

Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Pró-Reitoria para Assuntos do Interior - PRAI

Centro de Ciências e Tecnologia - CCT

Departamento de Engenharia Civil - DEC

Área de Recursos Hídricos - ARH

Relatório de estágio supervisionado

Sistema de apoio à decisão em operação de reservatórios

Por

Eduardo Jorge Diógenes de Lima - 9011233-3

Supervisor

Carlos de O. Galvão, DEC/CCT/UFPB

Coordenador

Ricardo Correia Lima, DEC/CCT/UFPB

Campina Grande - Paraíba

Janeiro/1995



Biblioteca Setorial do CDSA. Agosto de 2021.

Sumé - PB

## Agradecimentos

Primeiramente à Deus, presente em todos os momentos, conduzindo-me pelos melhores caminhos.

Aos meus pais e irmãos e demais familiares que desde o primeiro momento desta caminhada me deram força para que superasse todos os obstáculos.

Aos professores, amigos pelo companherismo e incentivo durante o estágio.

## Apresentação

Este relatório diz respeito ao estágio supervisionado realizado por EDUARDO JORGE DIÓGENES DE LIMA, matriculado no Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - Campus II, sob o número de matrícula 90.11233-3, realizado no Laboratório de Hidráulica da Área de Engenharia de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil, sob regime semanal de 20 horas, tendo como supervisor o Professor CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO e como Coordenador o Professor RICARDO CORREIA LIMA.

As atividades realizadas durante o estágio compreenderam o período de 04 de outubro de 1994 a 23 de janeiro de 1995, perfazendo um total de 280 horas.

## ÍNDICE

	páginas
Agradecimentos.....	i
Apresentação.....	ii
1 - Introdução.....	05
2 - Levantamento de acudes no Estado da Paraíba.....	09
2.1 - Curvas cota x área e volume.....	11
2.2 - Precipitação e vazão afluente.....	12
2.3 - Curvas de garantia dos açudes.....	13
2.4 - Características de uso de cada açude.....	14
3 - Análise da precipitação e da vazão para o acude Epitácio Pessoa (Boqueirão).....	23
4 - Estudo de caso: açude Gramame/Mamuaba.....	25
5 - Bibliografia.....	34
5 - Anexo 1 - Curvas de cota x área e cota x volume	
6 - Anexo 2 - Curvas de garantia	
7 - Anexo 3 - Histograma para três anos distintos	
8 - Anexo 4 - Gráficos com média e desvio padrão	
9 - Anexo 5 - Programa reserv1.c	

## 1 - Introdução

O aumento das demandas de água nos últimos anos, seja para uso doméstico das populações urbanas, usos industriais, de irrigação, ou diluição de poluentes, não tem sido acompanhado do aumento da oferta de água pelo aproveitamento de novos mananciais ou ampliação dos já existentes. Este fato, associado muitas vezes a problemas de natureza climática, como a irregularidade de chuvas, tem gerado escassez e provocado medidas emergenciais de redução na distribuição aos consumidores. Este desequilíbrio entre oferta e demanda na área dos recursos hídricos, tem imposto a necessidade de soluções cada vez mais elaboradas (Braga, 1987).

No caso do semi-árido brasileiro, a má distribuição anual das chuvas, aliada a temperatura e evaporação elevadas, ocasiona diversos problemas de ordem sócio-econômica. Nestas circunstâncias, de recursos hídricos escassos, o manejo dos mananciais precisa receber atenção especial (Rabbani, 1994).

O Estado da Paraíba conta com diversos açudes que propiciam o armazenamento da água na estação chuvosa de forma a suprir as demandas ao longo de todo ano. Neste Estado, cuja distribuição de chuvas é muito concentrada em alguns meses do ano, com alta variabilidade tanto espacial quanto de um ano para o outro, o manejo apropriado dos açudes assume importância fundamental para o abastecimento humano e também para a agropecuária. Examinado a

questão sob outro aspecto, a definição e implementação de uma política de Recursos Hídricos requerem que a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas do Estado seja conhecida. Para isto torna-se necessário instalar equipamentos que possibilitem a medição de variáveis hidrológicas tais como precipitação, evaporação, vazão afluente e volume armazenado nos açudes. Além destas variáveis, as demandas de água para os diversos usos (irrigação, abastecimento, piscicultura, geração de energia e outras) devem ser determinadas. Com base no levantamento destes dados, modelos hidrológicos podem ser aplicados tanto às bacias hidrográficas de interesse do Estado como aos açudes de forma a se determinar o potencial de aproveitamento e disponibilidade hídrica dos mananciais.

