Sigvaldason, Yeh (1985) inclui entre os modelos de simulação consagrados: o SIMYLD-I, do Texas Water Development Board (Evanson e Mosely, 1970); o Upper Wabash, para o sistema Wabash em Indiana (Toebes e Chang, 1972); o modelo para bacia do rio Arkansas (Coomes, 1979); o Hydro System Seasonal Simulator, desenvolvido pelo North Pacific Division, Corps of Engineers (Jones, 1979); o modelo para o sistema do rio Colorado (Freeney, 1979) e o modelo Duke Power Hydro System (Sledge, 1979).

Observa-se na literatura que diversos modelos tiveram como base a estrutura do HEC-3 (Loucks e Sigvaldason, 1982). O modelo do sistema Oswego, por exemplo, utiliza as idéias básicas do zoneamento do HEC-3; no Oswego, o número de zonas de armazenamento fica reduzida a quatro, quando no HEC-3 elas podem chegar a oito. O SIMYLD-II, é semelhante ao HEC-3 com o adicional de possuir um algoritmo de programação linear. O Acres é uma adaptação e extensão dos conceitos básicos do HEC-3, Oswego e SIMYLD-II; ele tem uma zona adicional (zona de vertimento) e sua curva-guia pode ser posicionada em qualquer espaço da zona de conservação e não necessariamente no topo desta zona, o que é o caso do HEC-3. O HEC-5 pode ser considerado uma versão do HEC-3 mais ampliada; enquanto no HEC-3, a ênfase é dada aos estudos de regularização, no HEC-5 são analisados os aspectos de conservação como também os de controle de cheia. Feldman (1981), discute os modelos HEC-3 e HEC-5, enquanto Beard et al. (1972) comparam os modelos HEC-3 e SIMYLD. O HEC (1989) faz comentários sobre as versões mais recentes do HEC-3 e HEC-5. Uma discussão do

HEC-3 é encontrada no capítulo IV deste trabalho.

2.4.3 - ALGUNS CASOS DE ESTUDOS

São apresentados a seguir, estudos de operação de reservatórios feitos nos últimos dez anos. Modelos gerais são aplicados e modelos específicos são desenvolvidos; é enfatizado o uso conjunto de simulação e otimização; referência é feita a questão da realocação das zonas de armazenamento nos reservatórios; modelos desenvolvidos no Brasil são citados.

Ford et al. (1981) analisaram a operação do sistema Sam Rayburn, que consta de dois reservatórios em série situados no Texas, EUA. Os reservatórios são operados para controle de cheia, abastecimento público; manutenção da qualidade de água e recreação. Eles utilizaram o modelo "Reservoir Yield" do Hydrologic Engineering Center para a simulação e um modelo de programação não linear.

Harboe e Schultz (1985) desenvolveram um modelo de simulação para dois reservatórios em paralelo na bacia do rio Wupper na Alemanha. A simulação foi feita com registros sintéticos de vazões diárias e quatro propósitos foram considerados: controle de cheia, abastecimento público, aumento de vazões a jusante e liberações para garantia da vida aquática.

Harboe (1986) estabeleceu regras de operação em tempo real para sistemas de reservatórios usando programação dinâmica e modelos de simulação. Esta metodologia foi aplicada ao sistema do rio Wupper na Alemanha, composto de seis reservatórios

e com o propósito principal de aumentar a qualidade de água.

Laabs e Harboe (1988) desenvolveram metodologia para encontrar regras de operação para um sistema com um único reservatório. Eles utilizaram modelos do tipo determinístico, probabilístico e estocástico; através destes modelos muitas regras de operação para o reservatório foram obtidas e os autores sugerem que a seleção final da política ótima seja feita através de simulações em tempo real aplicando cada uma das regras encontradas anteriormente.

O planejamento, auxiliado por computador, de políticas de operação de sistemas de reservatórios foi formulado para quatro reservatórios do rio Arkansas no Colorado, EUA, (Johnson, 1990). O "CAP" ("Computer-Aided Planning") que usa métodos de simulação e otimização, tem como proposta ajudar na comunicação entre as partes envolvidas na seleção da melhor alternativa de operação para o sistema e apresenta uma resolução gráfica das respostas do planejamento.

A operação de dois sistemas de reservatórios com o objetivo único de abastecimento público no Reino Unido, foi analisada por Tollow (1989). Um modelo de simulação foi desenvolvido para microcomputador e usado para definir a política de operação dos sistemas. O uso conjunto dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do sistema é proposto.

Wurbs e Cabezas (1987) apresentaram um procedimento de avaliação econômica e hidrológica com a finalidade de analisar realocações propostas entre os

armazenamentos de controle de cheia e abastecimento industrial e residencial nos reservatórios; o HEC-5 foi utilizado para simular as operações de controle de cheia dos reservatórios analisados. Realocações entre o espaço de controle de cheia e o espaço de conservação também foram enfatizadas em Ford (1990). Ele considera a mudança ocorrida na prática da análise de sistemas de recursos hídricos com o avanço dos microcomputadores e propõe um modelo para simulação de reservatórios usando a política "Opportunities" desenvolvida pelo Hydrologic Engineering Center (HEC, 1988). Esta política, que apresenta métodos para a realocação do armazenamento dos reservatórios, foi revisada por Johnson et al. (1990); o uso do espaço destinado ao controle de cheia durante as estações secas foi analisado.

Zahed (1984) aplicou o modelo HEC-5 a um sistema de reservatórios múltiplos proposto pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo, geração de energia e controle de cheias.

O modelo CHEIA desenvolvido pela ELETROBRAS (Centrais Elétricas Brasileiras SA), vem sendo usado com frequência para estudos de operação de controle de cheias em bacias brasileiras. Dib et al. (1989) mostram os resultados de simulações feitas com o modelo na bacia do rio Iguaçu, Estado do Paraná. Simulações também foram efetuadas no rio São Francisco, trecho Três Marias/Pirapora, visando definir regras operativas (Dib e Dantas, 1987).

Um "Sistema de Apoio à Decisão" (SAD) foi desenvolvido (Porto et al., 1989) para ser aplicado a operação em tempo real do reservatório de Guarapiranga, na região metropolitana de São Paulo. A operação do reservatório, com fins de abastecimento público e controle de cheia, é feita através de modelo de simulação. Como o sistema pode ser processado até em um microcomputador e apresenta um método que é susceptível à compreensão dos operadores, decisões difíceis de racionar o abastecimento da água, ficam mais embasadas.

CAPITULO III

DESCRIÇÃO DA REGIÃO

3.1 - LOCALIZAÇÃO

A região estudada, situa-se no oeste do Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil (figura A.1, anexo A), sob coordenadas geográficas de 6° 50' e 7° 25' de latitude sul e 38° 10' e 38° 40' de longitude a oeste de Greenwich; é parte integrante da Bacia do Alto Piranhas, e possui uma área de 1219,40 Km²; é denominada por este estudo de bacia dos açudes Engenheiro Avidos-São Gonçalo (figura A.2, anexo A).

3.2 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS

3.2.1 - CARACTERISTICAS GERAIS

Apresentando clima semi-árido quente mediano, com 7 a 8 meses secos (Nimer, 1989), a bacia é caracterizada por uma má distribuição anual das chuvas que aliada a temperatura e evaporação elevadas, ocasionam os problemas de ordem sócio-econômicos peculiares ao semi-árido nordestino.

O período chuvoso tem início em janeiro estendendo-se até maio, sendo o trimestre mais chuvoso fevereiro até abril. O restante do ano a região fica sobre estiagem prolongada e agosto até outubro, representam os meses mais secos.

Apresentando em muitos meses do ano, média evaporimétrica superior ao valor precipitado; a evaporação mensal, medida em tanque classe A, encontra valores máximos em torno de 300,00 mm e mínimos entre 150,00 mm a 200,00 mm.

Nestes meses, a temperatura média fica em torno dos 28°C; nos meses chuvosos ela é em cerca de 25°C. A amplitude térmica é sempre inferior a 5°C, a temperatura média anual é de aproximadamente 27°C.

A maior média anual de precipitação, calculada neste estudo com base nas observações de 1911-1983, ocorre no posto São José de Piranhas (905,30 mm) e a menor no posto Nazarezinho (785,22 mm), a região como um todo se encontra envolvida pela isoietas de 800 mm.

A influência desértica seca e as brisas, criam uma umidade relativa média mensal que varia entre 54% a 74%. No trimestre mais úmido a média mensal é de 75% e no mais seco apresenta um declínio para a faixa 50% a 60%.

Os estudos dos ventos coletados na estação meteorológica de São Gonçalo, em anemômetros a 0,50 m do solo, mostra uma média anual próxima aos 10 Km/h. Os meses com as menores velocidades são março e abril (7,20 Km/h) e os de maiores

são setembro e outubro (11,88 Km/h).

Assim como as médias de temperaturas e ventos, as médias de insolação apresentam homogeneidade durante todo o ano, estando suas pequenas flutuações em consonância com a evolução ou não das precipitações. De janeiro até maio, a insolação se mantém em torno de 250 horas médias mensais, atingindo 300 horas em outubro. Em termos de brilho solar por ano, a insolação tem valor médio de 3200 horas.

O relevo da área é homogêneo, do tipo ondulado suave. A altitude máxima se dá em Timbauba (520,00 m) e a mínima em São Gonçalo (233,00 m), ficando a altitude média da região em 250,00 m. As duas unidades morfológicas encontradas são: depressões sertanejas compostas por pediplanação ao norte, e ao sul áreas cristalinas elevadas com maciços residuais e inselbergues.

Basicamente, ocorrem na região três tipos de cobertura vegetal: a caatinga, a mata seca e os campos antrópicos. São componentes comuns da cobertura vegetal, as espécies: jurema preta, velame, mandacaru, juazeiro, carnaúba.

3.2.2 - OS RECURSOS HIDRICOS

3.2.2.1 - Hidrologia superficial

A bacia é drenada pelo rio Piranhas que nasce no extremo oeste da Paraíba na região dos municípios de Bonito de Santa Fé, Monte Horebe e São José de Piranhas (figura R.2, anexo R). Da sua nascente o Piranhas caminha 31,00 Km e então forma em

Cajazeiras o açude Engenheiro Avidos; percorrendo em direção ao norte mais 22,50 Km, forma nos municípios de Sousa e Nazarezinho o açude São Gonçalo, limite do sistema hídrico superficial desta pesquisa.

O rio Piranhas dentro da bacia Engenheiro Avidos-São Gonçalo, não possui nenhum considerável afluente, apenas alguns insignificantes riachos que pouco contribuem para o escoamento na região; os grandes afluentes do Piranhas (rios do Peixe, Piancó, Espinharas, Seridó) localizam-se fora dos limites da bacia estudada. O trecho do Piranhas de interesse, é intermitente a montante do açude Engenheiro Avidos e semi-perenizado entre os dois açudes; imediatamente a jusante do São Gonçalo volta a ser intermitente. O rio apresenta declividade média de 1,45 m/km e qualidade de água considerada de boa a excelente para a irrigação; esta água é rica em bicarbonato, mas com um índice favorável cálcio-sódio.

O regime fluviométrico apresenta as características do semi-árido; os escoamentos são função direta das chuvas e características físicas da bacia. Tratando-se de uma região onde as precipitações pluviométricas se apresentam com distribuição mensal e interanual irregular, o mesmo ocorre com os deflúvios. Portanto, segundo as precipitações ocorridas na bacia, observam-se períodos curtos de descargas mais elevadas (meses de fevereiro até abril) e períodos longos de baixos escoamentos (6 a 7 meses de baixa precipitação).

O sistema composto de dois reservatórios em série,

Engenheiro Avidos e São Gonçalo (figura A.2, anexo A), representa a reserva hídrica superficial da bacia. Para se ter uma idéia da morfologia da bacia hidrográfica dos dois açudes, apresenta-se a tabela 3.1.

Tabela 3.1. Características morfológicas da bacia hidrográfica dos açudes Engenheiro Avidos e São Gonçalo (DNOCS, 1985).

	Eng. Avidos	S. Gonçalo
área de drenagem*	924,00 Km ²	295,40 Km ²
perímetro	167,00 Km	99,20 Km
linha de fundo	47,80 Km	27,20 Km
largura média	19,60 Km	11,60 Km
coef. de compactidade*	1,53	1,61

*calculado neste estudo.

O reservatório Engenheiro Avidos localiza-se no denominado "boqueirão de Piranhas", um lugar de menor resistência onde passa o rio Piranhas em seu curso para o norte. Construído pelo DNOCS em 1936, dentro da política de dotar o Nordeste semi-árido de uma estrutura hidráulica para combater os efeitos da seca, o reservatório tem capacidade máxima de 255,00 Hm³, o que corresponde a uma cota de 317,20 m. A barragem tem cortina central de concreto armado, altura máxima de 45,00 m, coroamento na cota 321,00 m e sangradouro constituído de uma secção vertedoura controlada por duas comportas radiais e dimensionado para uma vazão afluente máxima (vazão de projeto) de 1610,00 m³/s. O reservatório é responsável pelo abastecimento público da cidade de Cajazeiras e distrito de Engenheiro Avidos e regularização do rio Piranhas, viabilizando os projetos de

irrigação a jusante (Engenheiro Avidos e Gravatá) e o abastecimento do reservatório São Gonçalo.

O São Gonçalo também construído pelo DNOCS em 1936, acumulando as águas liberadas pelo Engenheiro Avidos, tem a função de abastecer a cidade de Sousa e distritos de Marizópolis, São Gonçalo e em breve Divinópolis, é responsável ainda pelo suprimento das demandas hídricas do projeto de irrigação São Gonçalo. Tem capacidade máxima de 44,60 Hm³, o que corresponde a uma cota de 247,00 m; a barragem possui cortina central de concreto armado, altura máxima de 22,00 m, coroamento na cota 251,00 m e sangradouro retangular de soleira delgada (perfil Creager) dimensionado para uma vazão aflúente máxima na ordem de 1800,00 m³/s. O seu funcionamento tem caráter prioritário dentro da política federal de desenvolvimento da irrigação no nordeste do Brasil.

3.2.2.2 - Hidrologia subterrânea

O Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste (Albuquerque, 1971), mostra que a região está inserida em terrenos predominantemente cristalinos do período pré-cambriano superior (grupo Seridó, PcSe₁), montante e proximidades do açude Engenheiro Avidos, com recursos hídricos modestos e por terrenos do período pré-cambriano inferior (grupo Caicó, PCCa₁), bastante fraturado e com melhores perspectivas hidrogeológicas, situados a jusante do açude Engenheiro Avidos. As manchas aluvionares ao longo do do rio Piranhas representam o quartenário.

3.3 - ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS

3.3.1 - CARACTERISTICAS GERAIS

De interesse para a área investigada são os municípios de Sousa e distritos de Divinópolis, Marizópolis e São Gonçalo; município de Cajazeiras e distrito de Engenheiro Avidos; município de Nazarezinho; e distrito de Gravatá, este último pertencente ao município de Antenor Navarro. A área ainda engloba os municípios de São José de Piranhas, Monte Horebe, Bonito de Santa Fé, Carrapateira, Serra Grande, Aguiar, São José da Lagoa Tapada. As cidades de Cajazeiras e Sousa estão entre os centros urbanos mais desenvolvidos do sertão paraibano, as demais localidades são pequenos lugarejos sem muita representatividade para o Estado.

Nesta área a agricultura é a ocupação econômica predominante. O sistema produtivo não difere dos demais existentes no semi-árido nordestino. Existem na área três projetos de irrigação, o projeto Engenheiro Avidos, o projeto Gravatá e o projeto São Gonçalo. A pecuária é representada pelos bovinos, sendo estes o maior efetivo dos rebanhos na região. O setor industrial quase inexiste, as poucas unidades fabris estão ligadas ao setor primário, há pequenas indústrias caseiras. O comércio e serviços tem um significado diminuto no quadro econômico regional.

A caracterização da região, descrita até aqui, foi elaborada com base em documentos da SUDENE (1968, 1970), DNOCS (1985, 1988, 1989) e Governo do Estado da Paraíba (1975, 1975a,

1986, 1986a, 1986b).

3.3.2 - OS PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

3.3.3.1 - Projeto Engenheiro Avidos

Localizado em ambas as margens do rio Piranhas, imediatamente a jusante do açude Engenheiro Avidos, ocupa terras dos municípios de Cajazeiras, Antenor Navarro e Nazarezinho. Limita ao norte com o projeto Gravatá.

Concebido pelo Governo do Estado da Paraíba (1986), o projeto possui uma área máxima irrigada de 486,00 ha pelo método de aspersão. O projeto ainda não foi efetivado e o que na realidade hoje existe, é uma agricultura irrigada onde os agricultores transportam a água em canais ou tubulação captando-a à fio d'água no rio Piranhas. As principais lavouras desenvolvidas são: algodão, arroz e o consórcio algodão, milho e feijão.

3.3.3.2 - Projeto Gravatá

Projeto privado, localizado em Gravatá e em funcionamento desde 1982 (Sampaio et al., 1981). A área do projeto situa-se na margem esquerda do rio Piranhas, para quem parte do açude Engenheiro Avidos, é uma área total de 210,0 ha, sendo 67,2 ha de aluvião e 142,8 ha de encosta. As culturas plantadas são algodão, feijão, milho, arroz e banana. A fonte de água para o projeto é o rio Piranhas, a captação é feita diretamente do leito do rio. A área aluvial é irrigada por irrigação superficial e nas encostas se adota o sistema de

irrigação localizada.

3.3.3.3 - Projeto São Gonçalo

Localizado no distrito de São Gonçalo, imediatamente a jusante do açude de mesmo nome, sob jurisdição da 3ª Diretoria Regional do DNOCS desde 1973; o Projeto de Irrigação São Gonçalo (PISG) é hoje um dos mais importantes projetos do DNOCS. Desde muito antes, quando não possuía acompanhamento do DNOCS, época em que era coordenado pelo IAJAT (Instituto Agrônomo José Augusto Trindade), que o projeto, conhecido como projeto IAJAT, já se destacava entre os demais da região do Alto Piranhas (SUDENE, 1968).

O projeto possui área total de 5290,0 ha, distribuída em duas etapas (DNOCS, 1985, 1988): a etapa I, totalmente em operação e a etapa II, em fase de construção tendo início de operação prevista para 1990. A tabela 3.2 indica o PISG e respectivas áreas.

Tabela 3.2. Características do PISG quanto as áreas irrigáveis em ha (DNOCS, 1985, 1988).

Áreas	Etapa I	Etapa II	Total
área total	4100,0	1190,0	5290,0
por gravidade	2347,0	513,5	2860,5
por aspersão	-	175,5	175,5
sequeiro	1548,0	501,0	2049,0
com instituições	205,0	-	205,0

A rede de irrigação é formada pelos canais principais e secundários, os quais conduzem a água até o limite dos lotes agrícolas. O sistema de drenagem é constituído pelos coletores principais e secundários. Os principais são compostos pelos leito do rio Piranhas e riacho (dreno) Umari. As estruturas de distribuição, medição e controle de água são constituídas pelas comportas das galerias das barragens Engenheiro Avidos e São Gonçalo (DNOCS, 1985, 1988).

A cultura mais importante do PISG (DNOCS, 1989) é o arroz, ocupando em torno de 50% da área cultivada, destaca-se também o feijão, o algodão, o tomate. São culturas permanentes no PISG: a bananeira nanica, o coco anão e o capim elefante. Os principais mercados para a comercialização da produção do PISG (DNOCS, 1989) são as cidades: Sousa, Cajazeiras, Pombal, Patos, Campina Grande e João Pessoa no Estado da Paraíba; Pesqueira, Belo Jardim e Recife em Pernambuco; Fortaleza no Ceará e Natal no Rio Grande do Norte, todas com facilidades de acesso através de suas rodovias.

CAPITULO IV

O MODELO HEC-3

4.1 - GENERALIDADES

Desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center, o HEC-3 é um modelo genérico de simulação com ênfase para os usos de regularização. A versão utilizada neste trabalho data de 1976/1977, em FORTRAN, tendo sido implantada para microcomputador do tipo IBM PC. Com a intenção de auxiliar nos estudos de planejamento, o programa define as políticas de operação dos reservatórios de um sistema, determinando as liberações que devem ser feitas durante os períodos secos, cheios e normais, quando ocorrerem. O programa simula a operação dos reservatórios com fins de conservação como abastecimento público, navegação, recreação, irrigação, usos hidroelétricos. O controle de cheia é tratado de forma muito simples; o HEC-3 não é o tipo de programa a ser aplicado em um sistema de reservatórios com problemas de enchentes. Sendo um modelo geral, ele é bastante flexível para operar sistemas de reservatórios com as mais diversas configurações.

4.2 - OS COMPONENTES DO MODELO

O modelo tem como elemento fundamental o ponto de controle; para simular através do HEC-3 é preciso definir a configuração do sistema em termos de pontos de controle e caracterizá-los. A caracterização é feita indicando os componentes naturais (hidrológicos) e artificiais (demandas, características físicas dos reservatórios). Identificado e caracterizado os pontos de controle, o programa simula a operação do sistema com base na política de operação que lhe é inerente.

4.2.1 A CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA NO MODELO

4.2.1.1 - Os pontos de controle

Os pontos de controle (PC) formam os nós de uma rede que caracteriza a configuração do sistema. Podem ser entendidos como qualquer local onde é importante obter informações e no qual uma específica demanda deve ser atendida. Os reservatórios também são considerados como pontos de controle; sendo assim o programa considera dois tipos de pontos: o PC comum, sem volume armazenado e o PC do tipo reservatório. Possuindo um certo volume armazenado, os reservatórios devem ser caracterizados pelos dados de cota, área e volume que lhes são pertinentes. Além destes, devem ser definidas a vazão máxima permitida de saída e a infiltração no reservatório.

O algoritmo do HEC-3 busca o atendimento das demandas dos vários usos através da operação dos reservatórios de montante para jusante, portanto, todos os reservatórios e pontos

de controle a montante de qualquer local, devem estar caracterizados antes de serem definidos os pontos de controle de jusante.

O ponto de controle na extremidade de montante de cada rio deve ser um reservatório; querendo-se iniciar a configuração do sistema por um ponto de controle sem armazenamento, assume-se para este, dados de reservatório com volume nulo. Os reservatórios operam para atender a suas próprias demandas e a de pontos de controle localizados a jusante.

4.2.1.2 - As demandas

As demandas podem ser de dois tipos: em forma de derivações ou de vazões desejadas e mínimas requeridas.

a) As derivações

São liberações de vazões para pontos localizados fora da rede do sistema ou para outros pontos de controle deste sistema; são feitas através de canais artificiais independentes dos canais naturais. É permitida apenas uma derivação de cada ponto de controle. Um exemplo típico de aplicação das derivações são as demandas de água para suprimento público ou irrigação de áreas abastecidas pelos pontos de controle. As derivações podem retornar a qualquer ponto de controle, desde que situado a jusante. Elas podem ser constantes ao longo do tempo, constantes para certos períodos ou variáveis no tempo.

b) As vazões desejadas e mínimas requeridas

As vazões desejadas e mínimas requeridas são as demandas que um determinado ponto de controle deve atender a jusante. Para a liberação destas vazões, existem critérios que variam segundo o estado de armazenamento do reservatório, como descrito no item 4.2.2.

4.2.1.3 - O sistema hidrológico

É caracterizado no HEC-3 pelos dados de vazão e evaporação.

a) Os dados de vazão

A vazão é o componente hidrológico principal para o programa. Para descrevê-la é necessário identificar o local onde ela ocorre, a magnitude e o período de tempo; o intervalo adotado para estudos de conservação é o mensal.

As vazões que ocorrem em um determinado ponto de controle são denominadas de vazões locais, a estas vazões são adicionadas as liberações ocorridas a montante, formando assim as vazões afluentes totais no ponto de controle.

Não existindo dados de vazão em um determinado ponto de controle, estas são admitidas como uma proporção dos valores de uma certa estação situada a montante.

b) Os dados de evaporação

Os dados exigidos pelo modelo são as lâminas

mensais. Eles podem ser únicos para toda a bacia ou variar para cada reservatório.

4.2.2 - A POLITICA OPERACIONAL DO HEC-3

4.2.2.1 - O critério dos níveis-índices

A política operacional estruturada no HEC-3 é fundamentada na técnica dos níveis-índices ou política do zoneamento múltiplo dos níveis, proposta por Beard em 1967 (Lanna, 1982; Zahed, 1984; HEC, 1974). Segundo esta política, os reservatórios tem seus volumes armazenados alocados em faixas horizontais imaginárias; a cada uma destas faixas corresponde um número índice. A técnica permite estabelecer uma escala de prioridades de armazenamentos e descarregamentos para cada zona definida.

O zoneamento dos volumes exige que todos os reservatórios do sistema sejam operados com o nível de água na mesma zona, sempre que possível. Quando os reservatórios se encontram em um mesmo nível-índice, diz-se que o sistema está em balanço. Este procedimento não impõe que todos os reservatórios fiquem com armazenamento proporcionais a sua capacidade, pois os níveis-índices podem forçar uma distribuição qualquer de armazenamentos.

De acordo com o modelo, pode-se dividir o volume total de um reservatório em um número mínimo de quatro zonas e máximo de oito (HEC, 1974, 1976, 1977). Os critérios de prioridades segundo os quais devem ser feitas as descargas dos reservatórios,

constituem a base da regra de operação para o sistema. A figura A.3 (anexo A) mostra um reservatório com seu volume dividido nas quatro zonas básicas definidas no HEC-3. Estas zonas estão descritas a seguir, e o tipo de fluxo a ser liberado é indicado para cada uma delas.

a) Zona inativa

Corresponde ao volume morto do reservatório; é destinada a garantir um volume para acumulação de sedimentos afluentes, garantir a vida aquática quando ocorrer um período de estiagem, criar uma carga adicional as turbinas. Nesta zona nenhuma liberação é permitida e o volume do reservatório pode baixar exclusivamente pelo efeito da evaporação. O topo da zona inativa corresponde ao nível-índice 1 para o modelo.

b) Zona de alerta

Nesta zona, restrições quanto ao atendimento das demandas passam a ser feitas. A zona de alerta, zona de conservação secundária ou zona de resguardo ("buffer zone") é uma zona de emergência onde o armazenamento do reservatório assume gradativamente valores críticos e o racionamento da demanda é imposto para ajudar na recuperação do sistema. São feitas descargas iguais a vazão mínima requerida; a vazão requerida corresponde a uma parcela da demanda total exigida denominada de vazão desejada. Portanto, estando o reservatório nesta zona, apenas as demandas hídricas prioritárias são supridas. Recebe o número 2 o topo desta zona.

A zona de alerta se constitui na principal zona de armazenamento para aqueles sistemas que são operados sem zona de controle de cheias; para estes casos, o objetivo das simulações é encontrar o volume da zona de alerta para cada um dos reservatórios do sistema, associado a uma certa vazão mínima requerida, que provoque o menor índice de escassez (item 4.3.1).

c) Zona de conservação

Zona onde a demanda é atendida sem restrições; o ideal em uma operação, é manter o reservatório, tanto quanto possível, nesta zona. No período seco o nível cairá em direção a zona de alerta e em períodos de cheia, subirá até o nível de controle de cheia. As vazões de saída são iguais ou superiores a vazão desejada. O nível-índice 3 diz respeito ao topo da zona de conservação, que é também denominada de zona de conservação principal.

d) Zona de controle de cheias

O quarto nível-índice corresponde ao topo da zona de controle de cheias. O espaço desta zona, situado acima da zona de conservação, é destinado a laminação das ondas de cheia e é conhecido como volume de espera. Entre o nível de conservação e o de controle de cheias, as descargas são feitas tentando trazer o nível para o de conservação, limitadas pela capacidade do canal no local da barragem ou em pontos de controle a jusante para o qual o reservatório opera; portanto, as descargas serão menores ou no máximo iguais a capacidade do canal no reservatório. Acima do nível de controle de cheia, existem dois

tipos de opções: não se permite sobrecarga e todo excesso será vertido independente da capacidade do canal ou a água excedente só será liberada desde que a capacidade dos descarregadores permita, sendo esta capacidade insuficiente existirá sobrecarga.

4.2.2.2 - Demais critérios operativos do HEC-3

Além dos critérios operacionais quanto as liberações a serem feitas em função do nível de água no reservatório, outros critérios operativos constituem-se na regra do HEC-3. Estes critérios correspondem as restrições físicas dos reservatórios, restrições impostas por pontos de controle imediatamente a jusante, associados a estes reservatórios e restrições da operação para manutenção do sistema em balanço. Estas restrições estão relacionadas a seguir.

Um reservatório a montante de alguns reservatórios em série, não pode ser operado para um ponto de controle situado a jusante do segundo reservatório. Porém quando o reservatório de jusante procede as suas liberações, considera o armazenamento do reservatório de montante.

As descargas para garantir vazões desejadas em locais a jusante de um reservatório não são atendidas, se houver problema de inundação em algum ponto de controle.

Se dois reservatórios estão em série, o reservatório de montante pode ser operado para pontos de controle intermediários e para o reservatório de jusante. A operação é feita na tentativa de trazer o reservatório de montante para o

mesmo nível-índice do reservatório de jusante, baseados nos níveis-índices do intervalo anterior.

Os reservatórios dispostos em paralelo, que operam para um ponto de controle comum, são mantidos em balanço em relação aos seus níveis-índices. Neste tipo de situação opera-se primeiro aquele reservatório que possuir o maior nível-índice.

As restrições operacionais físicas dos reservatórios estão relacionadas com o atendimento da equação do balanço hídrico, com as limitações do armazenamento nos reservatórios, com as limitações de descargas que são determinadas pelas condições de operação das estruturas do sistema (órgãos de saída), bem como pela política operacional desejada.

4.3 - O FUNCIONAMENTO DO MODELO

O modelo é composto de um programa principal com três subrotinas básicas (INOUT, ECON e COMP). A figura A.4 (anexo A) apresenta o fluxograma geral do programa. A subrotina ECON, responsável pela avaliação econômica das quantidades hidrológicas não foi utilizada no caso em estudo. Como o sistema analisado não possui usinas hidroelétricas, os dados referentes a estes componentes foram dispensados. Será discutida a estrutura do modelo adaptada ao caso em estudo, para análise da forma geral do HEC-3, aconselha-se consultar os manuais do programa (HEC, 1976) e do usuário (HEC, 1974).

4.3.1 - O PROGRAMA PRINCIPAL

No programa principal os dados que possuem variação anual são lidos. Estes dados são (veja lista de variáveis): a vazão QII da estação fluviométrica, base para cálculo das vazões locais QL nos pontos de controle; a taxa de evaporação para o sistema; as demandas do tipo derivações, vazões desejadas e mínimas requeridas e os níveis de armazenamento nos reservatórios. A vazão QL em cada ponto de controle é calculada por $(QII \times RTIO)$ onde RTIO é o fator multiplicativo. As subrotinas INOUT e COMP são chamadas. A média anual para todo período simulado das vazões afluentes, demandas, vazões liberadas, evaporação, escassez hídrica são determinadas. É organizada uma tabela indicando o número de vezes em que o reservatório esteve com seu volume de conservação total em certas faixas especificadas. A máxima escassez e o índice de escassez (IE), descrito a seguir, são determinados para cada ponto de controle durante todo o período simulado. Os resultados da simulação são impressos.

O Índice de Escassez (IE) é expresso como uma razão da escassez hídrica média anual pelo requerimento médio anual. Tem a seguinte formulação:

$$IE = (100/N) \sum_{1}^N (E/D_{r,a})^2 \quad (\text{eq. 4.1})$$

onde:

N = número de anos simulados;

$D_{r,a}$ = demanda requerida média anual;

E = escassez média anual, calculada por:

$$E = (D_{r.a.} - D_{a.a.})$$

onde:

$D_{r.a.}$ = demanda requerida média anual;

$D_{a.a.}$ = demanda atendida média anual.

Em função do tipo de demanda requerida, o índice de escassez que é calculado em cada ponto de controle, pode corresponder às derivações, vazões desejadas e vazões mínimas requeridas. Ele reflete o grau da escassez durante os anos simulados em relação a um período de cem anos e é o elemento que caracteriza o estado do sistema quanto ao atendimento ou não das demandas.

4.3.2 - A SUBROTINA INOUT

Faz a leitura e impressão dos dados de informações gerais e dos dados que caracterizam os pontos de controle.

4.3.2.1 - Os dados de informações gerais

1. Nome do sistema a ser simulado
2. NYRS = número de anos da simulação.
3. IYR = número do primeiro ano da simulação.
4. NL = número de níveis de armazenamento nos reservatórios.
5. METRC = unidades usadas (para o sistema métrico).
6. IPERA = identificação do tipo de ano a ser simulado (ano hidrológico ou civil).
7. IDVPR = derivações com mesma prioridade de vazão mínima

requerida ou n^o.

4.3.2.2 - Os dados de caracterização de cada ponto de controle

a) Para todos os pontos de controle:

1. M = número do ponto de controle.
2. MDNST = identificação do próximo ponto de controle a jusante.
3. QDV = requerimento de derivação, constante em toda operação.
4. QMN = vazão desejada, constante em toda operação.
5. QM2 = vazão mínima requerida, constante em toda operação.
6. QMXX = vazão máxima permitida, constante em toda operação.
7. MQ = identificação da estação fluviométrica base para cálculo das vazões locais.
8. RTIO = fator que multiplica as vazões de MQ.
9. QDIV = requerimento de derivação variável entre os meses e constante para todos os anos.
10. QMIN1 = vazão desejada variável nos meses e constante nos anos.
11. QMIN2 = vazão mínima requerida variável nos meses e constante nos anos.
12. QMX = vazão máxima permitida variável nos meses e constante no anos.

b) Para pontos de controle do tipo reservatório:

13. CEVAP = Taxa multiplicativa da evaporação.
14. STORA = Volume para o início da operação.
15. QLKG = Valor da perda por infiltração, constante para toda a operação.
16. ISRCH = Identificação do tipo de operação quanto a permissão ou não do sobrearmazenamento.
17. L = Identificação de cada um dos níveis-índices.
18. STORL = Volume correspondente aos níveis-índices.
19. IRPT = Níveis constantes durante toda a operação ou variáveis entre os meses e constantes nos anos.
20. Tabela de cota (EL), área (AREA) e volume (STOR).

4.3.3 - A SUBROTINA COMP

Calcula em detalhes a operação do sistema proposto, indicando para cada ano simulado as vazões mensais a serem liberadas pelos pontos de controle a fim de que sejam atendidas as demandas do ponto de controle e as demandas de jusante. Para cada ponto de controle, o programa prossegue com as seguintes etapas de cálculo, para cada um dos meses do ano operado:

4.3.3.1 - A vazão desejada QMIN1

É assumida como a vazão "meta" QA a ser atendida na operação.

4.3.3.2 - A liberação QO(L)

A liberação QO(L) necessária para que seja alcançado cada um dos níveis-índices L definidos, considerando o reservatório com certo volume armazenado para o início do mês em questão (figura R.5, anexo A), é calculada por:

$$QO(L) = QL - QDIV + STORA - STORL(L) - QLKG - EVTMP \quad (\text{eq. 4.2})$$

onde:

QO(L) = descarga a ser feita para que o nível L seja alcançado;

L = nível-índice no reservatório;

QL = vazão local no PC no mês operado;

QDIV = derivação requerida;

STORA = volume no início do mês;

STORL(L) = volume correspondente ao nível L;

QLKG = infiltração média no reservatório;

EVTMP = evaporação no reservatório para o volume STORA, calculada por:

$$EVTMP = \{ (TEMP \times [AREA(K) - AREA(K-1)]) + AREA(K-1) \} \times EV$$

onde:

$$TEMP = STORA - STOR(K-1) / (STOR(K) - STOR(K-1))$$

onde:

K = número índice para os valores da tabela cota, área e volume;

STORA = Volume no início do mês em operação;

STOR(K) = valor superior mais próximo de STORA (da tabela cota, área e volume);

STOR(K-1) = valor inferior mais próximo de STORA (da tabela cota, área e volume);

AREA(K) = área correspondente ao volume STOR(K);

AREA(K-1) = área correspondente ao volume STOR(K-1);

EV = lâmina evaporada.

No caso do ponto de controle não possuir reservatório:

$$QO(L) = QL - QDIV \quad (\text{eq. 4.3})$$

4.3.3.3 - A liberação QOT(L)

O cálculo da liberação QOT(L), necessária para alcançar os níveis L, considerando a liberação feita no ponto de controle de montante, é feita pelas equações 4.4 ou 4.5:

a) Para ponto de controle sem PC a montante:

$$QOT(L) = QO(L) \quad (\text{eq. 4.4})$$

b) Para ponto de controle com PC a montante:

$$QOT(L) = QOT(L) + QOT(IR,L) \quad (\text{eq. 4.5})$$

onde:

QOT(IR,L) = descarga QOT do ponto de controle de montante.

IR = número indicativo do ponto de controle imediatamente a montante do ponto em operação.

4.3.3.4 - Verificação dos limites das liberações QOT(L)

As liberações QOT(L) devem estar dentro dos limites QOTMN e QOTMX; caso não estejam, elas assumem os valores:

- Hydroscience, vol 12, p. 298-419.
- FIERING, M. B. (1976) The role of economics in design of water resources systems. In: Lotti, C. & Pandolfi, C. Water resources systems structures and management, Roma, p. 9-20.
- FORD, D. T.; GARLAND, R. & SULLIVAN, C. (1981) Operation policy analysis: sam rayburn reservoir. Journal of the Water Resources Planning and Management Division, 107(WR2):339-350.
- FORD, D. T. (1990) Reservoir storage reallocation analysis with PC. Journal of Water Resources Planning and Management, 116 (3):402-416.
- FREENY, G. B. (1979) Managing conflicts on the lower colorado river system. Proceedings of the National Workshop on Reservoir Systems Operations, Univ. of Colorado, Boulder. Apud Yeh (1985).
- GILMAN, C. S. (1962) Rainfall. In: Ven te Chow, Handbook of Applied Hydrology, section 9, p. 9-1 - 9-68.
- GOIS, R. S & SUZUKI, K. (1987) Run-off characteristics of small rivers in northeast brazil. Proceedings of the XXXI Congress on Hydraulics, Tokyo, p. 47-52.
- HALL, W. A. & DRACUP, J. A. (1970) Water resources systems engineering. McGraw-Hill, 372 p.
- HARBOE, R. & SCHULTZ, G. A. (1985) Simulation of two parallel multipurpose reservoirs in the dhunn river system, germany. Proceedings of the Jerusalem Symposium, IAHS,

Publ. n° 153, p. 139-145.

HARBOE, R. (1986) Optimization, simulation and multiobjective analysis of operation rules for reservoir systems. Proceedings of ASCE Conference/HY, IR, EE, WR, WW Divs., Long Beach, p. 1026-1032.

HARBOE, R. (1987) Simulation (theory and example application). Systems Analysis in Water Resources Engineering. 13 p.

HEC (1974) HEC-3 Reservoir systems analysis for conservation, users manual. Davis, Calif., The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers.

HEC (1976) HEC-3 Reservoir systems analysis for conservation, programmers manual. Davis, Calif., The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers.

HEC (1977) Reservoir systems analysis for conservation, hydrologic engineering methods for water resources development. Davis, Calif., The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers.

HEC (1988) Opportunities for reservoir storage reallocation. Policy Study 88-PS-2. Davis, Calif., The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers. Apud Ford (1990).

HEC (1989) Computer program catalog. Davis, Calif., The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, 29 p.

- HERMANN, R. M. (1970) Modelos de simulação no planejamento de recursos hídricos; notas de aulas da EPUSP, 27 p.
- HERMANN, R. M. (1983) Planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos. In: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/Departamento de Águas e Energia Elétrica/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Curso de engenharia hidrológica, hidrologia operacional, São Paulo, 2, p. I1-I10.
- HILDEBRAND, C. E. (1960) The analysis of hydroelectric power peaking and pondage by computer. AIEE Transns. Power Appar., 79:1023-1029. Apud Lanna (1982).
- HUFSCMIDT, M. M. & FIERING, M. B. (1966) Simulation techniques for design of water resource systems. Cambridge, Harvard University Press. Apud Hall & Dracup (1970) e Yeh (1985).
- JOHNSON, L. E. (1990) Computer-aided planning for multiple-purpose reservoir operating policies. Water Resources Bulletin, 26(2):299-311.
- JOHNSON, W. K.; WURBS, R. A. & BEEGLE, J. E. (1990) Opportunities for reservoir-storage reallocation. Journal of Water Resources Planning and Management, 116(4):550-566.
- JONES, I. J. (1979) Hydro system seasonal regulation program. Proceedings of the National Workshop on Reservoir Systems Operations, Univ. of Colorado, Boulder. Apud Yeh (1985).
- LAABS, H. e HARBOE, R. (1988) Generation of operation rules with stochastic dynamic programming and multiple objectives. Water

Resources Management, 2:221-227.

LABADIE, J. W. (1978) Management of water resources: a systems approach. Fort Collins, Colorado State University, p. 9-1 - 10-9.

LANNA, A. E. (1982) Operação estratégica de reservatórios para suprimento hídrico e controle de cheias. Porto Alegre, IPH/UFRS, 124 p.

LIU, C. S.; MURALIDHAR, D. & TEDROW, A. C. (1972) Multi-purpose operation studies of a canal-lake-river - Oswego River system. Water Resource Research, 8(2):349-358. Apud Yeh (1985).

LOTTI, C. & PANDOLFI C. (1975) Water resources systems structures and management. Roma, Godel, 255 p.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R. & HAITH, D. A. (1981) Water resources systems planning and analysis. New Jersey, Prentice Hall, 559 p.

LOUCKS, D. P. & SIGVALDASON, D. T. (1982) Multiple operation in north america. In: Kaczmarek, Z. & Kindler, J. The operation of multiple reservoir systems, Laxenburg, 28 p.

MAASS, A.; HUFSCHMIDT, M. M.; DORFMAN, R.; Jr. THOMAS, H. A.; MARGLIN, S. A. & FAIR, G. M. (1970). Design of water resource systems. Massachusetts, 620 p.

MANZER, D. F. & BARNET, M. P. (1962) Analysis by simulation programming techniques for a high-speed digital computer.

- Design of Water-Resource Systems, Cambridge, Harvard University Press, p. 324-379.
- MEDEIROS F^o, J. & SOUZA, I. (1988) A seca do nordeste: um falso problema. Petrópolis, Vozes, 161 p.
- McMAHON, T. A. & MEIN, R. G. (1978) Reservoir capacity and yield. Developments in Water Science, vol.9, 213 p.
- MOLLE, F. (1989) Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. Recife, SUDENE, Série Hidrologia 25, 175 p.
- MORRICE, H. (1958) The use of electronic computing machines to plan the Nile valley as a whole. Internat. Assoc. Sci. Hydrology, publ. 45, vol. 3:95-105.
- NIMER, E. (1989) Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 421 p.
- PAFFORD JR., R. J. (1957) Operation of Missouri river main-stem reservoirs. ASCE, paper 2984:381-394.
- PORTO, R. L. L.; BRAGA, B. P. F.; NAKAYAMA, P. T. & MARTINEZ Jr., F. (1989) Sistema de apoio à decisão: operação de reservatório em tempo real. In: Anais VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, ABRH, vol. 1, p. 97-102.
- PARAIBA/GOVERNO DO ESTADO (1975) Programa rural integrado do alto piranhas. João Pessoa, vol. I, p. 6-50.
- PARAIBA/GOVERNO DO ESTADO (1975a) Programa rural integrado do alto piranhas. João Pessoa, vol. III, p. 8-21.

PARAIBA/GOVERNO DO ESTADO/TECNOSAN (1986) Estudos de aproveitamento hidro-Agrícola de áreas situadas à jusante do açude Engenheiro Avidos, Projeto Engenheiro Avidos, vol. I, 4-19.

PARAIBA/GOVERNO DO ESTADO/CAGEPA (1986a) Definição de manancial para localidade de divinópolis. João Pessoa, 37 folhas.

PARAIBA/GOVERNO DO ESTADO (1986b) Diagnóstico da Bacia do Alto Piranhas. João Pessoa, p. 5.1-6.4.

ROSSI, G. (1983) The systems approach to water management. In: Guggino, E.; Rossi, G. & Hendricks, D. Operation of complex water systems, Erice, Nato ASI Series - Serie E, Applied Sciences, 58, XV-XXVI.

SAMPAIO, F. M.A de S.; AZEVEDO, H. M.; MOTTA, J. de F. & AROUCHA, C. C. (1981) Projeto de irrigação gravatá. Campina Grande, 58 p.

SIGVALDASON, O. T. (1976) A simulation model for operation a multipurpose multireservoir system. Water Resources Research, 12(2):263-278.

SLEDGE, H. K. III (1979) Duke power hydro system reservoir operation. Proceedings of the National Workshop on Reservoir Systems Operations, Univ. of Colorado, Boulder. Apud Yeh (1985).

SUDENE/HIDROSERVICE (1968) Planejamento múltiplo da bacia do rio piranhas. São Paulo, Relatório HE-R-19-968, 132 p.

SUDENE/HIDROSERVICE (1970) Solo e água da bacia de irrigação de São Gonçalo. São Paulo, Relatório HE77A-R11-2770, 3.8 p.

SUDENE (1981) As secas do nordeste, uma abordagem histórica de causas e efeitos. Recife, 81 p.

TOEBES, G. H. & CHANG, T. P. (1972) Simulation model for upper wabash surface water system. Tech. Rep. 27, Dep. of Civil Eng., Purdue Univ., Lafayette. Apud Yeh (1985).

TOLLOW, A. J. (1989) Operation of water supply reservoirs by "control bands" derived by simulation. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 34(4):449-463.

U.S. Principles and standards for planning water and related land resources. Water Resources Council, Federal Register, 38 (174) part III, 1973; revision: 44 (242), part X, 1979. Apud Loucks et al. (1981).

U.S. Water Resources Council (1983). Economic and environmental principles and guidelines for water and related land resources implementation studies. Washington, Circular nº EC 1105-2-115. Apud Loucks et al. (1981).

WURBS, R. A., et al. (1985) State-of-the-art review and annotated bibliography of systems analysis techniques applied to reservoir operation. TR-136, Texas Water Resour. Inst., Texas A&M Univ., College Station, Tex. Apud Ford (1990).

WURBS, R. A. & CABEZAS, L. M. (1987) Analysis of reservoir storage reallocations. Journal of Hydrology, 92:77-95.

YEH, W. W-G. (1985) Reservoir management and operations models: a state-of-art review. Water Resources Research, 21(12):1797-1818.

ZAHED F., K. (1984) Algumas metodologias para o dimensionamento e operação de reservatórios. São Paulo, USP, Dissertação de Mestrado, 257 p.

ANEXO A

FIGURAS

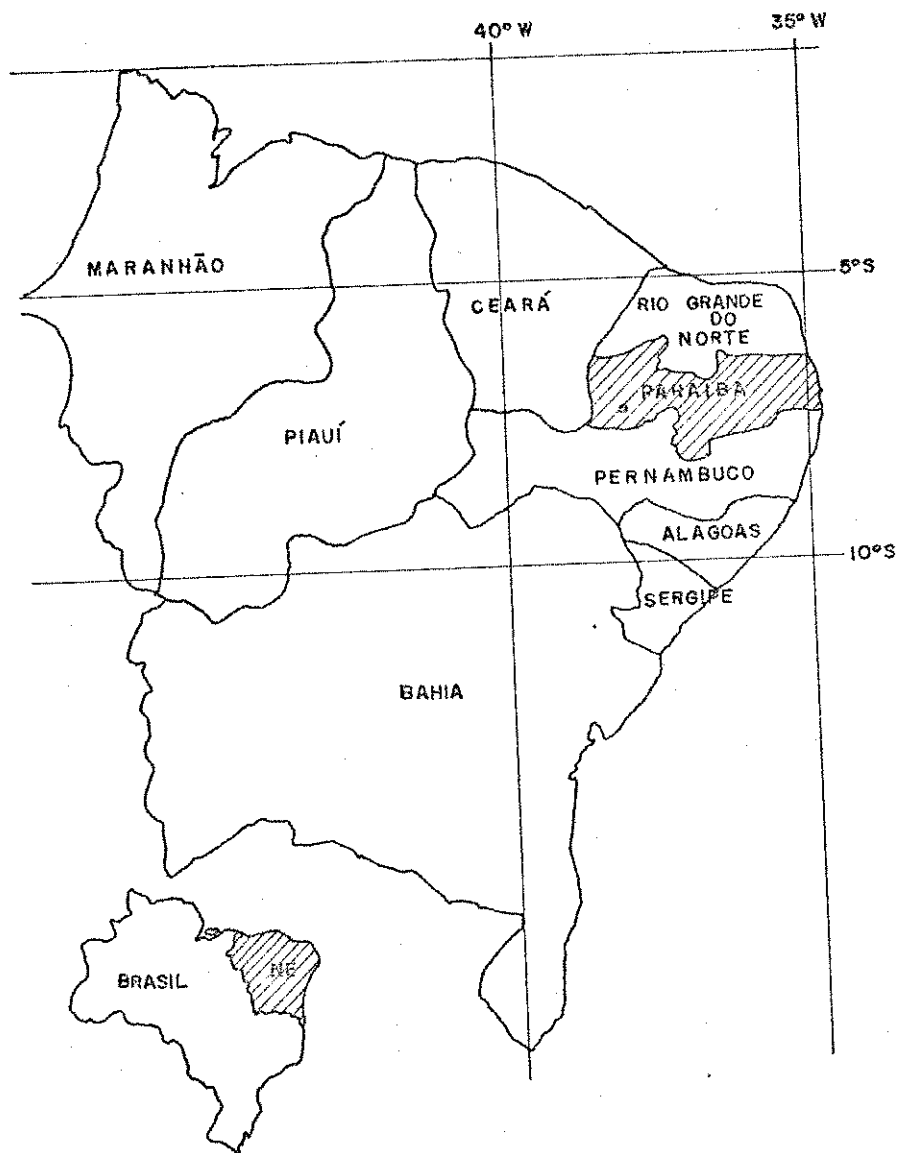


Figura A.1. Nordeste brasileiro com destaque para a região estudada.

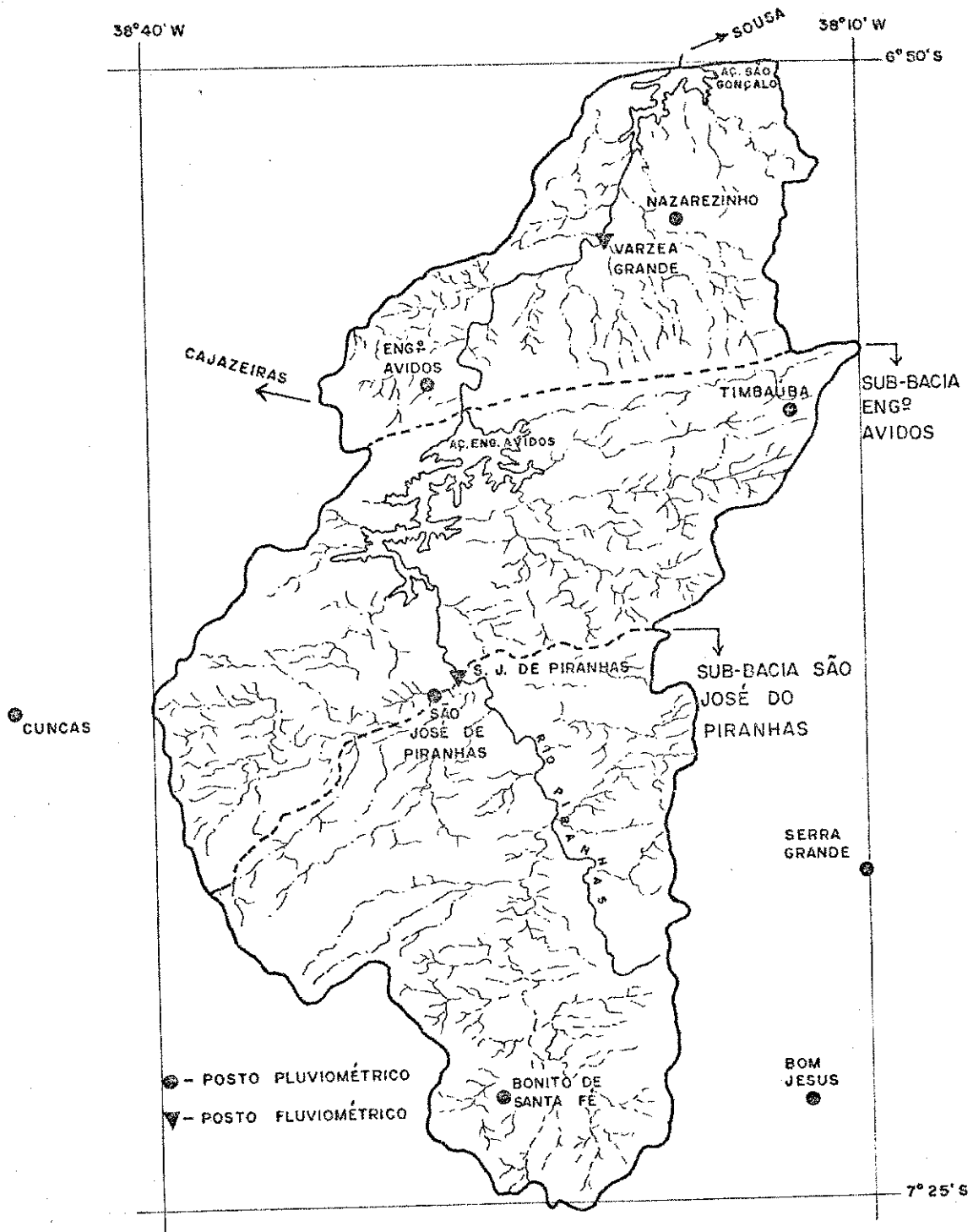


Figura A.2. Bacia dos Açudes Engenheiro Avidos - São Gonçalo.