No processo de escolha da alternativa ótima (ou conjunto ótimo de regras), ao longo dos anos, várias técnicas foram desenvolvidas, sendo as mais conhecidas: a programação dinâmica e a simulação. Essas técnicas podem ser utilizadas na operação de um reservatório.

Neste estudo, utilizamos a programação dinâmica que é um dos métodos mais usados no planejamento de sistemas de reservatórios de água.

Em muitas situações, o problema de otimização em recursos hídricos é dado por uma sequência de decisões que envolvem no tempo e no espaço (Braga, 1987).

Entende-se por sistema dinâmico qualquer sistema que evolua portanto tanto no tempo como no espaço.

A idéia básica de programação dinâmica é subdividir o problema inicial em um conjunto de problemas mais simples ao invés de tentar resolver o problema complexo de uma vez. Cada problema simples é membro de uma classe de problemas similares e não um problema isolado para o estágio inicial e estado inicial. Portanto, o enfoque é encaixar o problema inicial em uma família de problemas similares. A utilidade desse enfoque dependerá da viabilidade de se encontrar um encaixe tal que: 1) pelo menos um membro da família tenha uma solução simples; e 2) seja possível estabelecer relações funcionais entre os vários membros da família (Braga, 1987).

Um aspecto fundamental com relação ao estabelecimento da metodologia de avaliação das disponibilidades hídricas dos reservatórios diz respeito à existência ou não das curvas de caracterização das capacidades acumuláveis dos açudes (curvas cota x área e volume). Conforme os levantamentos feitos (UFPB/Atecel, 1994), no Estado da Paraíba, a quase totalidade dos açudes que dispõem das referidas curvas são aqueles construídos pelos órgãos públicos, especificamente DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e Secretarias do Governo do Estado. Estes reservatórios são de médio e grande porte, com capacidades de acumulação que variam de alguns milhões a dezenas ou centenas de milhões de metros cúbicos.



Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa que tem como objetivo desenvolver um sistema para auxílio à decisão (SAD) sobre o controle de operação de reservatórios de acumulação de água para usos múltiplos. Este SAD simulará a operação de vários reservatórios simultaneamente a partir das regras de operação do sistema de reservatórios estabelecidas pelo usuário. A partir das informações de previsão meteorológica de curto, médio e longos prazos, o SAD estimará a vazão afluyente aos reservatórios. Estas estimativas, ao lado de dados monitorados sobre os reservatórios, comporão o cenário para a decisão sobre a estratégia de operação. O SAD será de fácil operação para permitir o uso imediato por engenheiros e administradores de serviços de abastecimento de água. Atualmente, existem dois órgãos no estado da Paraíba interessados no SAD, a CAGEPA e o LMRS.

De acordo com o plano de trabalho proposto para o estágio supervisionado, o trabalho se constitui na coleta e sistematização de informações hidrometeorológicas sobre a Paraíba, para a formação do banco de dados do projeto, assim como dos dados referentes ao sistema de reservatórios (informações sobre as características físicas e de uso de cada reservatório, além da demanda prevista para cada uso específico) que será utilizado como estudo de caso.

O estagiário participou, como ouvinte, em outubro/94 de um curso de pós-graduação, ministrado pelo professor Carlos de O. Galvão denominado de Operação de Reservatórios. Este curso teve uma

importância muito grande para o estudo, pois introduziu os conceitos de programação dinâmica aplicada a operação de reservatório em situação de escassez.

No período de 14 à 17 de setembro de 1994 foi feita uma viagem para visitar alguns reservatórios, (açude Saco, açude Canoas, açude Engenheiro Arcoverde e açude Coremas/Mãe D'água). Esta viagem teve como objetivo coletar alguns dados necessários para o estudo afim de se fazer, entre muitos reservatórios, a escolha de cinco que fossem mais relevantes.

## **2 - Levantamento de açudes no Estado da Paraíba**

Para facilitar a utilização do Sistema para apoio à decisão (SAD) é preciso várias informações sobre os reservatórios da Paraíba como: capacidade, volume morto, curva cota-área-volume e séries históricas de vazões afluentes ao reservatório. Um estudo realizado pela Área de Recursos Hídricos da (UFPB/ATECEL, 1994) sistematizou dados de mais de 50 grandes açudes da Paraíba (Tabela 1), além dos açudes de médio e pequeno porte. Este estudo está embasando a implementação do monitoramento dos açudes, sob a coordenação do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS-PB, com o intuito de fornecer informações aos tomadores de decisão no nível do governo estadual sobre a disponibilidade atual dos reservatórios e um prognóstico sobre a situação futura do volume armazenado destes.