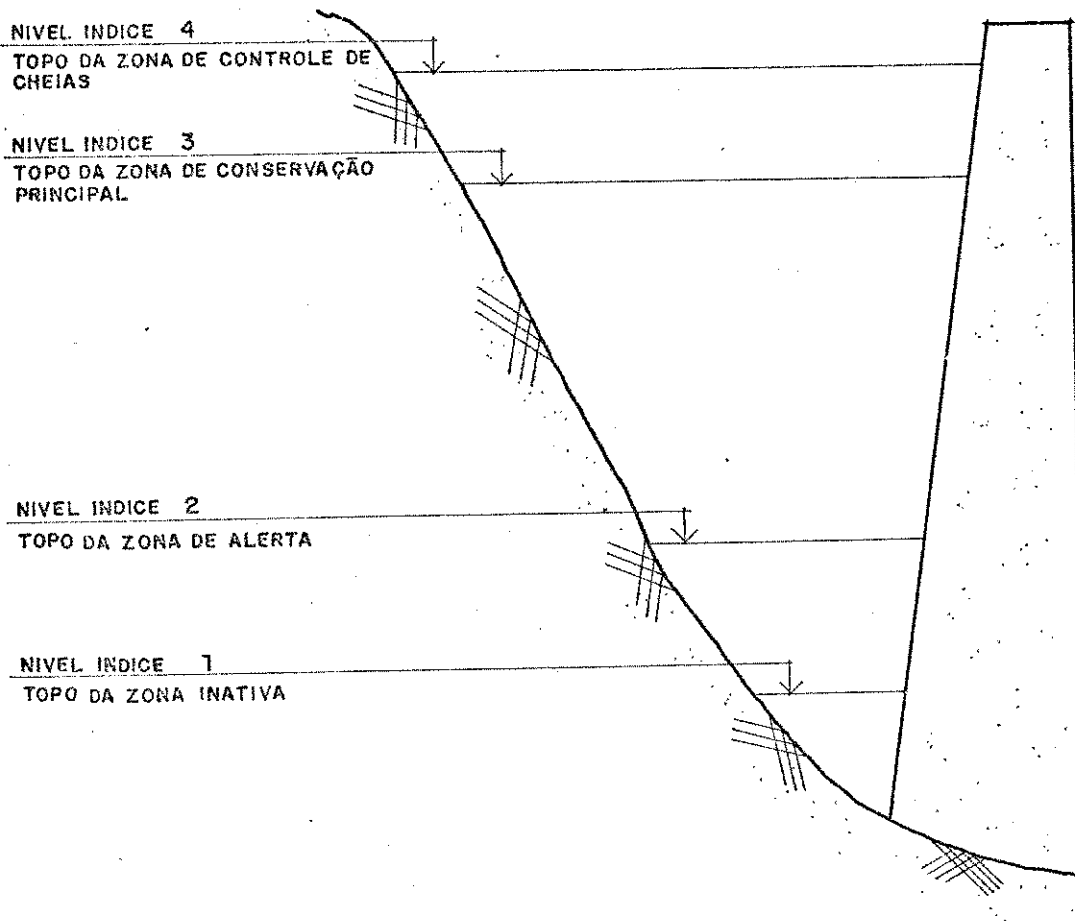


Figura A.3. Corte esquemático de um reservatório indicando as quatro zonas imaginárias de armazenamento propostas pelo modelo HEC-3.

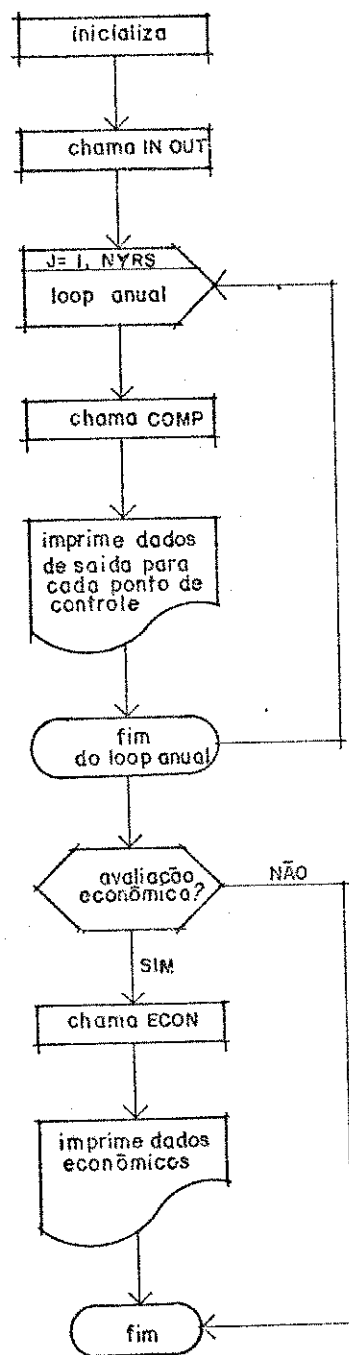
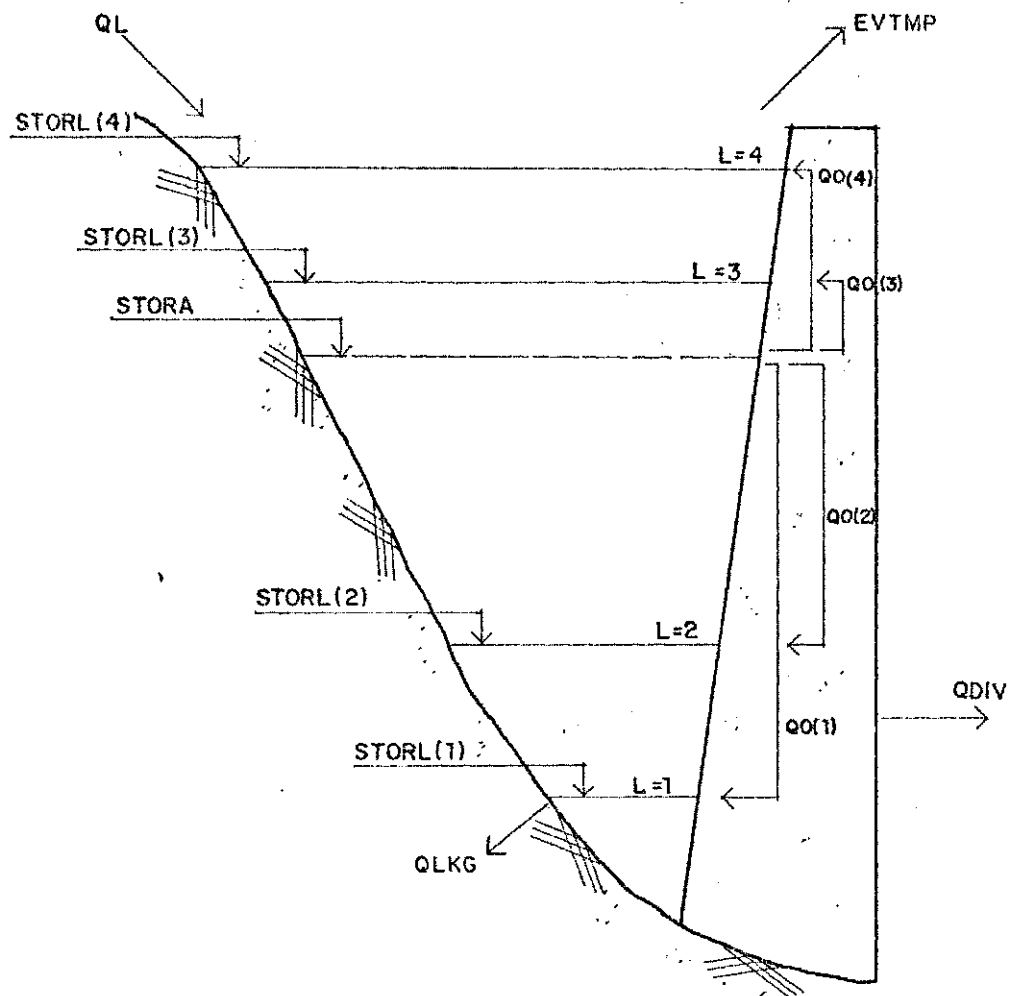


Figura A.4. Fluxograma geral do modelo HEC-3, segundo HEC, 1976.



- L = NÍVEL ÍNDICE NO RESERVATÓRIO
 QO(L) = DESCARGA A SER FEITA PARA QUE O NÍVEL L SEJA ALCANÇADO
 QL = VAZÃO LOCAL NO PC
 QDIV = DERIVAÇÃO REQUERIDA
 STORA = VOLUME DO RESERVATÓRIO NO ÍNICO DO MÊS DE OPERAÇÃO
 STORL(L) = VOLUME NO RESERVATÓRIO CORRESPONDENTE AO NÍVEL L
 EVTMP = EVAPORAÇÃO NO RESERVATÓRIO PARA O VOLUME STORA
 QLKG = INFILTRAÇÃO NO RESERVATÓRIO

Figura A.5. Corte esquemático de um reservatório mostrando as variáveis envolvidas no cálculo da vazão "Qo(L)" necessária para o reservatório alcançar ca da um dos níveis índices "L" definidos.

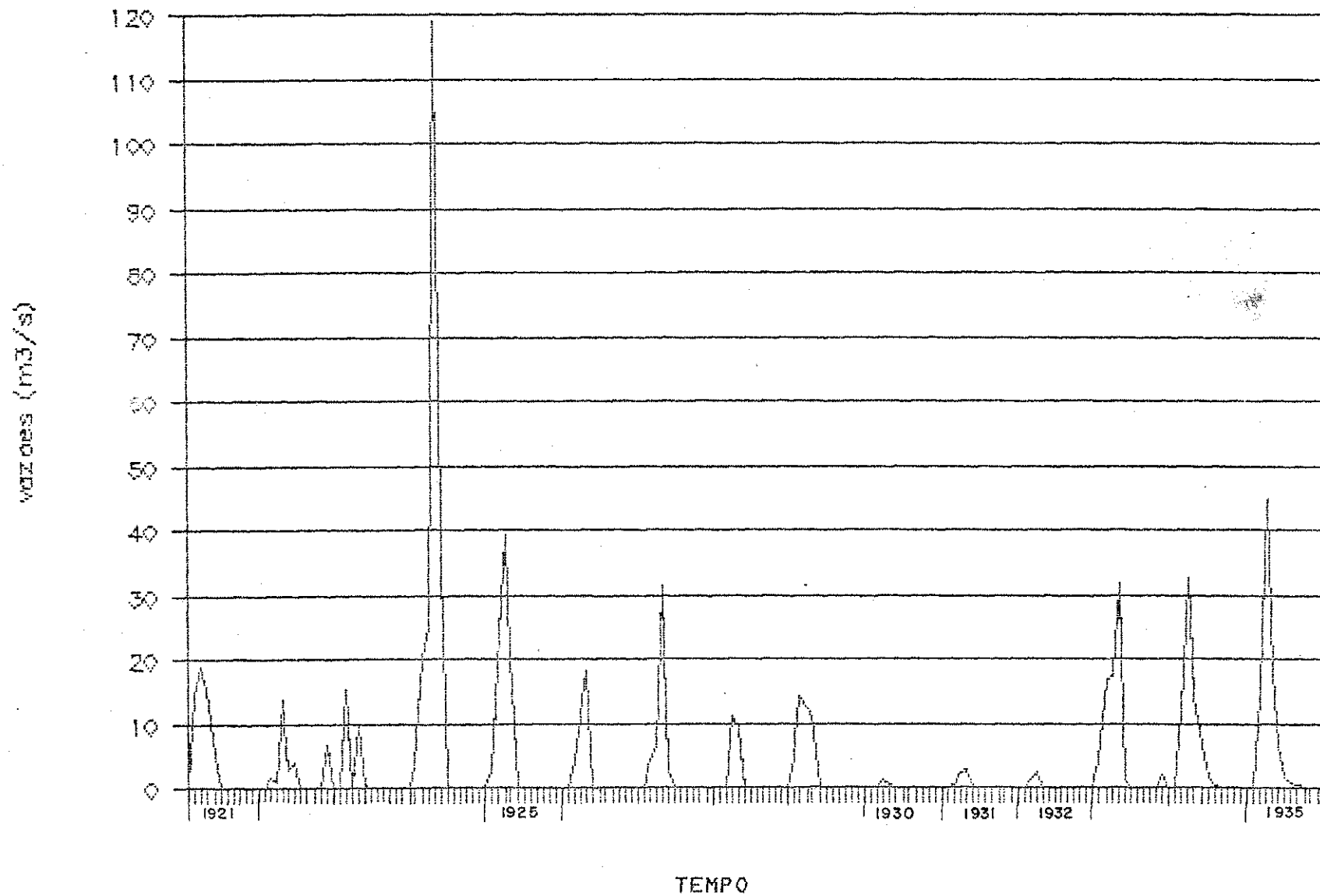


Figura A.6. Vazões históricas mensais ; período 1921 - 1935 (Posto São José de Piranhas).

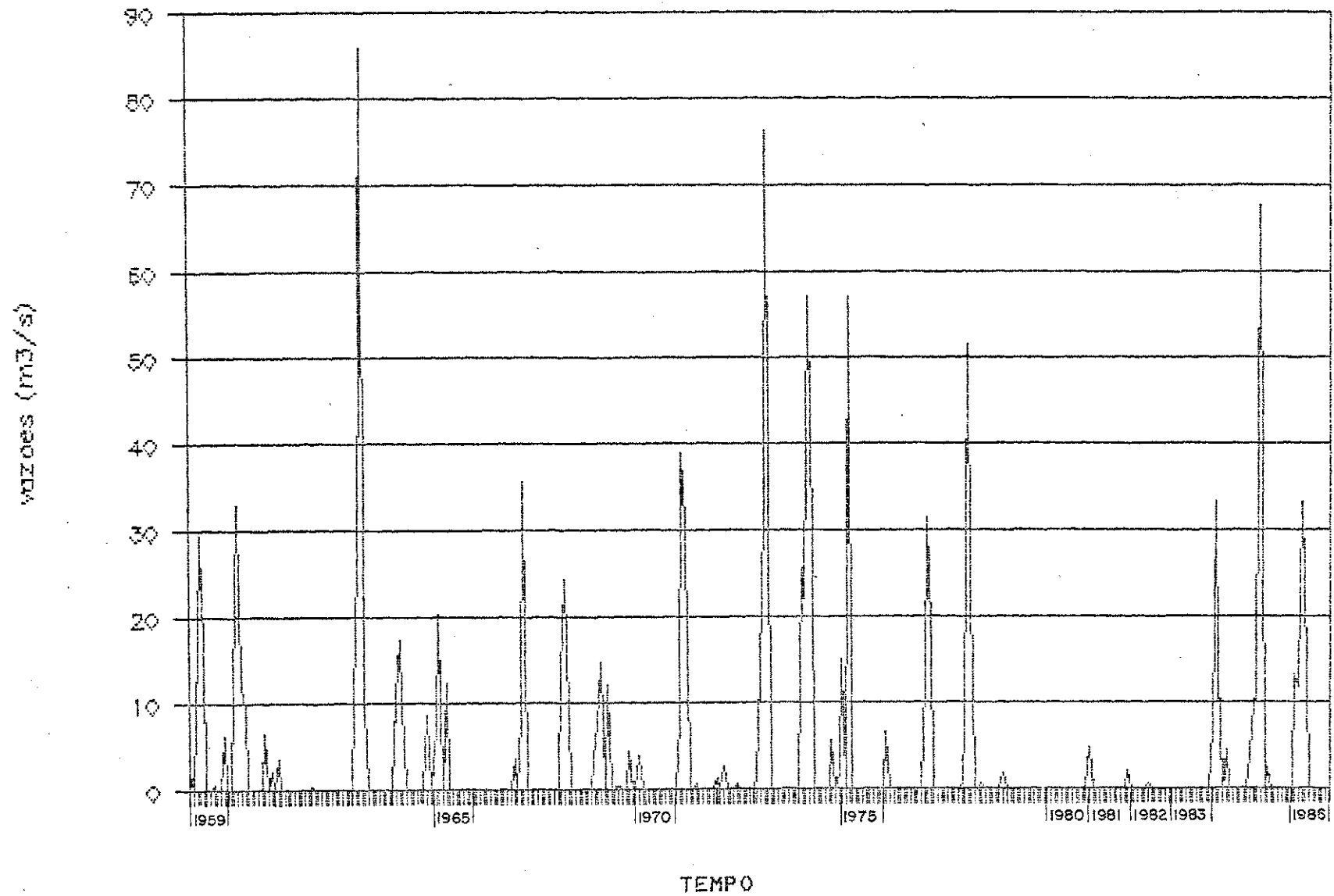


Figura A.7. Vazões artificiais mensais; período 1959-1986.

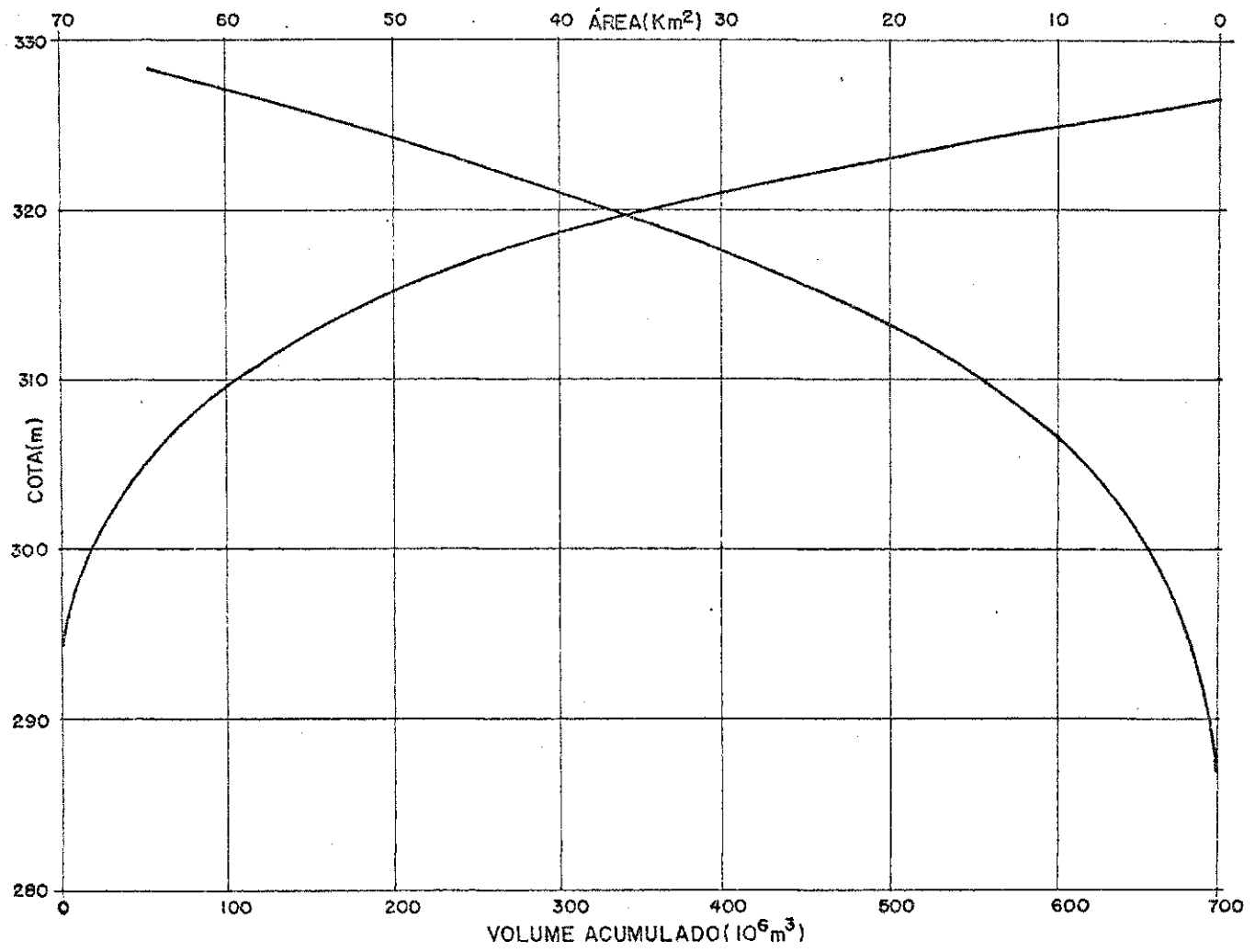


Figura A.8. Curvas de cota, área e volume do açude Engenheiro Avidos.
 (Fonte: SUDENE, 1970).

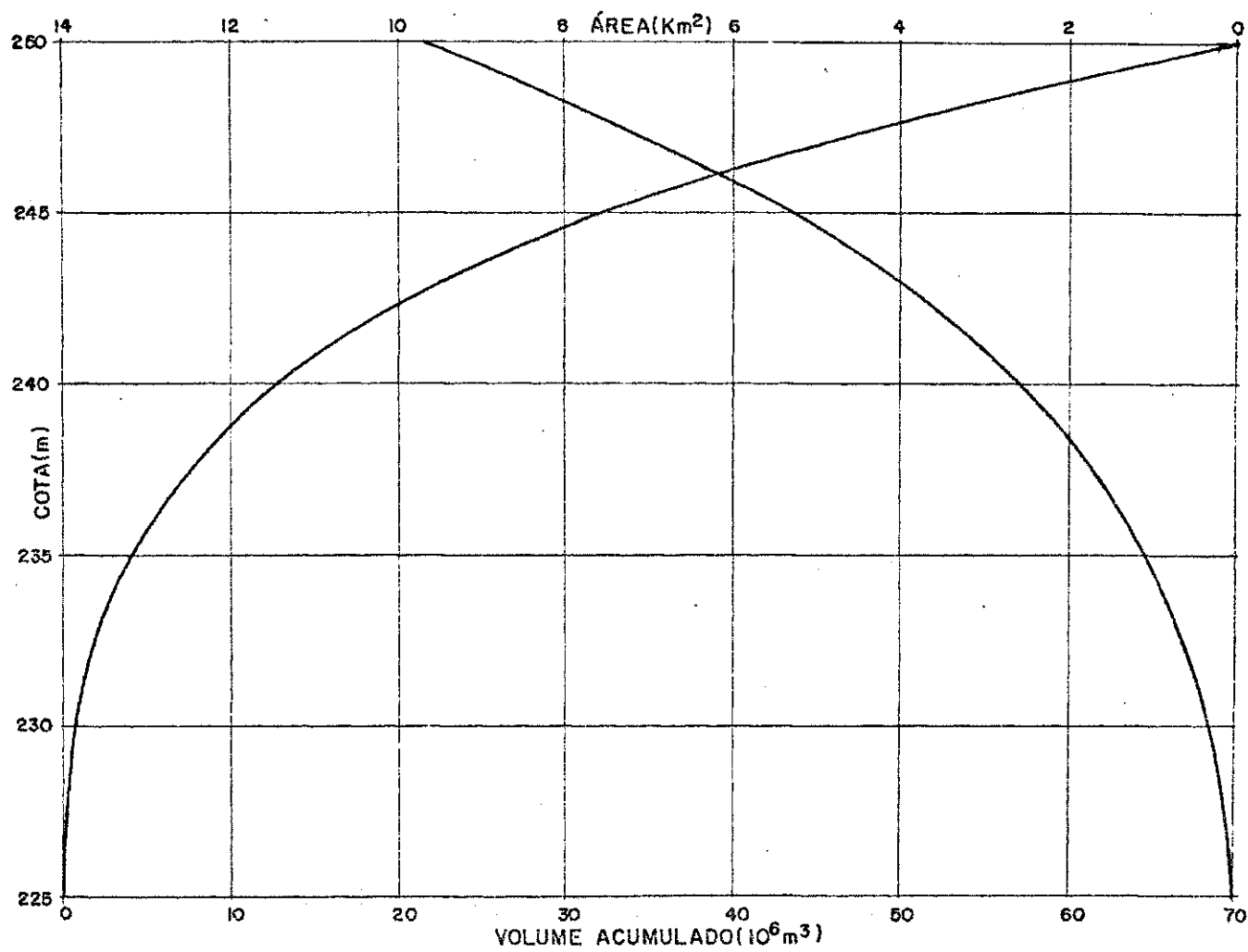
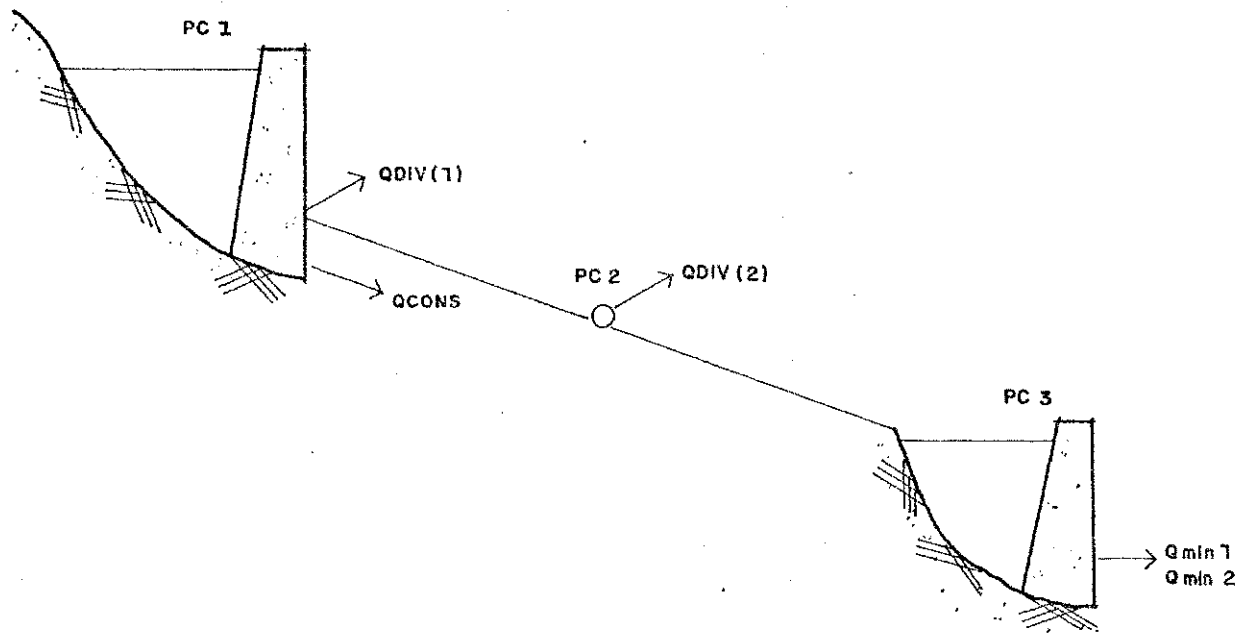


Figura A.9. Curvas de cota, área e volume do açude São Gonçalo (Fonte: SUDENE, 1970).



- PC -PONTO DE CONTROLE
 PC 1 -RESERVATÓRIO ENGENHEIRO AVIDOS
 PC 2 -PONTO DE CONTROLE GRAVATÁ
 PC 3 -RESERVATÓRIO SÃO GONÇALO
 QDIV (1)-DERIVAÇÃO DE PC 1
 QDIV (2)-DERIVAÇÃO DE PC 2
 QMIN 1 -VAZÃO DESEJADA DE PC 3
 QMIN 2 -VAZÃO MINIMA REQUERIDA DE PC 3
 QCONS -VAZÃO LIBERADA DE PC1 PARA ATENDIMENTO DAS DEMANDAS DE JUSANTE

Figura A.10. Configuração esquemática do sistema estudado para ser simulada pelo modelo HEC-3

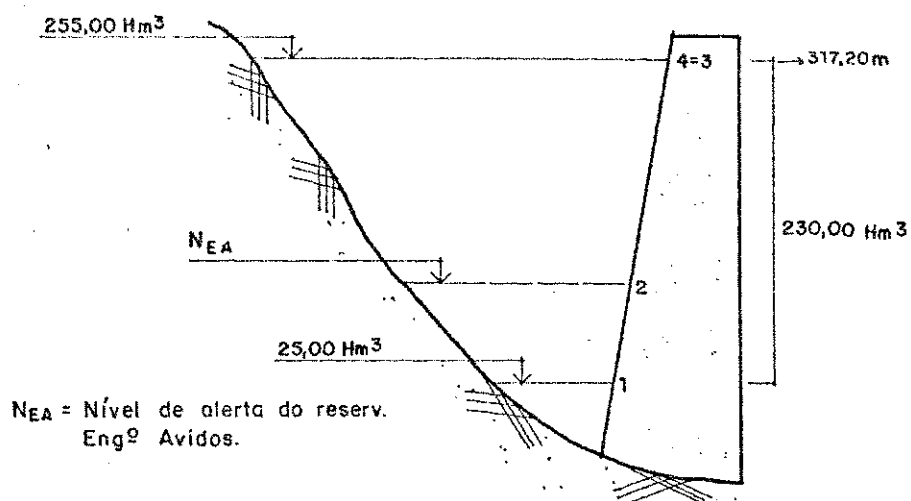


Figura A.11. Reservatório Engenheiro Avidos com volume armazenado alocado em quatro zonas, com nível 4= nível 3.

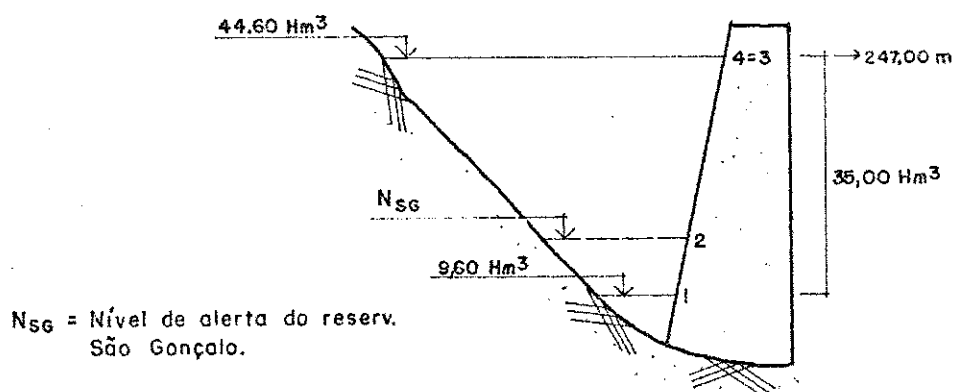


Figura A.12. Reservatório São Gonçalo com volume armazenado alocado em quatro zonas, com nível 4= nível 3.

FIGURAS 13

Figuras referentes às operações
com as demandas atuais

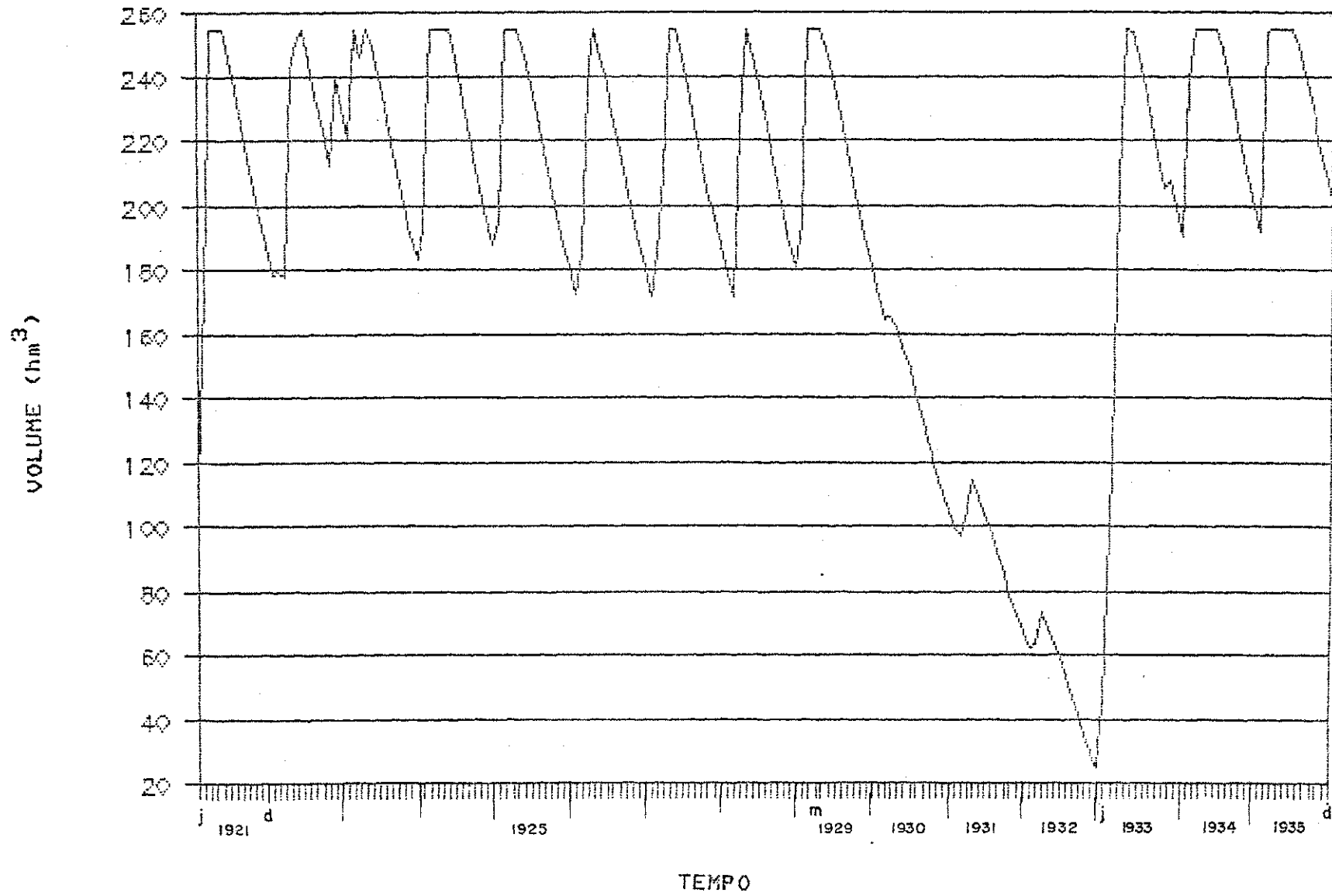


Figura A.13a. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos para o período histórico 1921-1935, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básica} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

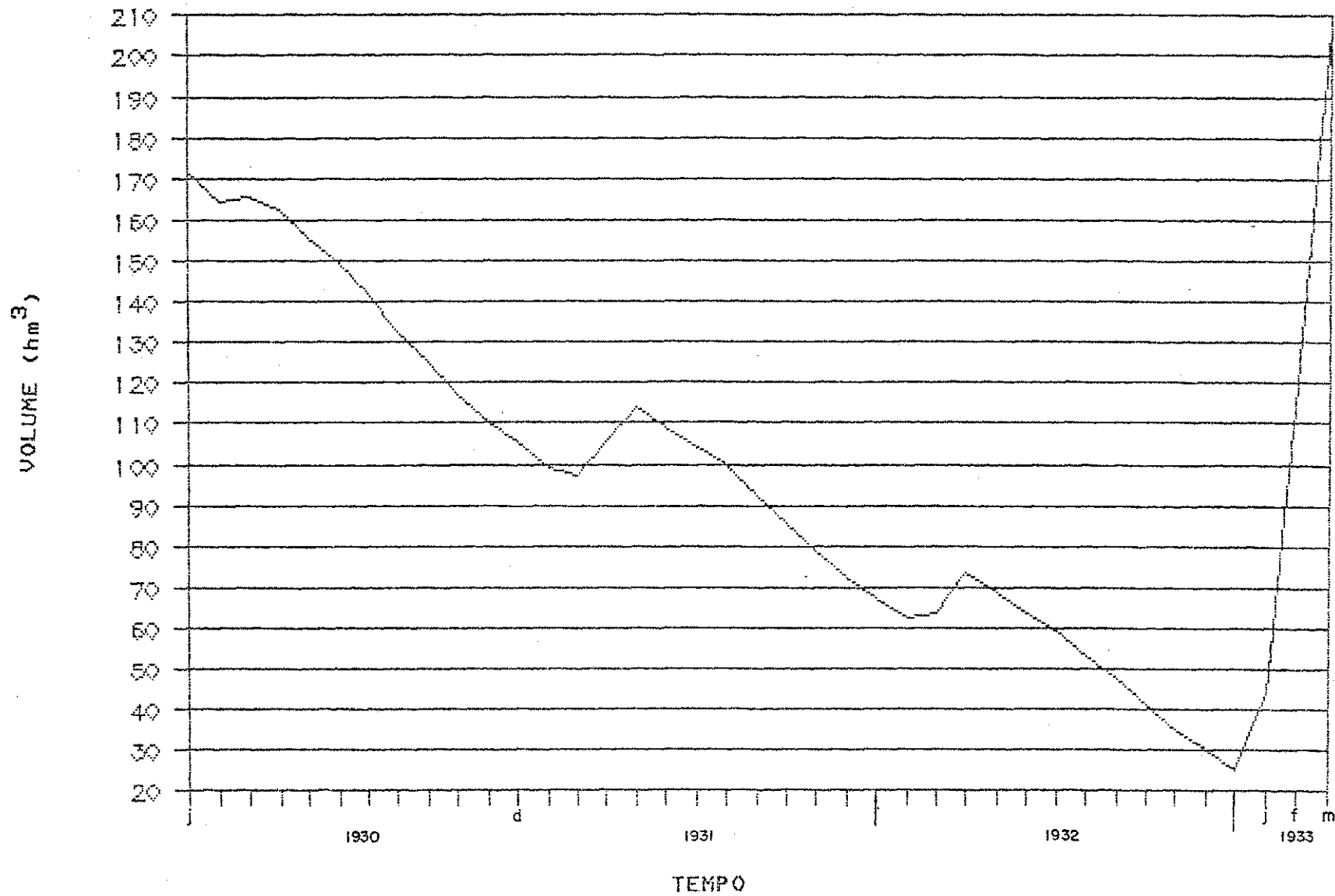


Figura A.13b. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos para o período histórico 1930-1933, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básica} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

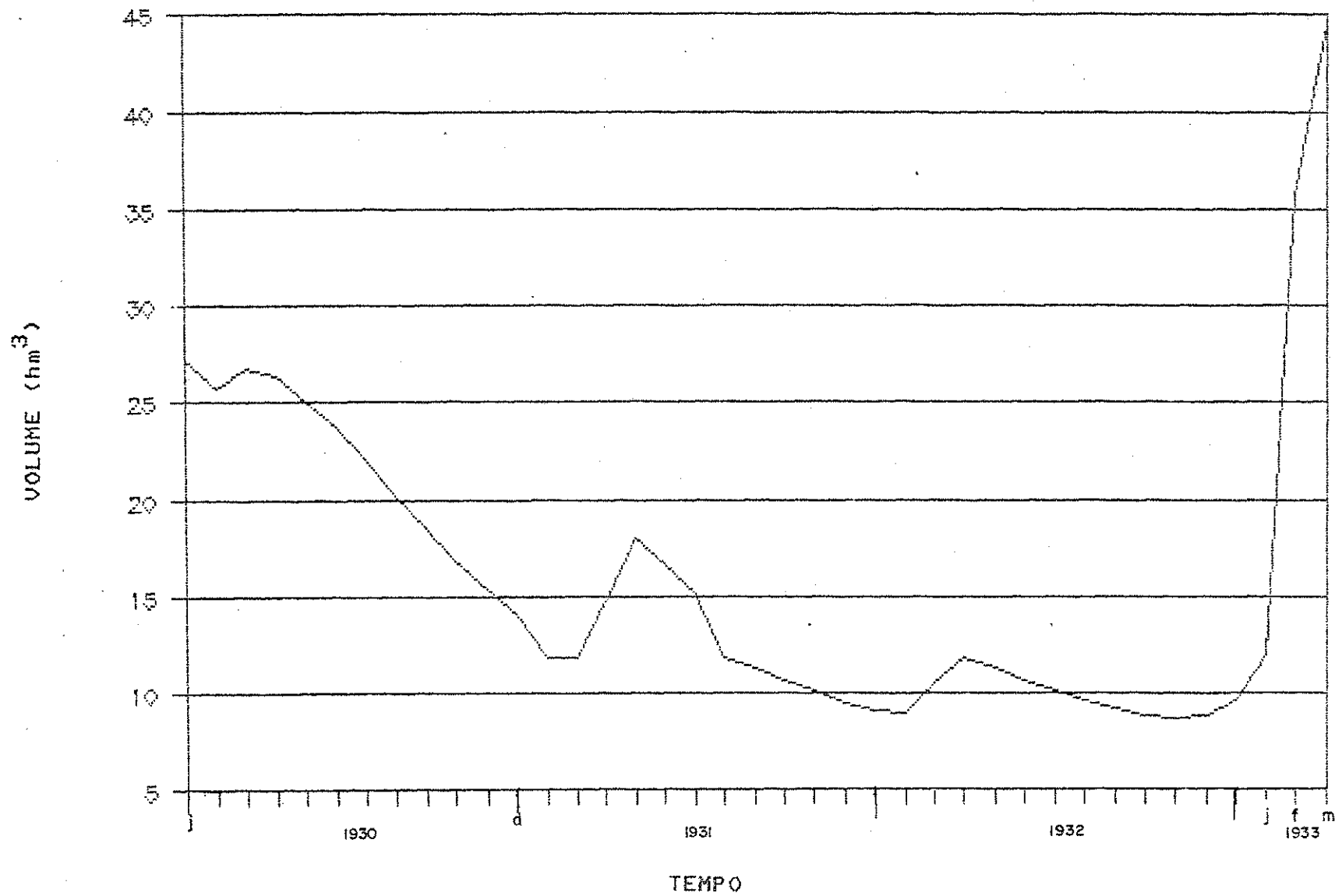


Figura A.13c. Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período histórico 1930-1933, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básica} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

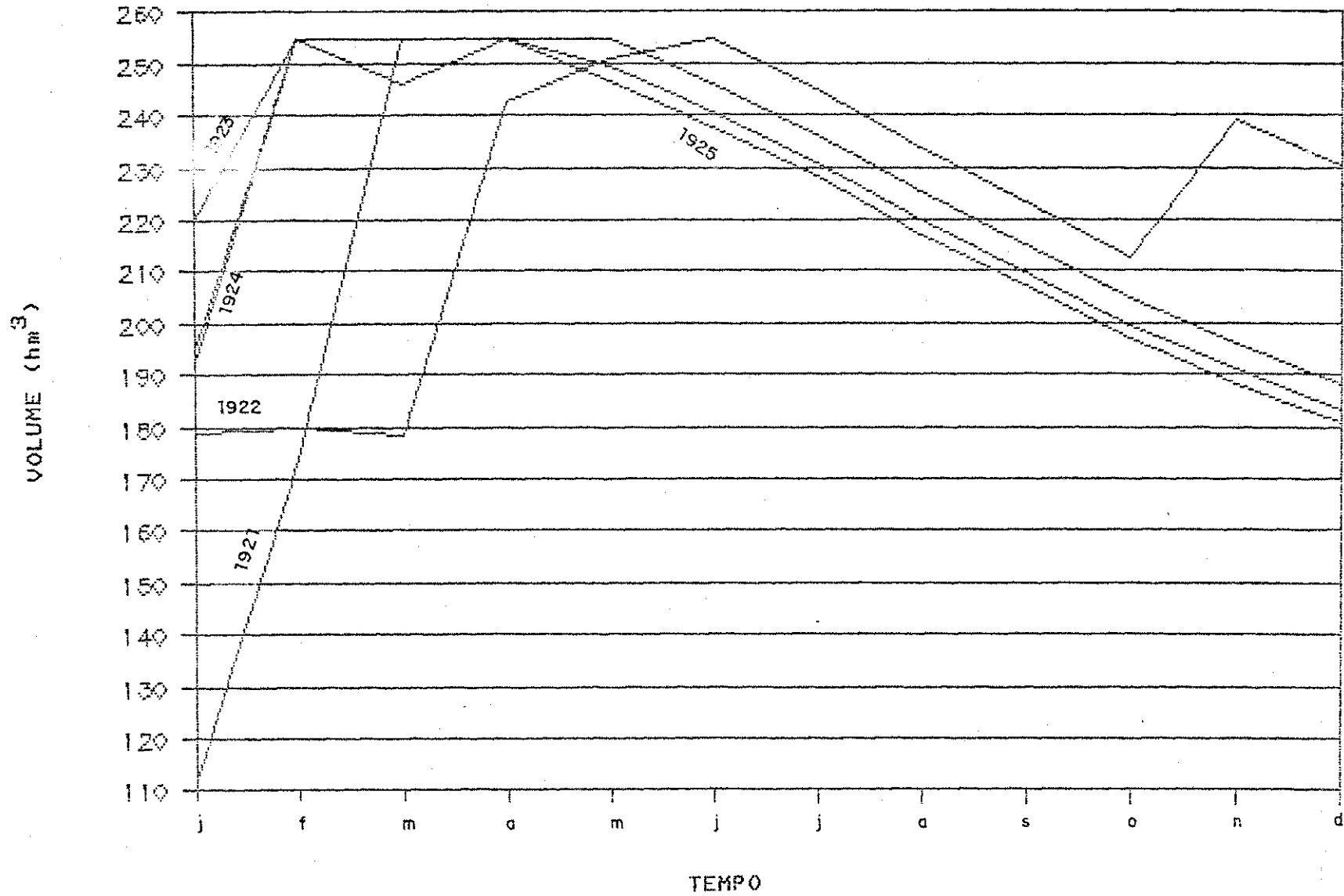


Figura A.13d. Volume armazenado no reservatório Engº Avidos; anos 1921, 1922, 1923, 1924 e 1925, demanda atual e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básica} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

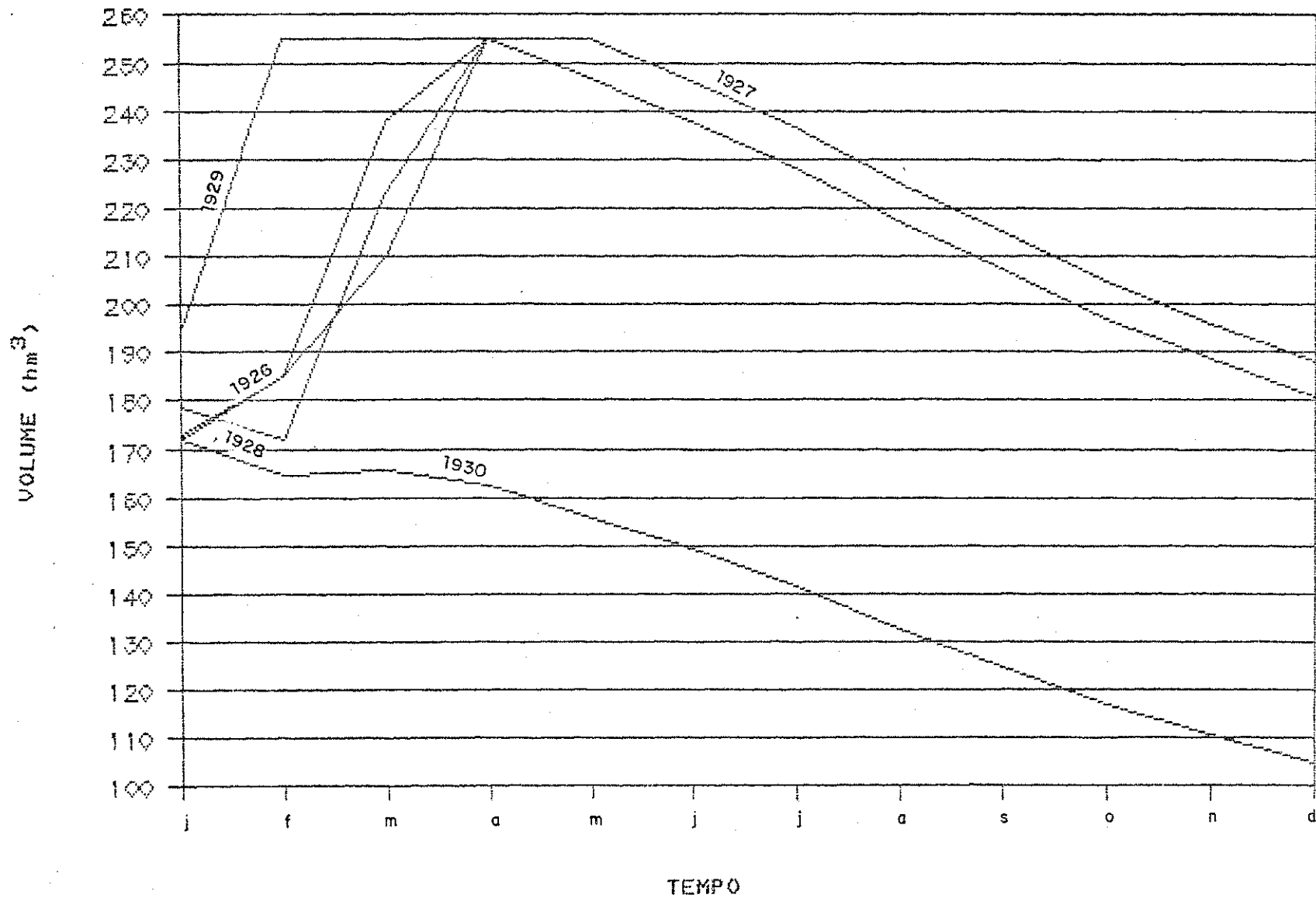


Figura A.13e. Volume armazenado no reservatório Engº Avidos; anos 1926, 1927, 1928, 1929 e 1930, demanda atual e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e Q_{MIN2} básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

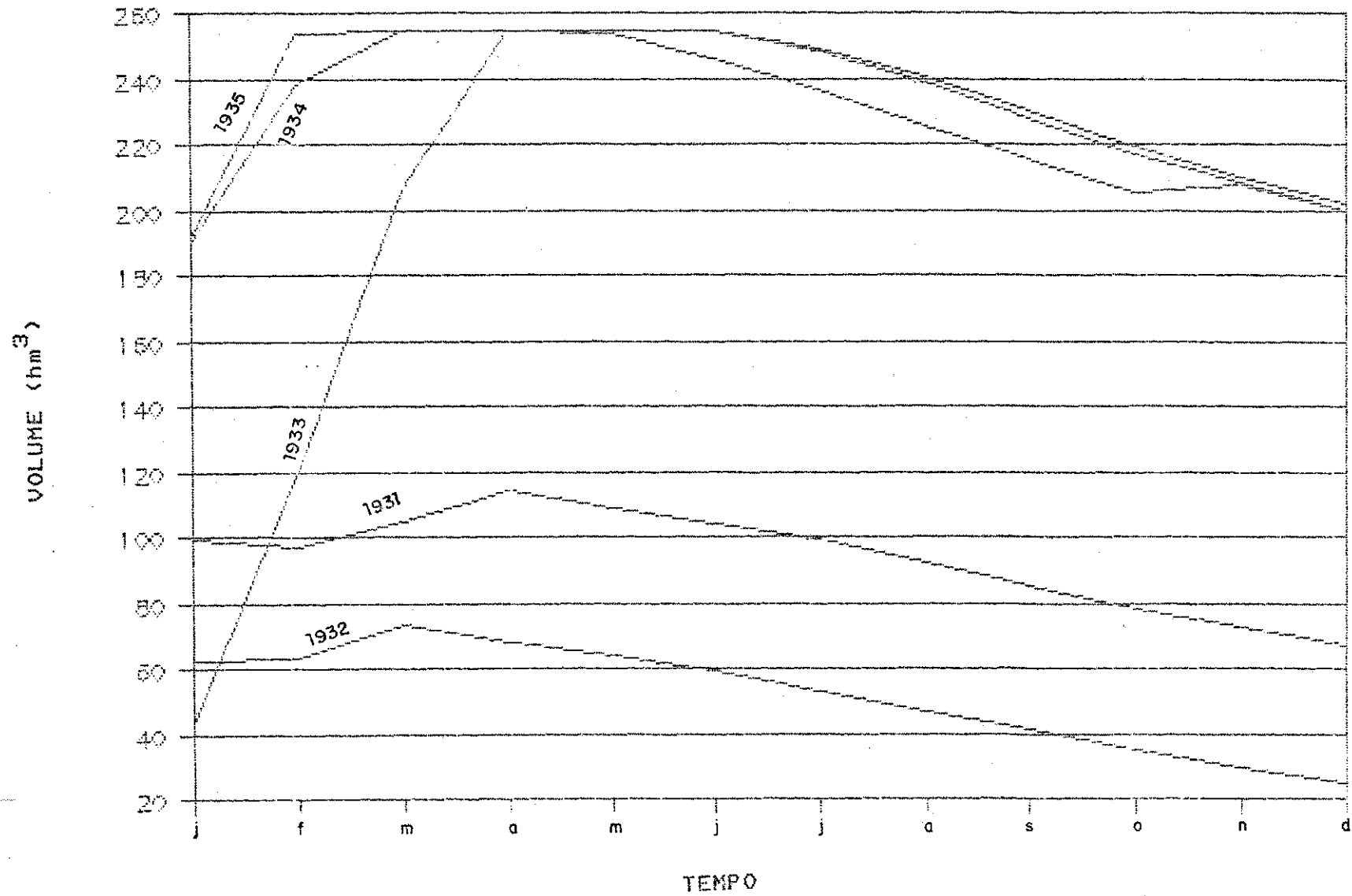


Figura A.13f. Volume armazenado no reservatório Eng^o Avidos; anos 1931, 1932, 1933, 1934 e 1935, demanda atual e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básica} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