Tabela 1 - Açudes estudados pela UFPB/ATECEL.

AÇUDE	BACIA HIDROGRÁFICA	CAPACIDADE	ORGÃO
Camalau	Baixo Paraíba	46,4	ESTADO
Congo	Baixo Paraíba	6,7	DNOCS
Riacho Sto Antonio	Baixo Paraíba	6,8	DNOCS
Padre Azevedo	Baixo Paraíba		ESTADO
São Salvador	Baixo Paraíba	12,6	ESTADO
Jeremias	Taperoá	5,2	ESTADO
Lagoa do Meio	Taperoa	6,6	DNOCS
Cacimba de Várzea	Curimatau	9,2	ESTADO
Canafstula II	Curimatau	1,1	ESTADO
Boqueirão do Cais	Jacu	12,3	ESTADO
Poleiros	Jacu	8,0	ESTADO
Direito	Mamanguape		ESTADO
Dona Inês	Mamanguape		ESTADO
TauÁ	Mamanguape	8,5	ESTADO
Vaca Brava I	Mamanguape	3,5	ESTADO
São Francisco	Espinharas	7,5	ESTADO
Cochos	Piancó	3,5	DNOCS
Frutuoso II	Piancó	3,5	ESTADO
Jatobá II	Piancó	4,5	DNOCS
Queimadas	Piancó	15,6	ESTADO
Videl	Seridó	6,0	ESTADO
Caraibeiras	Seridó	2,7	ESTADO
Martelo	Seridó	4,6	ESTADO
Santa Luzia	Seridó	11,9	DNOCS
São Mamede	Seridó	15,7	DNOCS
Tamanduá	Seridó	1,2	ESTADO
Campos	Alto Paraíba	6,6	ESTADO
Cordeiro	Alto Paraíba	69,6	ESTADO
Poções	Alto Paraíba	29,8	DNOCS
Santo Antonio	Alto Paraíba	24,0	ESTADO
Sumé	Alto Paraíba	36,8	DNOCS
Epitácio Pessoa	Médio Paraíba	536,0	DNOCS
Serra Branca I	Taperoá	2,1	DNOCS
Serra Branca II	Taperoá	14,0	ESTADO
Taperoá II	Taperoá	15,0	ESTADO
Bartolomeu I	Alto Piranhas	17,0	ESTADO
Carneiro	Médio Piranhas	31,2	ESTADO
Escondido I	Médio Piranhas	16,5	DNOCS
Riacho dos Cavalos	Médio Piranhas	17,7	DNOCS
Tapera	Medio Piranhas	26,4	ESTADO
Capoeira	Espinharas	53,3	ESTADO
Farinha	Espinharas	25,7	ESTADO
Jatobá I	Espinharas	17,5	DNOCS
Lagoa do Arroz	Peixe	80,2	DNOCS
Pilões	Peixe	13,0	DNOCS
Coremas/Mãe Dagua	Piancó	1358,7	DNOCS
Santa Inês	Piancó	26,1	DNOCS
Timbauba	Piancó	15,4	ESTADO
Vazantes	Piancó	12,0	ESTADO
Curimatau	Curimatau	5,9	DNOCS
Engenheiro Ávidos	Alto Piranhas	255,0	DNOCS
São Goncalo	Alto Piranhas	45,0	DNOCS
Engenheiro Arcoverde	Médio Piranhas	36,8	DNOCS
Gramame	Gramame	57,0	DNOCS
Saco	Piancó	98,0	ESTADO

Para o presente trabalho foram levantados dados de cinco grandes açudes da Paraíba, escolhidos como os mais relevantes para o estudo, quer pela sua posição geográfica e/ou pela sua importância no abastecimento urbano, irrigação e usos industriais. Os açudes utilizados foram os seguintes:

- \_ Açude Epitácio Pessoa em Boqueirão
- \_ Açude do Saco em Nova Olinda
- \_ Açude Curemas-Mãe D'água em Coremas
- \_ Açude Gramame-Mamuaba em João Pessoa
- \_ Açude Engenheiro Ávidos em Cajazeiras