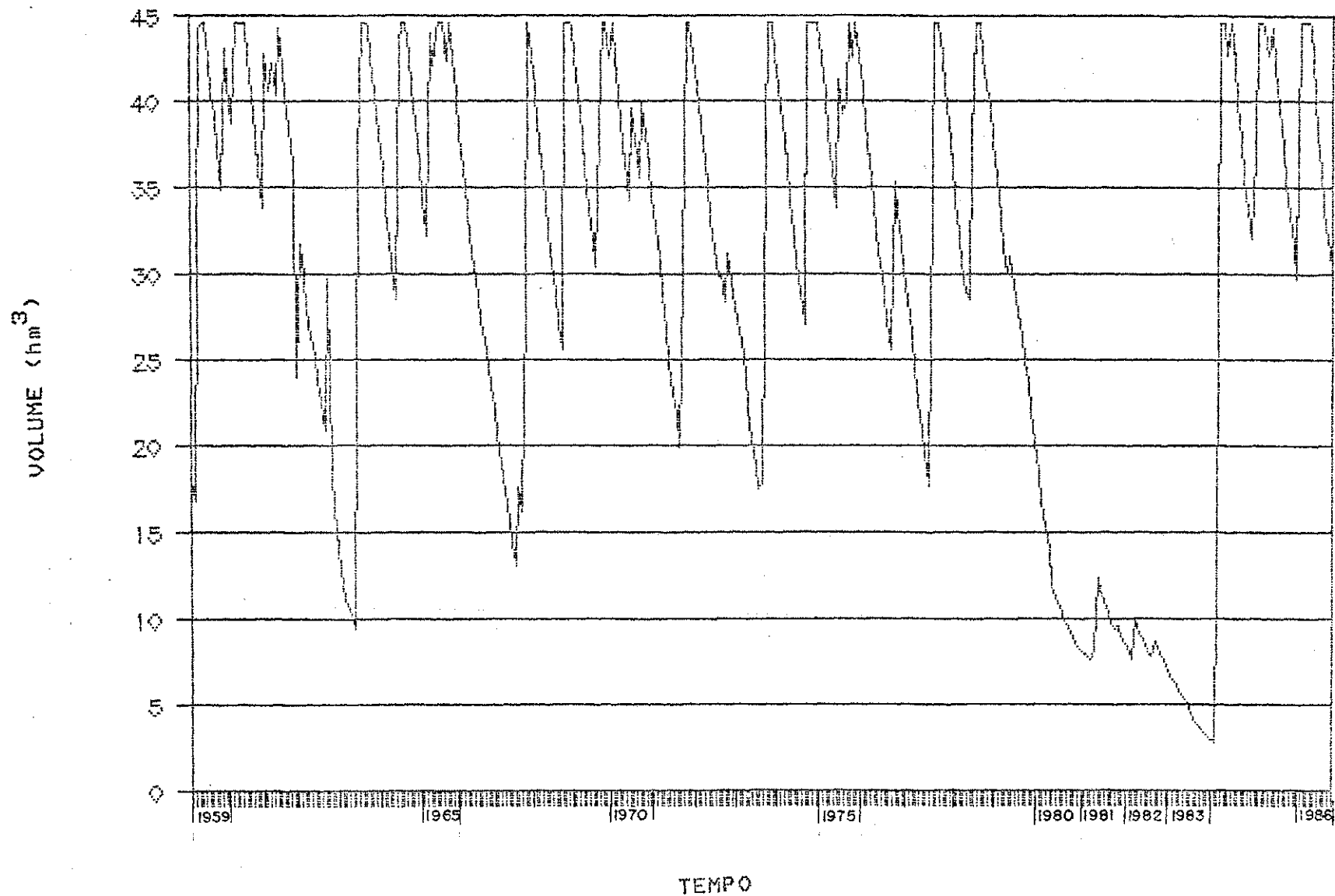


Figura A.13g. Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1959-1986, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e Q_{MIN2} básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

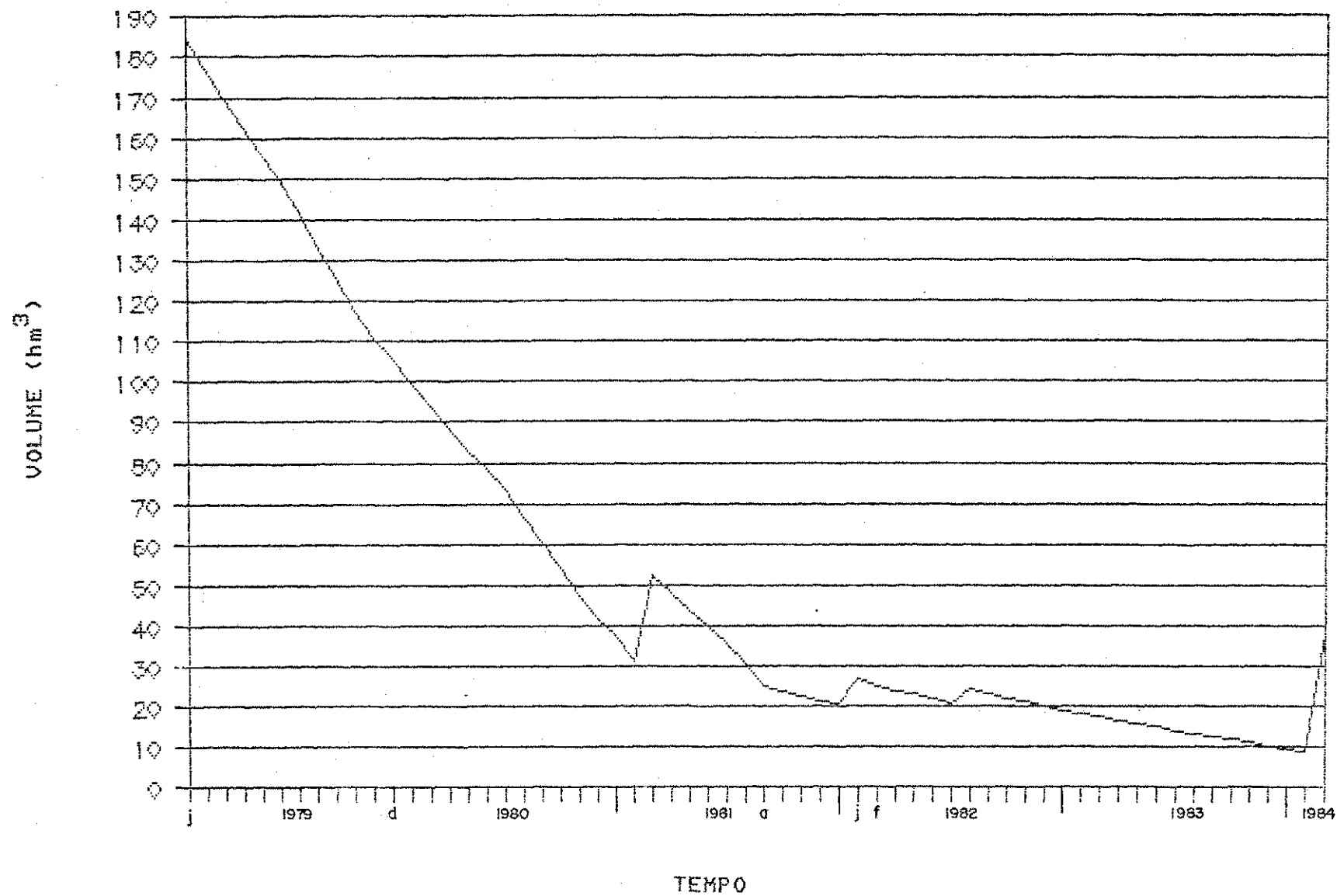


Figura A.13h. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos para o período artificial 1979-1984, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e Q_{MIN2} básica = $1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

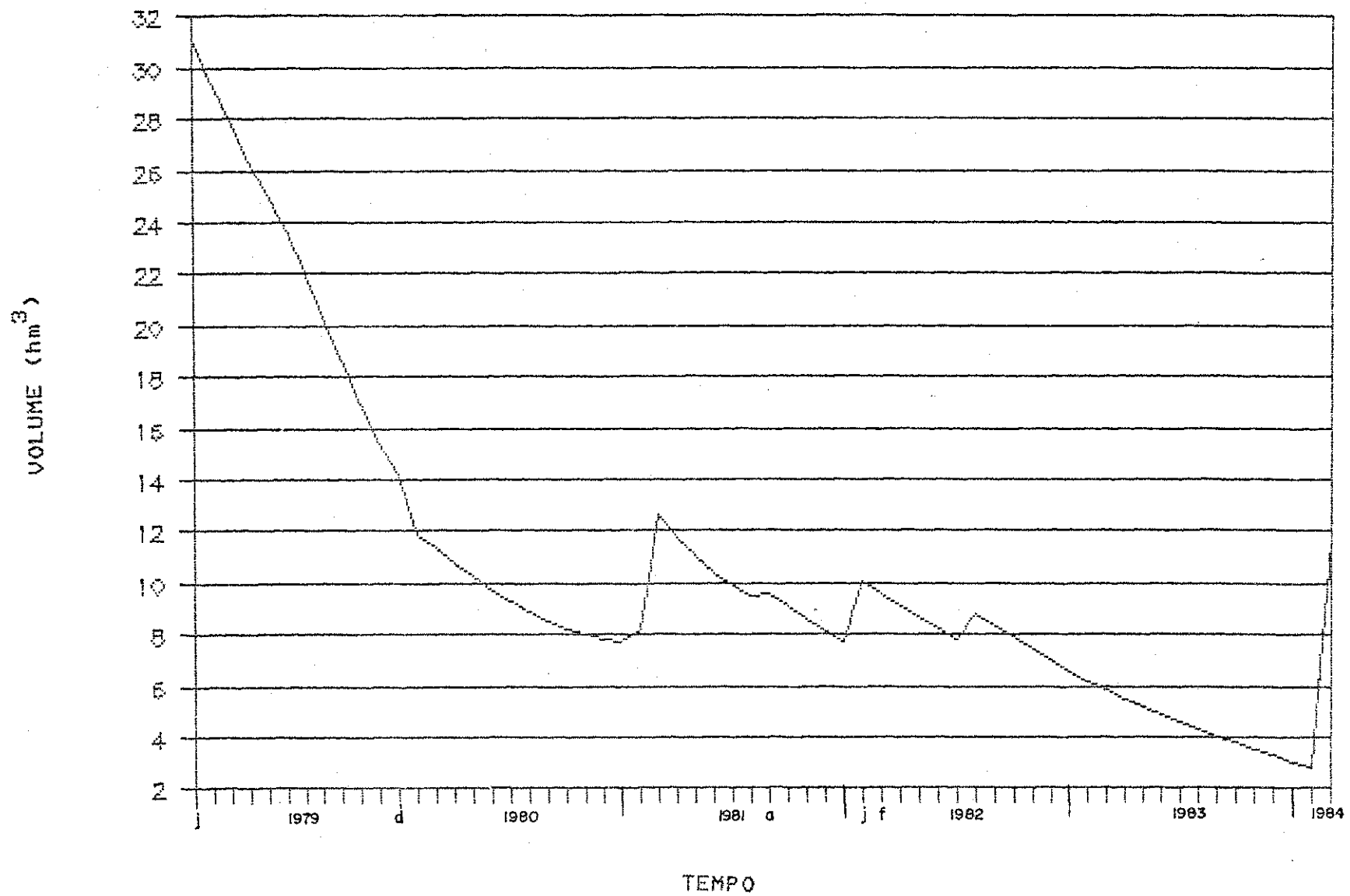


Figura A.13i. Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1979-1984, demandas atuais e operação com $N_{EA} = 100,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} \text{ básico} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

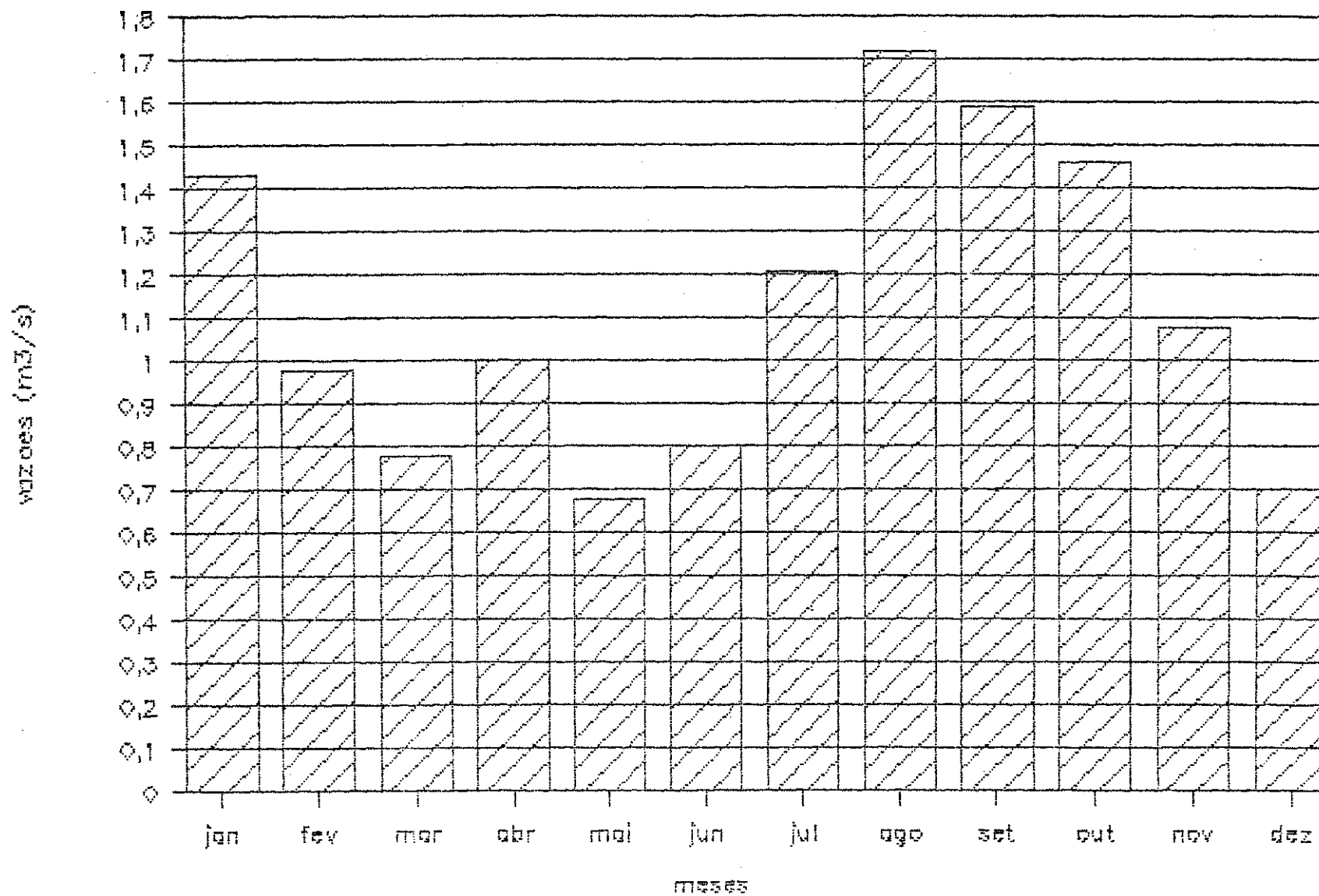


Figura A.13j. Vazões de conservação (QCONS) médias mensais liberadas do reservatório Engº Avidos para atendimento das demandas atuais de jusante, período não crítico das séries histórica e artificial.

FIGURAS 14

Figuras referentes às operações
com as demandas futuras

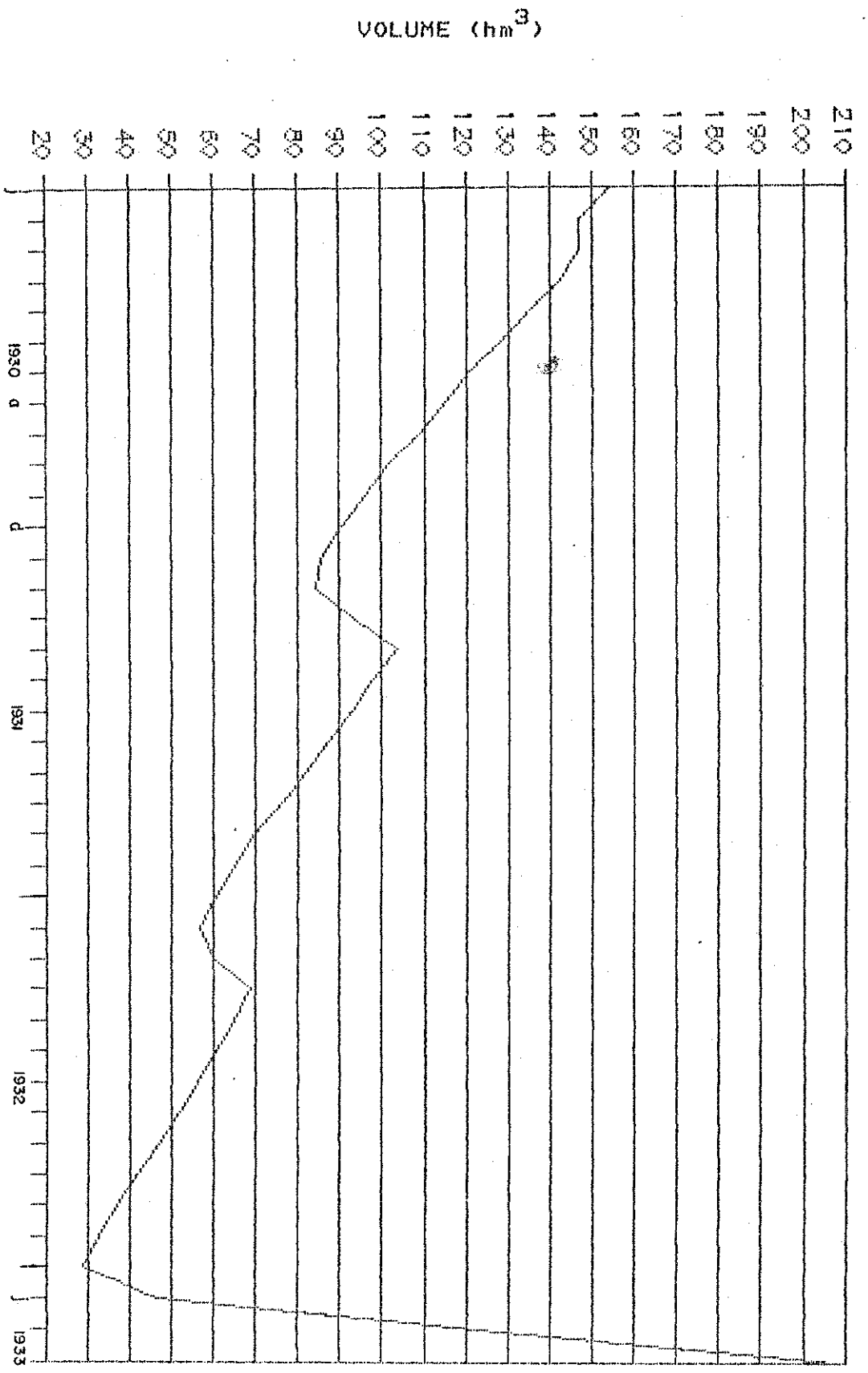


Figura A.14a. Volume armazenado no reservatório Enge Avidos para o período histórico 1930-1933, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{Sg} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

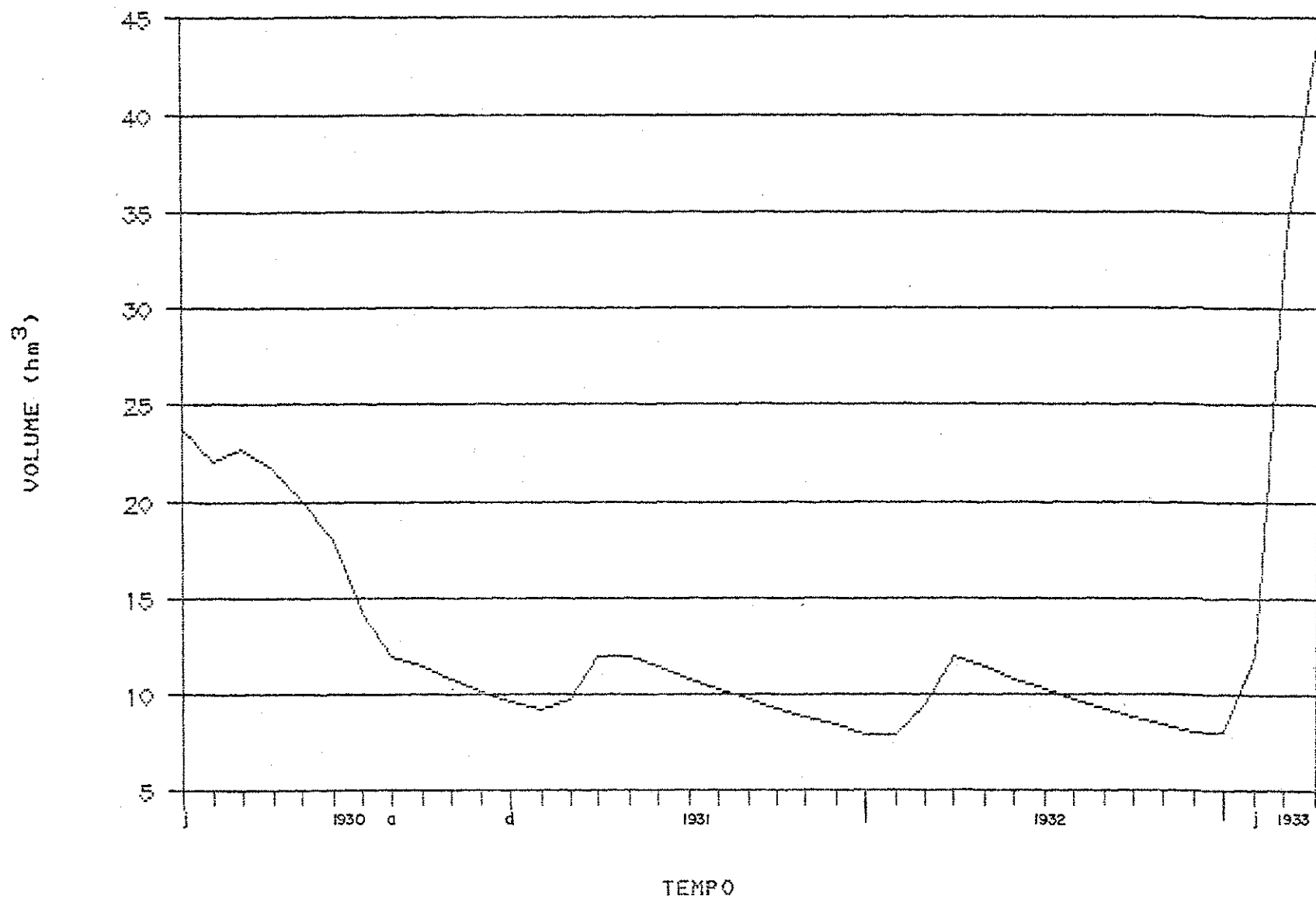


Figura A.14b. Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período histórico 1930-1933, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

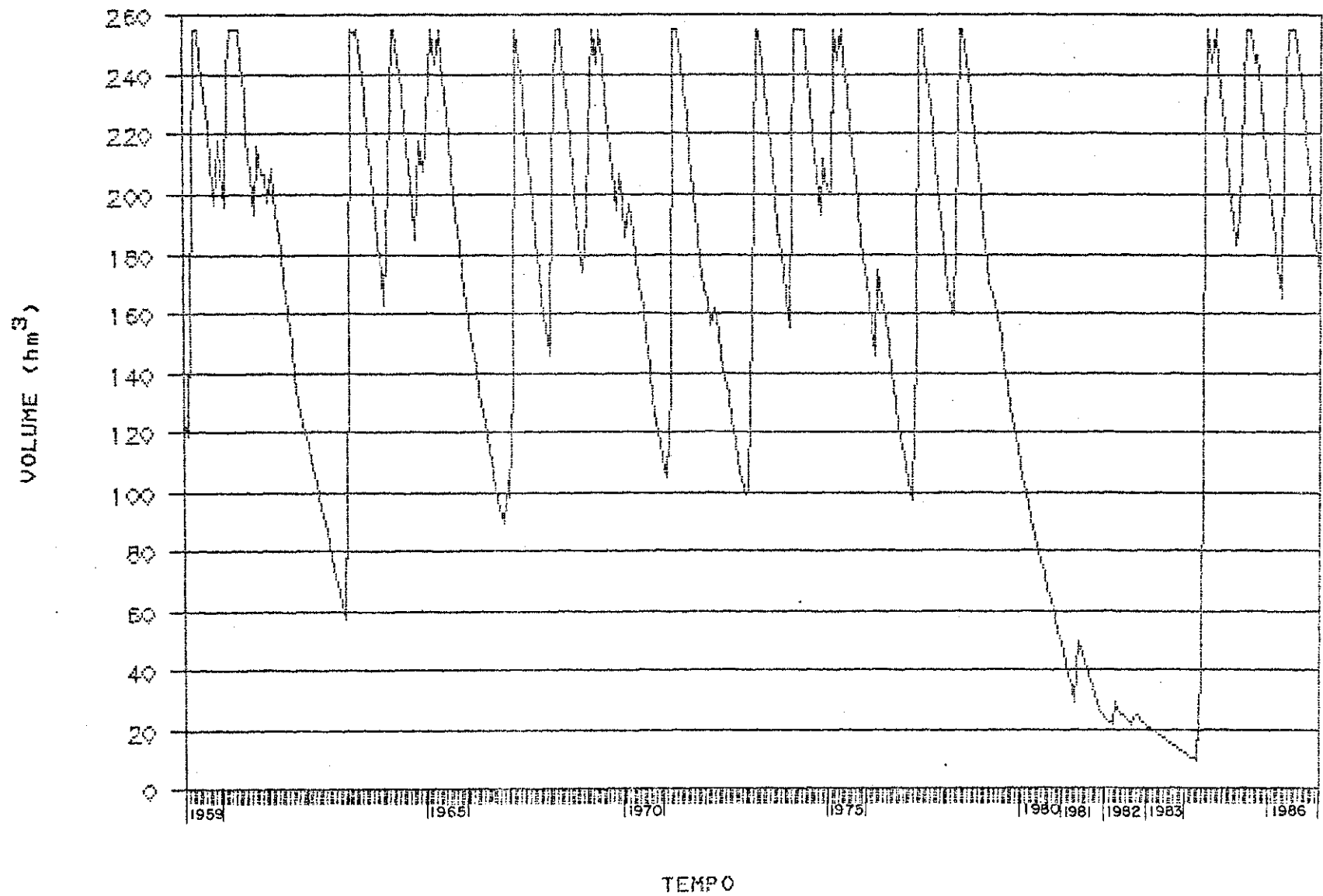


Figura A.14c. Volume armazenado no reservatório Engº Avidos para o período artificial 1959-1986, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

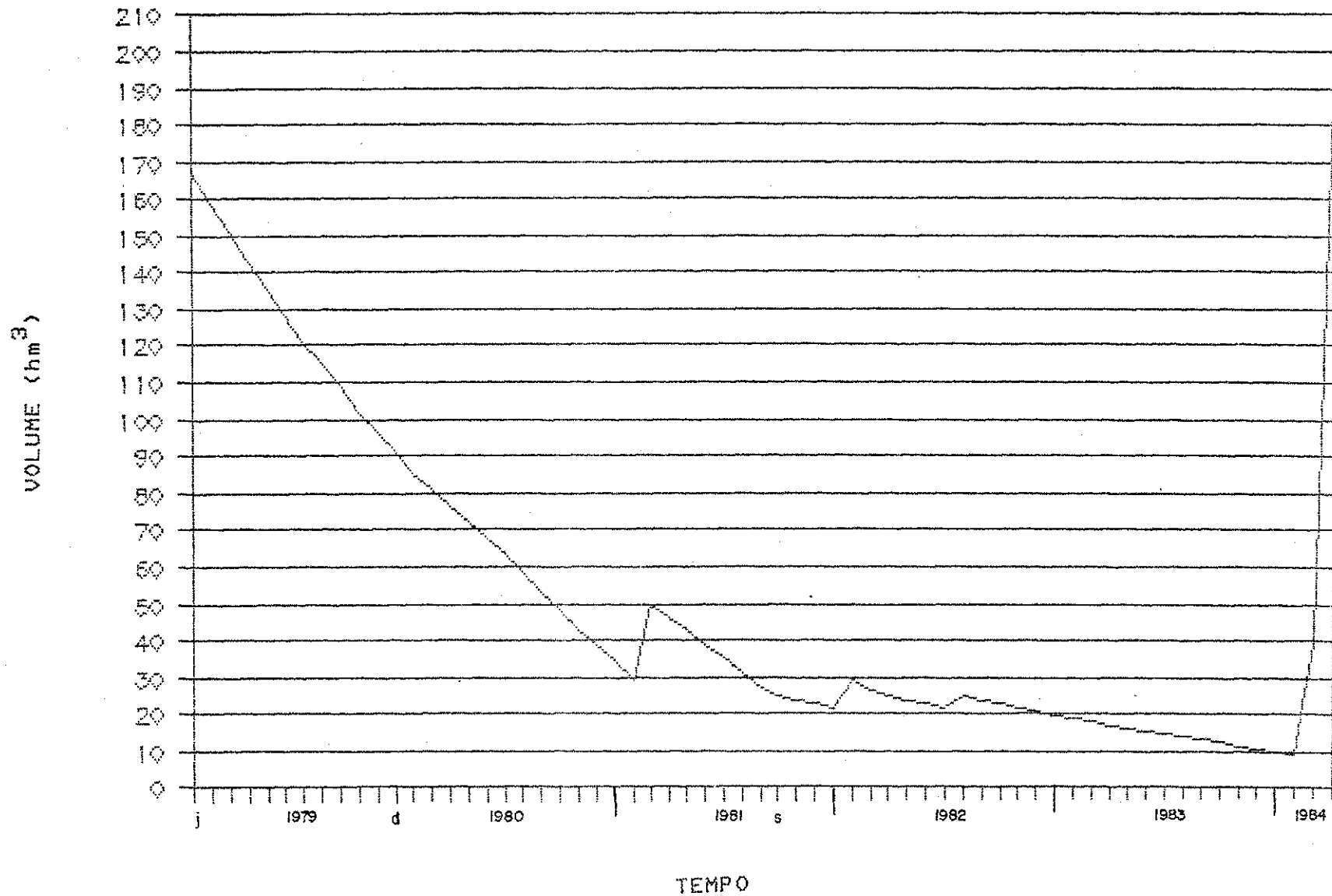


Figura A.14d. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos. para o período artificial 1979-1984, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

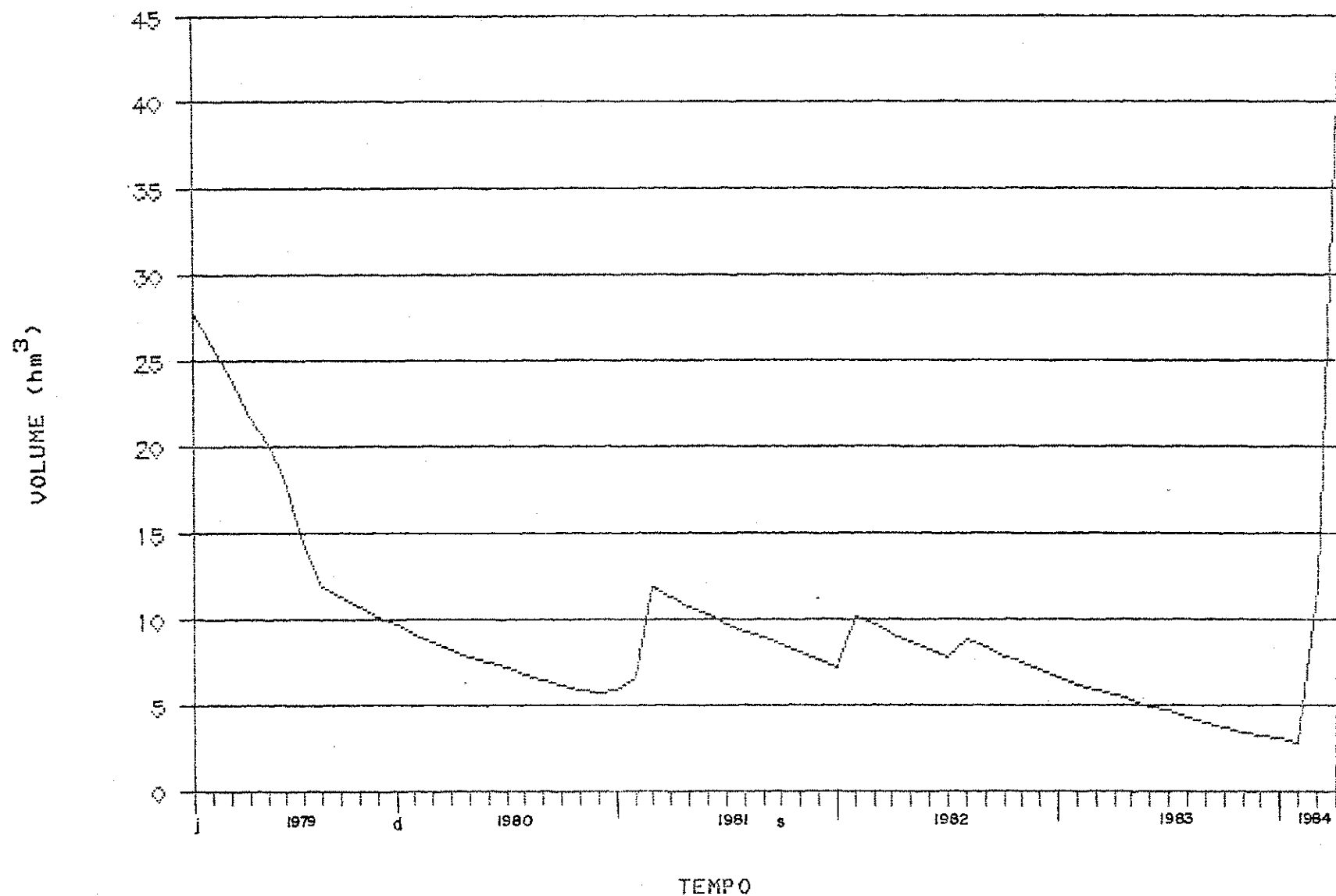


Figura A.14e Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período artificial 1979-1984, demandas futuras e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

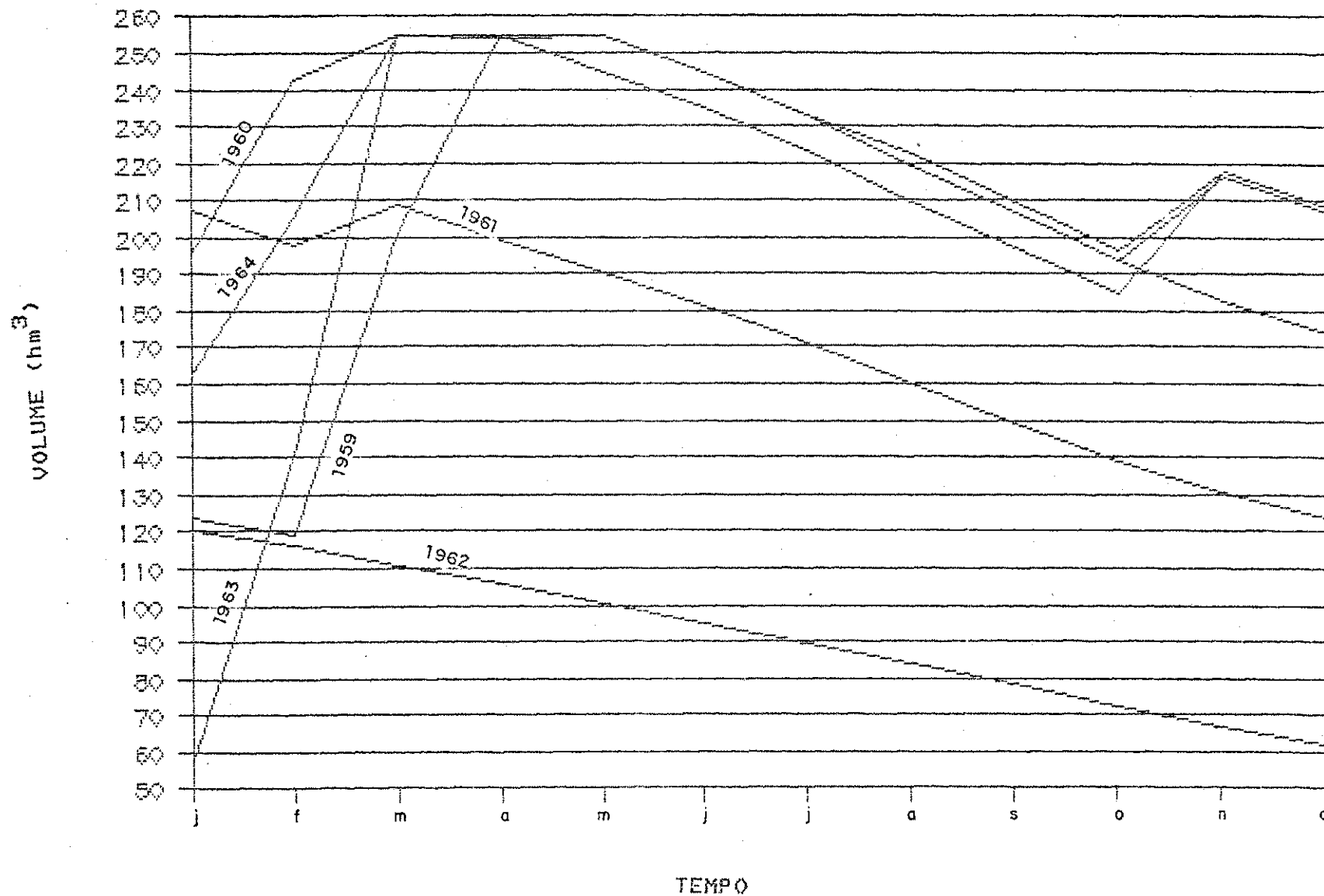


Figura A.14f Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos; anos 1959, 1960, 1961, 1962, 1963 e 1964, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

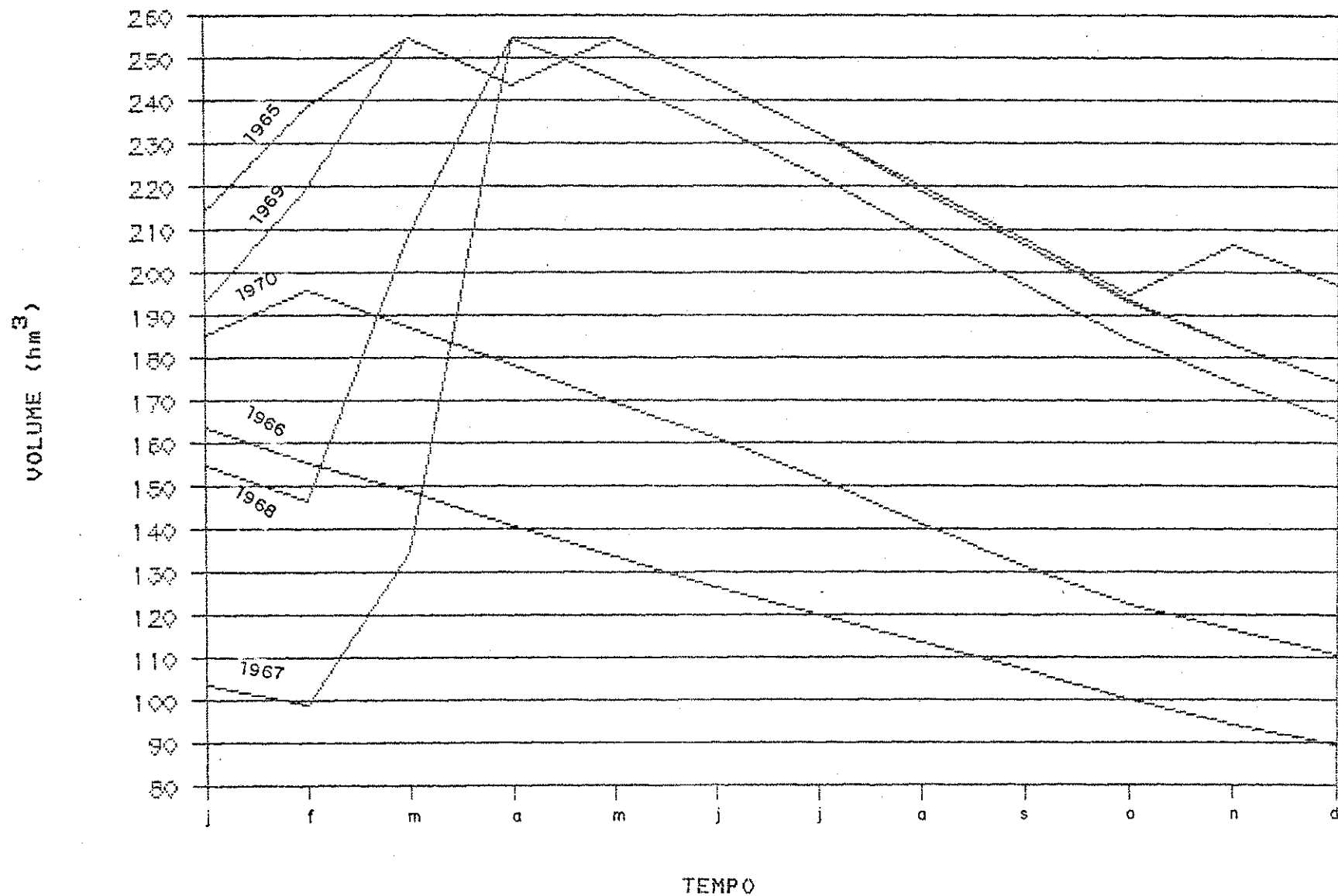


Figura A.14g Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos; anos 1965, 1966, 1967, 1968, 1969 e 1970, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

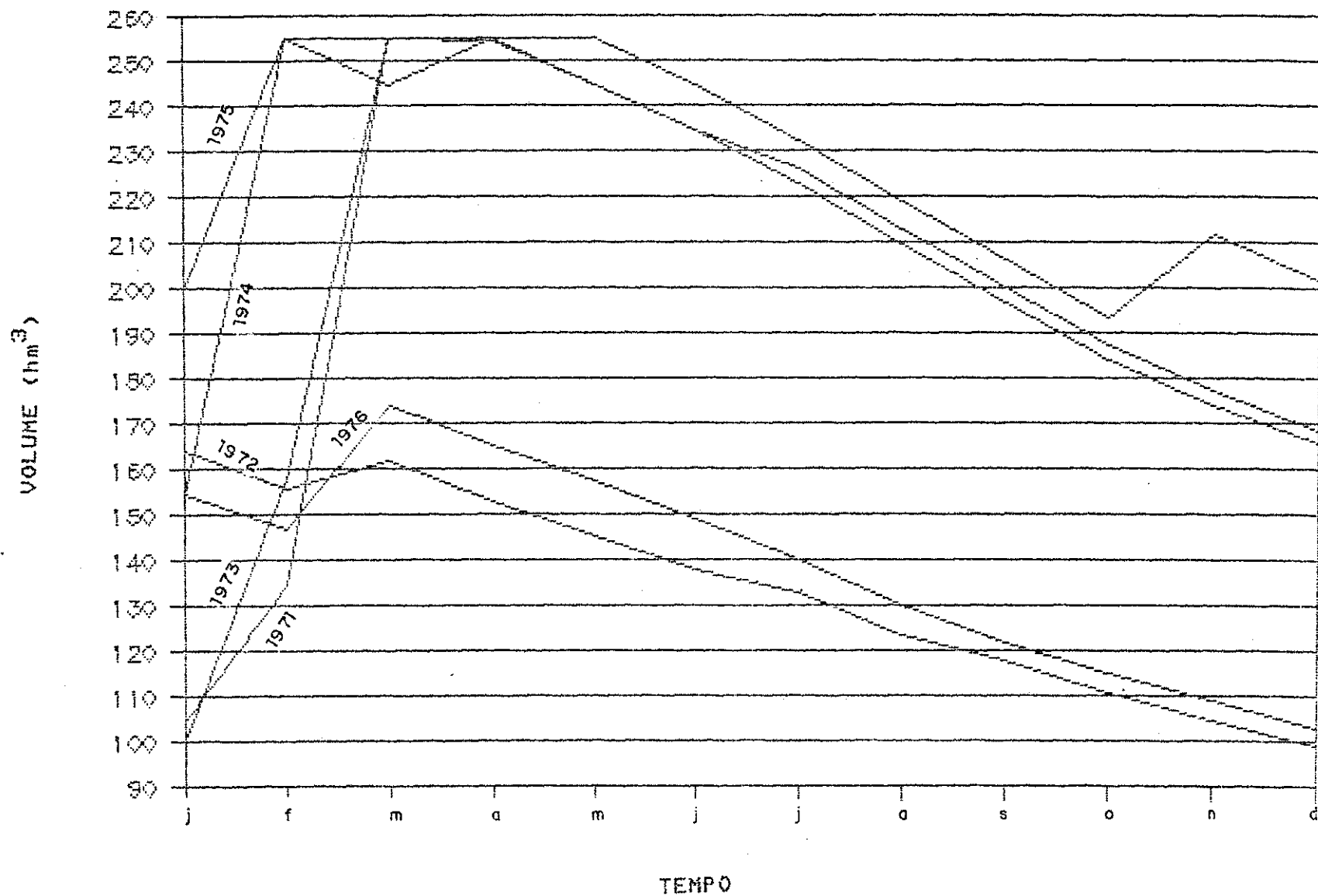


Figura A.14h Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos; anos 1971, 1972, 1973, 1974, 1975 e 1976, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

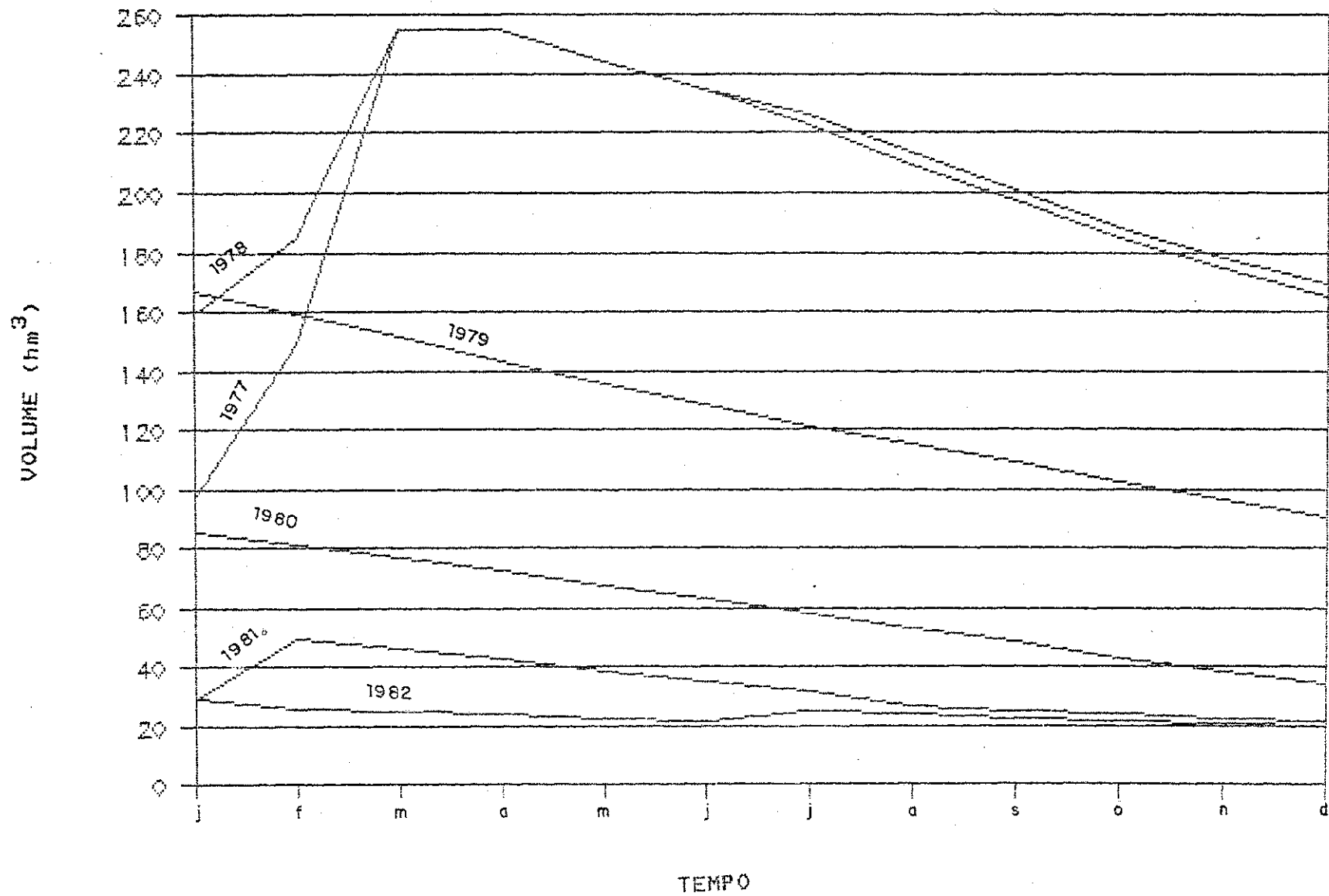


Figura A.141. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos; anos 1977, 1978, 1979, 1980, 1981 e 1982, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

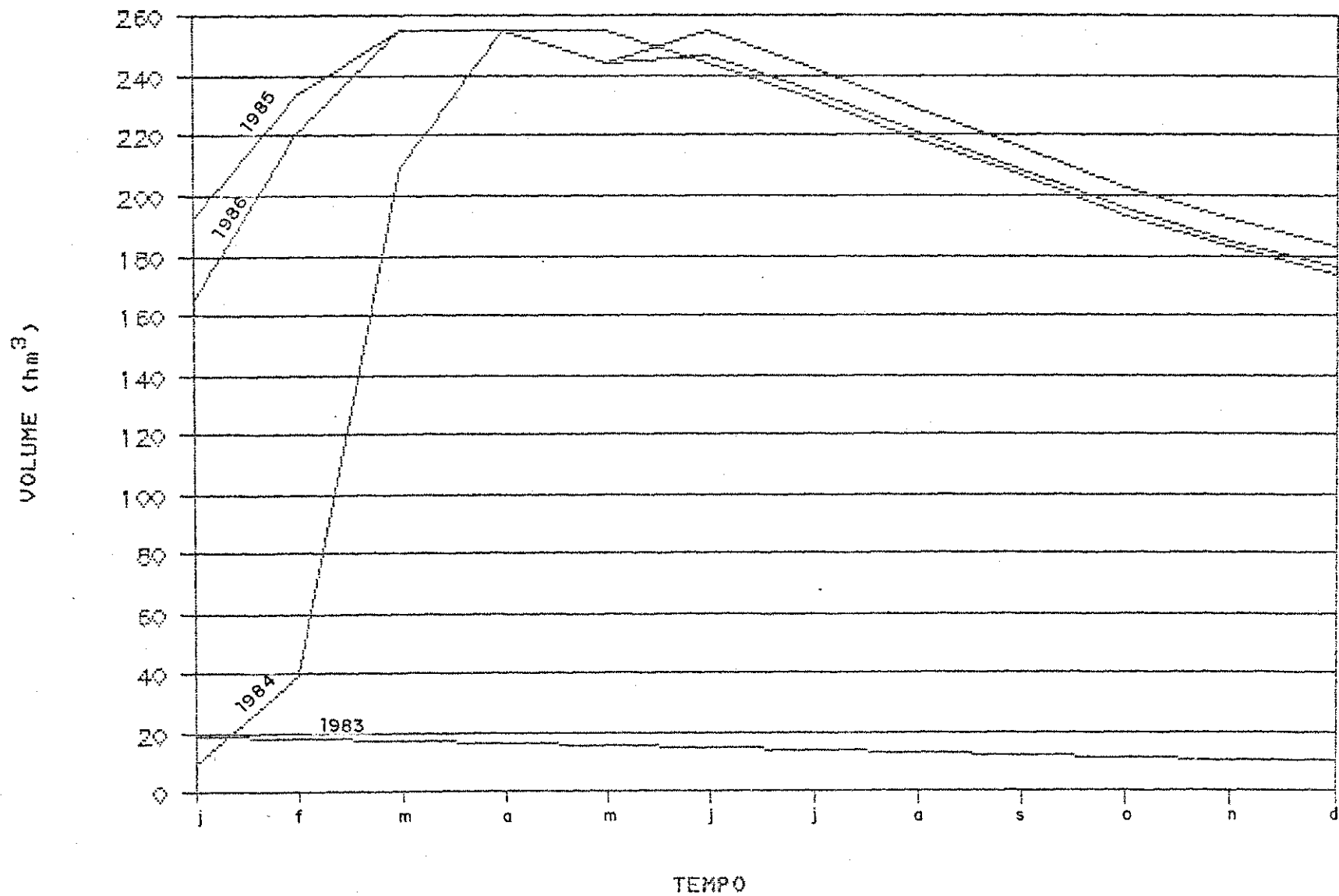


Figura A.14j. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos; anos 1983, 1984, 1985 e 1986, demanda futura e operação com $N_{EA} = 120,00 \text{ hm}^3$, $N_{SG} = 12,00 \text{ hm}^3$ e $Q_{MIN2} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

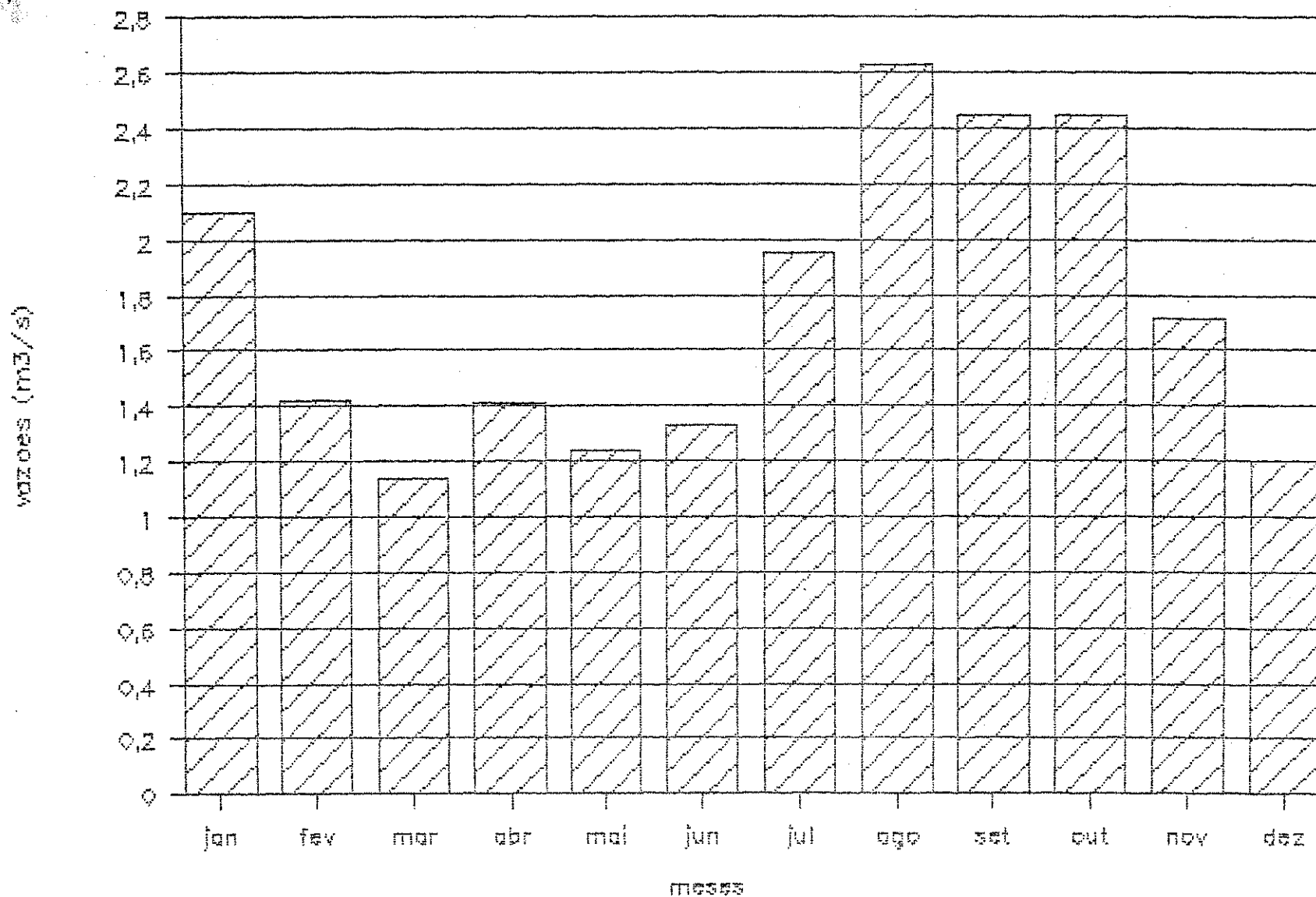


Figura A.141. Vazões de conservação (QCONS) médias mensais liberados do reservatório Engº Avidos para atendimento das demandas de futuro de jusante, período não crítico das séries histórica e artificial.

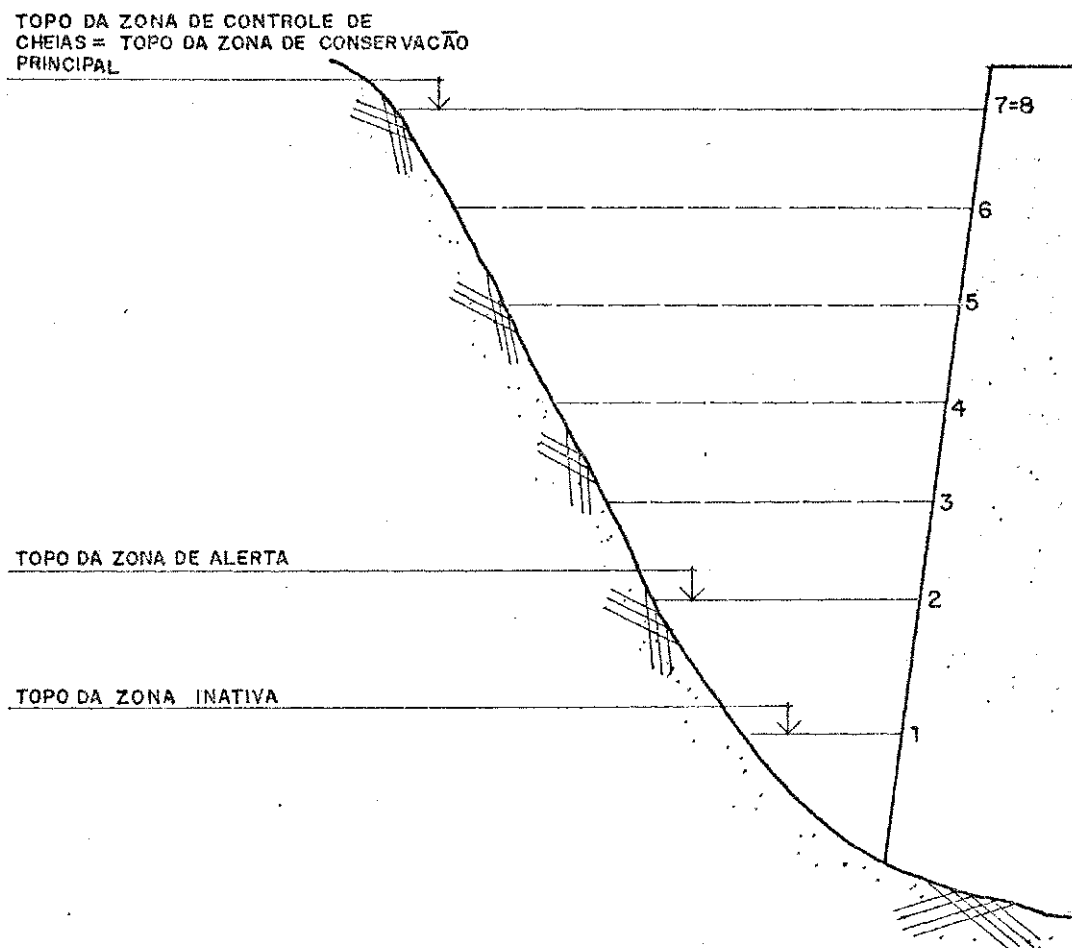


Figura A.15. Corte esquemático de um reservatório indicando oito zonas de armazenamento.

FIGURAS 16

Figuras referentes às operações
sem nível de alerta

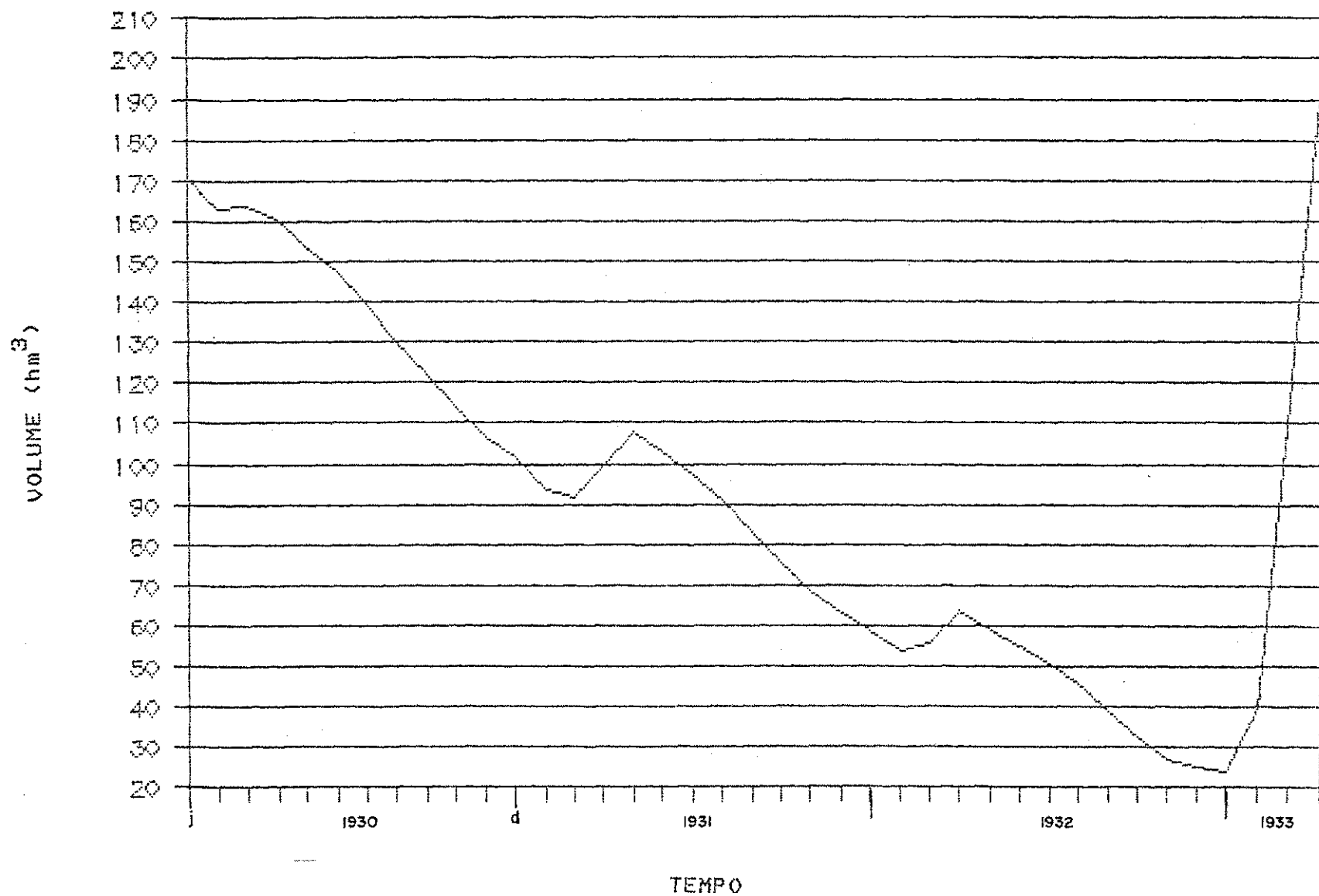


Figura A.16a. Volume armazenado no reservatório Eng.º Avidos para o período histórico 1930 - 1933, demandas atuais e operação sem nível de alerta.

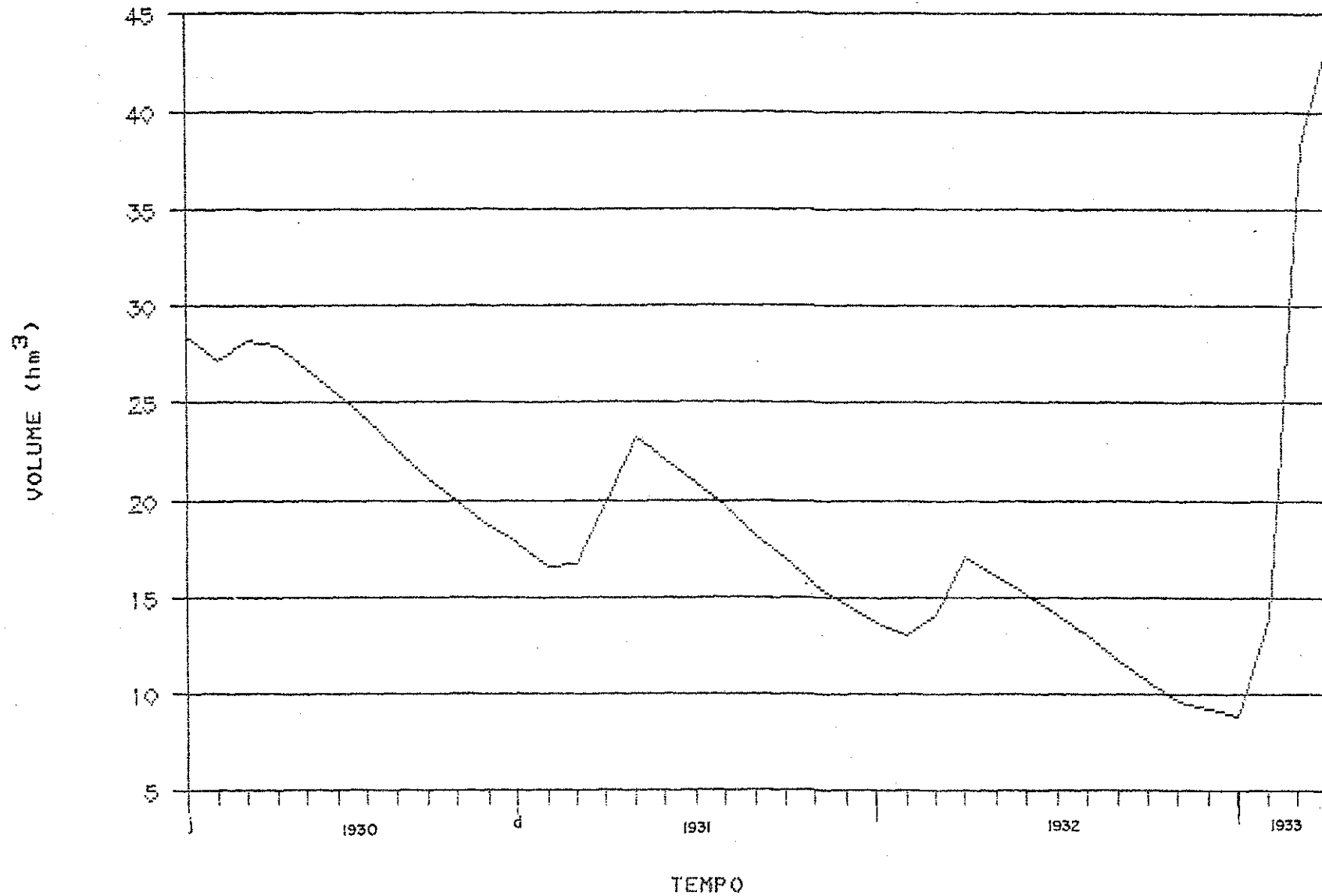


Figura A.16b. Volume armazenado no reservatório São Gonçalo para o período histórico 1930-1933, demandas atuais e operação sem nível de alerta.

ANEXO B

TABELAS

Tabela B.1. Evaporação em Engenheiro Avidos (multiplicado por 0,75) mm.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1979	198,8	132,7	152,7	123,1	140,2	140,9	176,0	191,6	202,7	229,4	226,8	317,7
1980	210,8	152,6	171,5	185,2	184,1	223,0	189,5	271,9	233,6	227,6	233,1	223,4
1981	212,5	180,2	169,2	153,0	164,1	174,3	208,3	227,6	229,1	232,1	220,3	247,2
1982	241,4	221,0	203,6	205,1	201,8	228,8	228,4	234,5	222,4	252,6	230,6	233,0
1983	238,3	165,6	228,9	232,5	230,2	220,6	220,3	231,8	222,5	243,6	219,3	223,0

Tabela B.2. Vazões históricas do posto São José de Piranhas ³ m³/s (período 1921-1935).

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	0,0	14,4	19,1	15,4	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1922	0,0	1,7	1,1	13,9	3,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0
1923	0,0	16,6	0,0	10,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1924	3,6	20,0	25,3	119,0	35,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1925	9,1	18,8	39,3	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1926	0,2	4,1	11,2	18,4	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1927	0,0	4,3	6,3	31,6	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1928	0,0	0,0	11,3	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1929	4,4	14,3	12,2	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1930	0,0	0,0	1,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1931	0,0	0,7	2,5	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1932	0,3	1,3	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1933	3,9	17,0	17,5	32,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0
1934	0,0	11,5	32,8	14,2	6,8	1,7	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
1935	0,2	14,5	44,7	17,9	6,8	1,6	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.3. Chuva Média na Subbacia São José - de Piranhas (mm)

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	43,6	228,2	335,5	190,0	130,0	5,1	5,2	1,1	1,1	17,9	29,1	4,1
1922	44,0	144,5	176,1	334,1	138,1	92,6	36,0	6,8	1,1	7,8	141,6	5,4
1923	73,1	227,4	51,8	141,4	130,3	15,3	19,7	1,6	0,3	4,4	21,3	0,6
1924	148,0	267,5	369,1	590,3	185,5	51,0	3,6	0,5	0,9	16,8	6,9	39,6
1925	157,6	182,4	354,6	133,9	38,6	17,2	5,0	5,5	80,7	5,8	32,6	82,7
1926	63,7	190,8	288,1	220,6	78,1	42,0	1,2	0,5	0,4	0,2	1,6	1,0
1927	31,1	224,0	151,3	162,2	65,1	15,5	17,3	1,3	5,0	2,8	24,0	11,9
1928	30,0	51,2	302,0	106,4	33,2	9,7	8,7	0,5	6,8	1,9	19,4	17,8
1929	154,0	251,9	238,4	222,4	40,5	13,3	11,0	4,2	7,7	13,5	33,8	36,1
1930	59,5	48,3	159,7	164,3	49,9	43,9	2,0	0,3	0,0	44,0	1,8	14,6
1931	18,2	77,8	254,4	37,0	4,6	0,0	3,9	9,8	1,5	23,4	0,2	7,7
1932	96,6	73,2	75,6	26,6	12,2	14,8	32,1	0,1	29,7	0,0	0,0	0,0
1933	153,4	77,1	200,3	230,0	1,7	7,4	5,6	0,1	0,0	6,6	95,2	40,9
1934	67,6	306,3	219,2	126,5	109,2	46,9	0,2	0,0	1,4	4,2	20,0	40,8
1935	115,2	236,7	316,0	189,8	100,2	63,1	9,2	0,7	0,0	0,4	0,4	32,5
1936	90,7	245,1	109,2	139,3	22,2	23,5	2,1	0,0	0,0	0,6	1,9	29,4
1937	110,9	309,2	231,1	120,4	172,8	50,8	6,1	0,2	2,1	2,9	2,0	3,1
1938	82,0	68,0	379,9	143,9	39,9	20,2	0,1	3,2	0,4	4,2	0,0	0,0
1939	92,0	271,9	253,4	75,2	12,8	2,3	5,5	7,1	8,7	57,1	40,4	55,2
1940	238,3	131,6	576,6	231,2	118,5	26,9	6,0	0,6	3,6	0,1	2,0	29,9
1941	19,7	141,9	265,1	39,8	44,7	11,1	20,1	2,6	0,3	22,7	26,5	6,6
1942	17,7	72,5	92,0	94,2	6,9	3,4	1,2	0,6	0,0	136,6	3,3	90,3
1943	67,1	102,6	279,2	91,3	15,3	16,7	5,7	0,7	0,0	3,6	50,2	53,5
1944	42,2	23,9	217,2	231,6	34,8	12,3	7,0	2,2	2,2	0,0	0,2	158,7
1945	103,5	164,3	127,0	105,9	238,2	40,2	7,6	0,1	3,7	28,7	4,2	14,7
1946	199,0	107,6	103,8	127,7	50,0	21,8	23,2	0,6	0,5	2,8	42,2	54,5
1947	117,2	170,6	440,8	135,7	51,2	3,8	2,9	0,0	1,0	7,3	184,3	96,8
1948	88,0	38,0	360,7	150,2	24,0	15,4	15,9	3,3	1,8	4,4	0,5	74,9
1949	0,5	125,8	181,5	242,9	126,7	39,3	8,4	15,3	0,5	14,0	204,6	0,0
1950	118,7	75,5	225,4	272,1	17,5	0,4	4,3	0,8	6,0	46,6	0,0	100,1
1951	73,0	52,8	76,5	151,8	72,5	61,5	1,9	0,0	0,0	2,6	0,3	38,9
1952	45,7	135,7	253,5	220,9	47,0	33,6	2,7	1,4	0,0	3,5	0,0	101,7
1953	20,1	114,3	113,8	101,5	15,5	73,4	18,3	0,1	7,2	3,1	49,5	6,8
1954	71,3	281,9	261,5	212,8	134,0	68,8	2,2	0,0	0,0	3,7	58,2	10,7
1955	135,4	197,4	231,9	121,0	56,3	3,7	0,3	0,2	0,0	17,2	0,1	58,0
1956	31,5	263,2	189,3	120,2	71,9	41,5	42,5	31,6	6,9	10,8	33,5	56,5
1957	93,5	24,3	292,5	183,7	10,8	13,2	2,6	0,0	0,2	0,0	0,0	44,5
1958	17,0	90,1	149,7	36,3	35,9	7,9	8,8	1,3	0,6	0,0	2,6	32,6
1959	123,3	262,7	124,5	85,6	40,0	30,1	9,3	10,3	1,9	7,4	0,0	0,0
1960	34,1	95,1	530,0	109,7	36,1	21,9	0,0	0,7	1,4	10,9	7,5	6,6
1961	89,7	268,1	362,7	75,4	29,1	1,6	15,1	0,0	1,0	7,0	1,0	19,2
1962	56,2	145,3	208,9	44,8	78,2	49,3	29,6	0,0	0,0	20,1	22,6	31,8
1963	100,4	506,7	377,5	70,7	32,7	27,9	0,4	0,0	0,7	17,7	43,7	102,0
1964	155,9	197,4	313,0	239,9	113,3	42,1	5,6	1,4	46,0	6,6	28,2	9,6
1965	121,7	31,9	253,3	341,0	41,4	96,8	11,5	30,3	1,9	23,6	0,4	1,1
1966	100,9	115,7	60,8	148,0	44,0	69,2	25,7	0,0	17,3	0,0	3,5	53,8
1967	103,1	217,9	318,2	550,3	301,1	9,0	8,5	6,1	1,4	0,6	1,1	40,6
1968	145,2	48,8	504,2	63,8	97,5	19,7	11,5	1,4	0,0	2,5	36,0	32,9
1969	143,6	186,2	212,4	261,6	91,7	70,6	34,9	12,2	5,3	19,0	0,9	36,8
1970	107,3	99,8	161,0	114,4	2,1	0,0	8,1	0,4	3,9	31,5	11,7	27,9
1971	173,6	245,4	145,9	338,1	87,4	64,2	29,5	2,3	9,9	49,6	1,9	3,0
1972	201,5	156,4	222,5	131,2	36,8	31,2	21,1	23,0	6,3	5,2	0,0	170,3
1973	75,4	139,3	208,9	468,6	81,8	83,8	45,5	54,6	32,4	2,7	3,0	50,2
1974	195,1	399,6	347,5	412,2	50,7	29,7	10,1	1,2	2,9	36,6	42,0	53,4
1975	130,8	224,0	332,4	218,3	91,7	66,7	71,8	0,1	5,2	13,7	3,0	37,2
1976	79,6	336,0	261,6	133,3	18,4	21,1	0,1	1,0	82,5	35,4	82,5	8,4
1977	123,8	153,8	232,3	290,6	144,5	99,4	46,4	3,2	0,0	14,8	0,0	99,0
1978	67,5	390,3	164,3	149,0	154,1	44,3	101,7	4,9	10,5	2,3	31,7	15,3
1979	255,2	277,9	263,7	181,0	64,0	13,0	0,2	9,3	51,0	41,8	15,6	8,9
1980	102,9	381,5	248,3	30,4	6,8	29,3	27,0	0,0	1,0	35,3	107,1	13,3
1981	91,8	65,1	419,7	60,5	0,4	14,0	1,7	5,1	0,0	1,9	19,8	126,3
1982	81,2	109,4	180,6	145,4	29,8	4,1	2,3	3,0	6,6	59,4	36,0	16,4
1983	91,1	178,7	89,9	113,2	5,8	18,1	16,3	2,1	0,8	0,0	3,3	6,9

Tabela B.4. Chuva Média na Subbacia Engenheiro Avidos (mm).

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1966	91,6	127,9	64,0	136,9	60,4	65,2	20,0	0,1	19,3	0,8	4,5	54,4
1967	118,2	240,3	318,4	443,7	256,0	4,8	4,5	2,9	0,7	0,3	0,5	31,1
1968	134,1	57,0	510,0	80,8	86,2	19,4	10,2	0,7	0,0	1,2	36,1	41,8
1969	106,6	189,5	198,7	252,3	80,8	66,4	29,9	7,1	4,9	12,3	0,4	33,3
1970	127,6	93,0	184,0	105,1	2,1	5,5	6,2	0,2	2,0	24,7	13,3	24,6
1971	178,1	237,8	158,3	291,2	74,1	71,6	26,4	1,1	5,1	50,2	1,9	2,9
1972	185,3	159,9	236,5	135,2	48,2	29,4	20,2	22,5	3,0	3,5	0,0	146,2
1973	68,6	117,2	203,5	438,1	84,3	70,6	37,4	33,3	31,8	4,0	1,4	51,5
1974	183,8	372,1	328,2	401,3	63,6	20,0	6,4	0,6	2,9	22,4	39,4	39,1
1975	142,8	189,4	333,0	222,7	81,0	63,3	78,2	0,4	6,5	14,8	1,4	37,0
1976	58,0	336,5	266,9	106,7	16,4	17,1	0,1	0,9	76,2	40,0	59,4	6,9
1977	123,5	192,5	249,1	299,0	137,5	94,4	47,2	1,6	0,0	12,3	0,0	94,2
1978	84,5	399,9	165,9	109,9	131,0	32,1	88,9	2,4	5,5	2,3	28,0	9,5
1979	267,0	296,8	232,6	169,8	73,0	10,9	3,9	7,1	38,4	45,0	14,7	9,1
1980	104,8	386,4	245,3	33,4	8,3	31,2	24,8	0,0	1,3	28,6	87,2	12,9
1981	121,0	69,7	429,0	48,4	0,2	14,5	0,8	5,3	0,0	0,0	25,8	136,4
1982	105,8	106,2	171,2	163,8	32,9	5,7	1,8	1,4	3,1	49,3	30,0	12,4
1983	81,4	191,9	86,8	101,0	4,7	13,2	9,3	2,6	0,4	0,0	2,1	10,1
1984	120,3	57,1	317,6	262,0	103,6	8,0	7,5	0,0	0,0	8,0	8,3	38,5
1985	386,0	294,9	400,7	508,4	202,7	57,1	85,6	3,5	12,5	0,0	124,5	124,5
1986	98,4	247,0	348,5	229,4	90,2	31,8	54,4	17,5	0,0	0,0	70,0	0,0
1987	78,8	152,7	484,6	60,6	10,6	30,4	30,6	14,5	35,6	0,0	0,0	0,0
1988	81,8	105,6	362,3	292,7	116,3	0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	154,3

Tabela B.5. Limites de confiança para a série histórica de São José de Piranhas (1921-1935): com um nível de significância de 10%.

média		desvio padrão		variância	
limites inferior	limites superior	limites inferior	limites superior	limites inferior	limites superior
0,273	1,837	1,320	2,510	1,740	6,300
5,768	12,660	5,830	11,070	33,980	122,540
8,543	21,739	11,160	21,180	124,540	448,590
8,125	34,197	22,040	41,850	485,760	1751,420
0,041	8,325	7,000	13,290	49,000	176,620
0,273	0,729	0,870	1,650	0,760	2,730
-0,020	0,226	0,200	0,390	0,040	0,150
-0,017	0,129	0,130	0,250	0,020	0,060
-	-	-	-	-	-
-0,224	1,458	1,420	2,700	2,020	7,290
-	-	-	-	-	-

Tabela B.6. Vazões artificiais (período 1959-1986) ³ m³/s.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1959	2,3	-0,0	17,3	29,7	16,7	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	6,3	0,0
1960	0,0	11,2	32,9	11,9	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0
1961	2,4	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1962	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	18,8	25,9	86,9	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1964	0,0	10,8	17,5	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	0,0
1965	3,5	6,6	20,5	0,0	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1967	3,7	0,0	8,1	35,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1968	0,0	0,0	13,5	24,5	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969	5,9	7,4	14,9	0,0	12,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	4,5	0,0
1970	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971	0,0	7,7	38,9	30,9	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	1,2	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	1,3	13,8	32,1	76,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1974	0,0	25,6	22,6	57,3	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0
1975	1,9	15,2	0,0	57,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	12,4	31,6	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1978	0,9	7,2	51,6	23,9	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1982	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	6,8	33,5	13,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985	4,0	10,0	10,7	87,7	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	0,0	13,4	11,9	33,3	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.7. Dados populacionais para cálculo das demandas de abastecimento (número de habitantes).

Localidade	1950	1960	1970	1975	1980	1985	1989	**2010
Cajazeiras + Eng. Avidos	31268	39104	41644	48852	46233	49774	53719	70035
Sousa			44658		53982			115497
Marizópolis			3004		4258			12126
Divinópolis						*721		1656
São Gonçalo						*2776		6377
Nazarezinho	600	791	7358	8440	8358	8928	9350	12126
Gravatá							*1000	2149

Os valores dos anos de 1950, 1960, 1970 e 1980: são valores referentes aos respectivos censos do IBGE. Os valores de 1975, 1985 e 1989: são valores estimados pelo IBGE.

As populações marcadas com "*" foram estimadas pela Cagepa em função do número de ligações domiciliares e as marcadas com "**", foram calculadas conforme item 5.4.1 do capítulo V.

Tabela B.8. Taxa de crescimento "r" ao ano para cálculo da população de projeto.

cidade	taxa "r"	cidade	taxa "r"
Cajazeiras + E. Av.	1,271%	Divinópolis	3,526%
Gravatá	3,526%	Marizópolis	3,550%
Nazarezinho	1,274%	São Gonçalo	3,526%
Sousa	1,914%		

A taxa "r" foi calculada com os dados da tabela B.7 deste anexo; os valores referentes as localidades de Gravatá, Divinópolis e São Gonçalo são estimados pela CAGEPA.

Tabela B.9. Coeficientes de cultivo médio segundo Blancy e Criddle 1982.

culturas	K	culturas	K
arroz	1,10	melão	0,70
algodão	0,70	tomate	0,80
banana	1,00	feijão	0,70
fruteiras	0,60	milho	0,80
capim	0,75	melância	0,70
coco	1,00		

Tabela B.10. Chuva no posto Engenheiro Avidos (período 1921-1935) mm.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	30,2	208,9	267,5	181,4	158,5	12,0	3,0	5,2	4,5	9,9	119,5	3,6
1922	38,6	164,0	119,4	306,9	105,5	114,4	33,1	9,9	0,5	0,0	132,8	37,7
1923	60,7	305,3	25,2	113,1	138,2	22,0	29,1	1,4	0,5	9,4	25,1	4,8
1924	143,0	266,9	336,7	534,1	105,6	52,8	0,6	0,1	1,7	22,2	10,9	61,1
1925	190,7	132,2	300,4	111,3	29,3	30,4	4,1	5,7	158,3	3,8	39,9	54,4
1926	48,8	146,5	157,3	121,9	59,2	39,0	1,3	0,0	0,0	0,1	1,1	0,3
1927	37,3	131,7	99,8	150,6	44,4	9,9	14,4	0,0	4,3	0,0	21,6	2,7
1928	32,5	27,1	191,6	94,3	36,2	6,5	6,2	0,0	7,3	0,9	17,4	3,5
1929	148,0	220,0	207,4	182,8	47,0	5,2	11,1	1,6	12,7	9,9	11,4	19,1
1930	135,8	110,4	183,9	186,6	82,2	98,6	8,9	0,0	0,0	35,7	0,4	15,1
1931	20,3	75,5	238,8	47,4	8,6	1,4	8,9	13,2	1,3	28,8	0,0	6,2
1932	58,5	104,1	100,5	22,5	13,7	11,1	35,9	0,1	21,9	0,0	0,0	0,0
1933	92,7	78,0	130,6	208,0	3,3	7,1	6,2	0,0	0,0	1,3	63,0	40,0
1934	80,6	313,6	346,5	212,4	143,1	28,0	0,1	0,0	7,6	9,5	54,4	83,7
1935	144,3	377,4	357,4	180,6	154,1	67,6	20,5	2,8	0,0	0,1	0,1	0,9

Tabela B.11. Chuva no posto Nazarezinho (período 1921-1935) mm.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	33,6	195,7	278,5	150,3	143,4	10,1	2,0	4,6	4,0	6,1	104,1	2,5
1922	29,3	142,4	109,9	288,7	89,1	93,8	23,2	8,3	0,3	0,0	122,1	34,1
1923	49,9	259,2	26,8	92,9	117,6	17,2	22,3	1,3	0,5	7,5	16,9	4,4
1924	111,2	221,9	345,0	539,1	102,0	47,1	0,7	0,0	2,1	17,0	9,1	52,3
1925	169,9	118,2	292,9	112,0	32,2	23,3	4,8	6,0	129,0	3,4	28,2	42,0
1926	41,1	109,8	162,3	110,6	51,2	33,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
1927	26,8	133,6	95,2	140,8	36,1	10,5	11,8	0,0	2,6	0,0	13,1	1,6
1928	25,3	20,5	179,1	88,6	36,0	4,2	3,9	0,0	5,7	0,5	10,5	5,1
1929	104,1	185,3	179,0	156,6	38,5	10,6	8,2	1,0	10,6	13,3	12,1	13,5
1930	112,5	89,7	169,4	179,9	73,3	89,4	8,4	0,0	0,0	23,9	0,2	10,5
1931	18,9	79,0	214,1	53,7	10,6	1,3	10,5	11,2	0,8	23,3	0,0	3,8
1932	49,1	81,2	84,7	15,8	10,3	10,9	26,8	0,0	23,1	0,0	0,0	0,0
1933	91,3	102,2	146,4	207,6	6,7	6,1	4,6	0,2	0,0	1,9	50,1	34,3
1934	109,1	298,5	342,6	197,4	132,4	27,6	0,0	0,0	5,0	6,9	40,0	92,4
1935	65,3	125,3	91,8	49,6	29,4	17,2	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.12. Chuva no posto São Gonçalo (período 1921-1935) mm.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	43,8	222,2	345,7	149,9	157,5	10,2	1,5	4,9	4,4	3,5	109,9	1,9
1922	26,1	149,8	122,8	329,2	91,0	92,0	18,1	8,3	0,2	0,0	136,2	37,5
1923	49,4	226,0	33,7	91,8	121,1	16,0	20,0	1,4	0,5	7,1	12,3	4,8
1924	102,2	222,3	363,7	653,2	119,1	51,0	1,0	0,0	2,9	15,2	9,1	54,1
1925	183,6	128,3	344,7	135,4	41,6	21,0	6,5	7,6	126,1	3,6	22,3	38,2
1926	41,8	95,6	200,0	121,7	53,7	34,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
1927	21,9	162,5	110,0	159,5	35,1	13,3	11,7	0,0	1,5	0,0	7,3	0,9
1928	23,2	18,1	202,9	100,9	43,0	2,8	2,4	0,0	5,3	0,3	5,9	7,8
1929	81,7	188,5	187,2	162,4	37,8	18,0	7,0	0,6	10,6	19,3	15,2	11,7
1930	112,1	109,3	189,4	209,6	79,4	88,4	9,6	0,0	0,0	17,1	0,1	8,1
1931	21,4	98,5	233,0	70,8	14,4	1,4	14,1	11,5	0,4	22,6	0,0	2,1
1932	49,7	75,0	86,3	12,4	9,0	12,9	23,2	0,0	28,9	0,0	0,0	0,0
1933	108,5	146,9	191,6	249,3	11,5	6,4	4,0	0,4	0,0	2,8	47,4	35,7
1934	159,3	344,0	407,9	222,4	148,5	32,8	0,0	0,0	3,4	5,8	33,9	119,7
1935	131,3	306,2	255,1	144,7	91,6	41,4	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.13. Médias aritméticas da pluviometria para serem usadas como precipitação no cálculo da quantidade de água necessária para irrigar.

meses	precipitação média mensal (mm)		
	E. Avidos	Nazarezinho	S. Gonçalo
Janeiro	84,13	69,16	77,07
fevereiro	177,44	144,83	168,89
março	208,21	181,18	218,27
abril	176,93	158,99	187,55
maio	75,26	60,58	70,29
junho	33,73	26,84	30,16
julho	12,23	22,74	9,47
agosto	2,67	2,17	2,31
setembro	14,71	12,25	12,28
outubro	8,77	6,92	6,49
novembro	33,17	27,15	26,70
dezembro	22,14	19,78	21,51

Tabela B.14. Projeto de Irrigação Engenheiro Avidos.

meses	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
evap. (mm) referência	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
cultura área %	uso consuntivo											
algodão	28,0	169,0	154,7	160,2	162,8	161,1						
sorgo	8,6							140,7	140,1	151,6	150,2	
tomate	17,0						182,7	187,6	186,8	202,1	200,2	
cebola	9,6							140,7	140,1	151,6	150,2	
milho	31,0	193,1	176,8	183,1	186,0	184,1						
feijão	21,0						159,9	164,2	163,5	176,8		
feijão	6,0	169,0	154,7	160,2			159,9	164,2	163,5			
banana	25,0	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3
capim	10,0	181,1	165,7	171,7	174,4	172,6	171,6	171,3	175,9	175,6	189,5	187,7
uso consuntivo (mm)	195,8	179,2	185,6	190,2	188,3	212,5	187,9	183,2	182,4	198,7	203,3	229,5
uso consuntivo (l/s ha)	1,17	1,18	1,10	1,17	1,12	1,31	1,12	1,31	1,12	1,18	1,26	1,38
precipita ção (l/s ha)	0,31	0,73	0,78	0,68	0,28	0,13	0,05	0,00	0,06	0,03	0,13	0,08
déficit (l/s ha)	0,86	0,45	0,32	0,49	0,84	1,18	1,07	1,09	1,06	1,15	1,12	1,30
demanda atual (m3/s)	0,17	0,09	0,06	0,09	0,16	0,08	0,17	0,21	0,21	0,21	0,16	0,08
demanda futura (m3/s)	0,42	0,22	0,16	0,22	0,38	0,20	0,41	0,51	0,50	0,66	0,38	0,22

O uso consuntivo foi calculado considerando uma eficiência de 60,0% na irrigação. A precipitação corresponde aos valores médios mensais do posto Engenheiro Avidos, tabela B.10 deste anexo. A demanda atual corresponde à uma área de 200,0 ha e a demanda futura corresponde à uma área de 486,0 ha.

Tabela B.15. Projeto de irrigação - Gravatá - área de aluvião.

meses	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	
evap. (mm)	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2	
referência													
cultura	área %	uso consuntivo											
banana	30,0	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
capim	10,0	181,1	165,7	171,7	174,4	172,6	171,6	171,3	175,9	175,1	189,4	187,7	185,4
arroz	30,0		243,0	251,8	255,7	253,2							
arroz	20,0						251,2	257,9	256,9	277,8			
melao	20,0								163,5	176,8	175,2		
tomate	20,0							187,6	186,8	202,1	200,2		
algodão	30,0			160,2	162,7	161,1	160,2						
uso consuntivo (mm)	226,3	222,5	210,2	212,7	210,8	191,2	226,5	221,3	209,0	226,1	211,2	231,8	
uso consuntivo (l/s ha)	1,36	1,25	1,25	1,31	1,26	1,18	1,36	1,33	1,25	1,34	1,30	1,40	
precipitação (l/s ha)	0,26	0,60	0,68	0,70	0,23	0,10	0,08	0,01	0,05	0,03	0,11	0,07	
déficit (l/s ha)	1,10	0,65	0,57	0,61	1,03	1,08	1,28	1,32	1,20	1,31	1,19	1,33	
demanda atual (m3/s)	0,018	0,018	0,023	0,024	0,040	0,030	0,031	0,042	0,048	0,062	0,038	0,008	
demanda futura (m3/s)	0,030	0,044	0,040	0,041	0,070	0,051	0,052	0,071	0,081	0,088	0,060	0,040	

O uso consuntivo foi calculado considerando uma eficiência de 60,0% na irrigação. A precipitação corresponde ao valor médio mensal do posto de Nazarezinho, tabela B.11, deste anexo. A demanda atual corresponde à uma área de 40,0 ha e a demanda futura corresponde à uma área de 67,2 ha, a esta demanda deve-se somar a parcela correspondente a área de encosta com 142,8 ha e plano de exploração definido na tabela B.15 deste anexo, neste caso a área de futuro total será de 210,0 ha.

Tabela B.15a. Projeto de Irrigação Gravatá - área de encosta.

meses	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	
evap. (mm) referência	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	229,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2	
cultura	área %	uso consuntivo											
frutíferas	100,0	144,9	132,6	137,3	139,5	138,1	137,3	137,0	140,7	140,1	151,6	150,2	148,3
milho	100,0	193,1	176,8	183,1	186,0	184,2	183,1	182,7	187,6	186,8	202,1	200,2	197,8
feijão	100,0	169,0	154,7	160,2	162,7	161,1	160,2	159,9	164,2	163,5	176,8	175,8	173,1
uso consuntivo (mm)	186,9	154,7	160,2	162,7	161,1	160,2	159,9	161,2	163,5	176,8	175,2	173,0	
uso consuntivo (l/s ha)	1,01	1,02	0,96	1,01	0,96	0,99	0,96	0,98	1,01	1,06	1,09	1,04	
precipitação (l/s ha)	0,26	0,60	0,68	0,70	0,23	0,10	0,08	0,01	0,05	0,03	0,11	0,07	
déficit (l/s ha)	0,75	0,42	0,28	0,31	0,73	0,89	0,88	0,97	0,96	1,03	0,99	0,97	
demanda futura (m ³ /s)	0,11	0,06	0,04	0,04	0,10	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	
demanda futura total (m ³ /s)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,17	0,18	0,18	0,21	0,22	0,24	0,20	0,18	

O uso consuntivo foi calculado considerando uma eficiência de 60,0% na irrigação. A precipitação corresponde ao posto de Nazarezinho, tabela B.11.

Tabela B.16. Projeto de Irrigação São Gonçalo.

meses	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	
evap. referência (mm)	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2	
cultura	área %												
	uso consuntivo												
bananaeira aa	9,8	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
coco aa	0,6	241,4	220,9	228,9	232,5	230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
capim	0,1	181,1	165,7	171,7	174,4	172,6	171,3	175,9	175,1	189,4	187,7	185,4	
bananaeira v	0,8					230,2	228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
bananaeira vi	1,1						228,8	228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
bananaeira vii	0,5							228,4	234,5	233,5	252,6	250,3	247,2
coco viii	0,1	169,0	154,7	160,2					159,9	164,2	163,5		
arroz aa	1,3	265,6											
arroz aa	1,1	265,6	243,0										
arroz aa	1,8	265,6	243,0	251,8									
milho aa	0,3	193,1	176,8	183,1									
arroz i	29,7	265,6	243,0	251,8	255,7								
arroz ii	0,8		243,0	251,8	255,7	253,2							
arroz v	0,8					253,2	251,7	251,2	257,9				
arroz vi	3,8						251,7	251,2	257,9	256,9			
arroz vii	4,2							251,2	257,9	256,9	277,9		
arroz viii	2,3								257,9	256,9	277,9	275,3	
arroz ix	1,1									256,9	277,9	275,3	
arroz xii	2,1											271,9	
algodão i	0,2	169,0	154,7	160,2	162,8								
algodão v	2,9					161,1	160,2	159,9	164,2				
algodão vi	1,8						160,2	159,9	164,2	163,5			
algodão vii	1,8							159,9	164,2	163,5	176,8		
algodão viii	0,3								164,2	163,5	176,8	175,2	
algodão ix	0,1									163,5	176,8	175,2	
feijão i	0,4	169,0	154,7	160,2	162,8								
feijão vii	4,6							159,9	164,2	163,5	176,8		
feijão viii	12,6								164,2	163,5	176,8	175,2	
feijão ix	0,4									163,5	176,8	175,2	
melância vi	1,1					160,2	159,9	164,2	163,5				
melância vii	0,4						159,9	164,2	163,5	176,8			
melância viii	1,7							164,2	163,5	176,8	175,2		
melância ix	0,8								163,5	176,8	175,2	173,0	
melão vi	0,3					160,2	159,9	164,2					
milho i	0,5	193,1	176,8	183,1	186,0								
milho ix	0,8									186,8	202,1	200,2	
milho xii	0,3											197,8	
tomate i	0,1	193,1	176,8	183,1	186,0								
tomate v	4,0					184,1	183,1	182,7	187,6				
tomate viii	0,6								187,6	183,1	182,7	187,6	
uso consuntivo (mm)	254,5	232,8	241,1	244,7	211,9	202,5	232,8	217,8	202,5	225,2	215,4	242,7	
cultura	uso consuntivo												
uso consuntivo (l/s ha)	1,52	1,54	1,44	1,50	1,32	1,25	1,39	1,30	1,30	1,35	1,33	1,45	
precipitação (l/s ha)	0,29	0,70	0,82	0,72	0,26	0,12	0,04	0,01	0,05	0,03	0,10	0,08	
déficit (l/s ha)	1,23	0,84	0,62	0,78	0,84	1,13	1,35	1,29	1,25	1,33	1,23	1,37	
demanda atual (l/s ha)	1,38	0,95	0,67	0,80	0,47	0,72	1,11	1,67	1,50	1,34	0,95	0,61	
demanda futura (m3/s)	1,79	1,22	0,87	1,42	0,61	0,93	1,44	2,15	1,94	1,74	1,23	0,79	

O uso consuntivo foi calculado considerando uma eficiência de 60,0% na irrigação. A precipitação corresponde ao posto de São Gonçalo, tabela B.12, deste anexo. A demanda atual corresponde a uma área de 2347,0 ha e a demanda futura corresponde a uma área de 3036,0 ha.

Tabela B.17. Vazão Histórica em Engenheiro Avidos (período 1921-1935) m^3/s .

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	0,0	27,8	36,9	29,7	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1922	0,0	3,3	2,2	26,8	5,8	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	0,0
1923	0,0	29,9	0,0	19,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1924	6,9	38,6	48,8	229,7	69,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1925	6,0	36,3	75,9	37,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1926	0,5	8,0	21,6	35,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1927	0,0	8,4	12,1	70,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1928	0,0	0,0	21,8	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1929	8,5	27,6	23,6	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1930	0,0	0,0	2,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1931	0,0	1,4	4,8	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1932	0,5	2,6	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1933	7,7	32,8	33,8	61,8	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0
1934	0,0	22,2	63,3	27,4	13,1	3,3	1,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1935	0,4	28,0	86,3	34,6	13,1	3,1	1,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.18. Vazão Histórica em São Gonçalo (período 1921-1935) m^3/s .

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1921	0,0	8,9	11,8	9,6	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1922	0,0	1,1	0,7	8,6	1,9	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0
1923	0,0	9,6	0,0	4,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1924	2,2	12,4	15,7	73,8	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1925	1,9	11,7	24,4	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1926	0,2	2,6	6,9	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1927	0,0	2,7	3,9	19,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1928	0,0	0,0	7,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1929	2,7	8,9	7,8	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1930	0,0	0,0	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1931	0,0	0,4	1,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1932	0,2	0,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1933	2,5	10,5	10,9	19,9	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
1934	0,0	7,1	20,3	8,8	4,2	1,1	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
1935	0,1	1,0	27,7	11,1	4,2	0,8	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.19. Vazão Artificial em Engenheiro Avidos $\frac{3}{5}$.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1959	4,4	0,0	33,4	57,3	32,3	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	12,2	0,0
1960	0,0	21,6	63,7	23,1	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	0,0
1961	4,8	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1962	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	36,3	50,0	165,9	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1964	0,0	20,8	33,7	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	0,0
1965	6,8	12,7	39,5	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1967	7,2	0,0	15,6	69,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1968	0,0	0,0	26,0	47,2	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969	11,3	14,3	28,8	0,0	23,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	8,6	0,0
1970	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971	0,0	16,0	75,1	59,7	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	2,3	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	2,6	26,6	62,0	147,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1974	0,0	49,5	43,6	110,7	53,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0
1975	3,6	29,3	0,0	110,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	23,9	61,1	35,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1978	1,7	13,9	99,6	48,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1982	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	13,1	64,6	26,9	0,0	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985	7,8	19,3	20,7	130,7	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	0,0	25,8	23,0	64,2	48,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.20. Vazão Artificial em São Gonçalo (período 1959-1986) $\frac{3}{5}$.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
1959	1,4	0,0	10,7	18,4	10,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	3,9	0,0
1960	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1961	1,5	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1962	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,0	11,7	16,1	53,3	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1964	0,0	6,7	10,8	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0
1965	2,2	4,1	12,7	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1967	2,3	0,0	5,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1968	0,0	0,0	3,4	15,2	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969	3,6	4,6	7,3	0,0	7,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	2,8	0,0
1970	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971	0,0	4,8	24,1	19,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	0,8	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,8	8,6	19,9	47,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1974	0,0	15,9	14,0	35,6	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0
1975	1,2	9,4	0,0	35,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	7,7	19,6	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1978	0,5	4,5	32,0	14,8	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1982	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	4,2	20,8	8,7	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985	2,5	6,2	6,7	41,8	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1986	0,0	8,3	7,3	20,6	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela B.21. Algumas operações tentadas para a série histórica de vazões com as demandas atuais.

PC			IE			
PC1	PC3	QMIN2 básico	PC1	PC2	PC3	
N_{EA}	N_{SG}	(m^3/s)	QDIV	QDIV	QMIN1	QMIN2
nfvets (hm^3)						
40,00	12,00	0,11	0,00	0,00	0,88	0,00
40,00	12,00	0,40	0,00	0,00	0,52	0,00
50,00	12,00	0,40	0,00	0,00	1,03	0,00
40,00	12,00	0,60	0,00	0,00	0,32	0,00
40,00	12,00	0,30	3,80	4,10	8,60	3,90
25,00	20,00	0,80	0,41	0,49	0,11	0,00
50,00	12,00	0,80	0,00	0,00	0,36	0,00
40,00	12,00	0,80	0,00	0,00	0,30	0,03
60,00	20,00	0,80	0,00	0,00	0,67	0,00
60,00	12,00	0,80	0,00	0,01	0,62	0,00
80,00	12,00	0,80	0,00	0,00	0,54	0,00
40,00	12,00	1,00	0,05	0,02	0,21	0,00
100,00	12,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00
60,00	12,00	1,00	0,00	0,00	0,32	0,00
80,00	12,00	1,00	0,00	0,00	0,28	0,00
40,00	15,00	1,00	0,05	0,02	0,26	0,03
80,00	15,00	1,00	0,00	0,01	0,32	0,00
100,00	15,00	1,00	0,00	0,00	0,54	0,00
40,00	20,00	1,00	0,05	0,02	0,27	0,02
60,00	20,00	1,00	0,00	0,00	0,37	0,01
80,00	20,00	1,00	0,00	0,00	0,32	0,00
100,00	20,00	1,00	0,00	0,00	0,54	0,00
40,00	30,00	1,00	0,18	0,14	0,26	0,00
60,00	30,00	1,00	0,00	0,02	0,35	0,00
80,00	30,00	1,00	0,00	0,00	0,43	0,00
100,00	30,00	1,00	0,00	0,00	0,55	0,00
70,00	12,00	1,00	0,00	0,00	0,30	0,00
100,00	12,00	1,20	0,00	0,00	0,19	0,00
80,00	12,00	1,20	0,00	0,00	0,20	0,03
120,00	12,00	1,20	0,00	0,01	0,19	0,00
100,00	20,00	1,20	0,00	0,00	0,23	0,01
140,00	12,00	1,20	0,00	0,00	0,20	0,00
100,00	10,00	1,20	0,00	0,00	0,16	0,00
120,00	12,00	1,40	0,00	0,03	0,14	0,02
25,00	9,60	-	0,05	0,02	0,02	0,15
120,00	20,00	1,40	0,05	0,02	0,02	0,02
160,00	12,00	1,40	0,00	0,00	0,12	0,02
160,00	20,00	1,40	0,00	0,02	0,12	0,02
180,00	12,00	1,60	0,05	0,02	0,05	0,03
180,00	30,00	1,60	0,05	0,02	0,11	0,08