## 2.1 - Curvas cota x área e volume

As curvas cota x área e volume dos reservatórios, cujos dados servem de base para o cálculo dos volumes disponível, precipitado sobre o espelho d'água e evaporado, em um dado mês, foram obtidas através dos órgãos públicos estaduais e do DNOCS. A Área de Recursos Hídricos da UFPB (UFPB/ATECEL, 1994) em convênio com o Governo do Estado fez uma minuciosa checagem nos dados destas curvas para verificação de algumas incoerências. Neste trabalho foram coletados os dados referentes à cota, à área e ao volume dos cinco açudes citados anteriormente. Foi feita uma nova checagem e com os dados construiu-se novas curvas cota x volume e cota x área (Anexo 1).

## 2.2 - Precipitação e vazão afluente

Os volumes de água precipitados diretamente sobre os reservatórios são calculados através dos produtos entre as precipitações médias mensais e as áreas dos espelhos d'água dos açudes. Os dados de precipitações médias e de vazões médias para um período de 21 anos (1963 a 1983) foram utilizados neste trabalho.

Para efeito da determinação das vazões afluentes aos reservatórios multiplica-se a lâmina escoada pela área da bacia hidrográfica que contribui para o açude. As áreas usadas, para cada açude considerado no estudo das vazões afluentes, estão apresentadas abaixo.

### Áreas totais das bacias hidrográficas em Km<sup>2</sup>

Açude Engenheiro Ávidos => 1011,00 Km<sup>2</sup>

Açude Coremas-Mãe D'água => 8377,5 Km<sup>2</sup>

Açude Saco => 761,65 Km<sup>2</sup>

Açude Epitácio Pessoa => 12380,00 Km<sup>2</sup>

Açude Gramame-Mamuaba => 230,30 Km<sup>2</sup>

### 2.3 - Curvas de Garantia dos açudes

Na tabela 2 encontram-se, para cada um dos açudes estudados, o volume máximo e as vazões regularizáveis, para os níveis de garantia de 80% e 90%, que dão uma ordem de grandeza das descargas permanentes que poderiam ser retiradas dos reservatórios com as duas garantias citadas (UFPB/ATECEL, 1994). Os valores das vazões regularizáveis para outros níveis de garantia podem ser obtidos a partir das curvas de garantia mensal de cada um dos 5 açudes apresentados (Anexo 2).

É importante ressaltar que os valores extraídos destas curvas indicam as vazões médias uniformes, regularizáveis, com certos níveis de garantia, que podem ser retiradas dos reservatórios para determinados fins. A utilização destes dados com vistas ao planejamento do uso da água dependerá do emprego que se pretenda dar a esse recurso. Em termos de uso para abastecimento urbano deve ser levado em consideração o aproveitamento de uma determinada vazão uniforme regularizada, com um determinado nível de garantia, no decorrer do tempo. Caso se trate do uso da água para irrigação, deve-se levar em consideração um modelo de exploração hidro-agrícola que melhor aproveite estes recursos hídricos superficiais ao longo do tempo. As curvas de garantia são importantes para a definição dos níveis de racionamento.

Tabela 2 - Açudes simulados, respectivos volumes máximos e vazões com 80% e 90% de garantia mensal.

Açudes	VOLUME MÁXIMO (m <sup>3</sup> )	VAZÃO COM GARANTIA MENSAL DE: (m <sup>3</sup> /s)	
		80%	90%
Eng. Ávidos	255.000.000	2,53	2,04
Cur./Mãe D'Ág.	1.358.700.000	17,00	13,00
Saco	98.000.000	1,30	1,00
Epitácio Pessoa	536.000.000	3,90	2,80
Gramame-Mamuaba	56.937.000	3,00	2,60

As curvas de garantia para os açudes estudados neste trabalho estão no Anexo 2.

#### 2.4 - Características de usos de cada açude

##### \_ Açude Saco

O açude Saco, situa-se no município de Nova Olinda na micro-região do Vale do Piancó. Tem uma capacidade máxima de acumulação de 98 milhões de m<sup>3</sup> e possui uma vazão de regularização mensal, segundo estudos hidrológicos da SIRAC (1989), de 1,0 m<sup>3</sup>/s. O açude foi projetado com o objetivo primordial de contenção de cheias no

vale do Rio Gravatá e para atender o abastecimento urbano, piscicultura e principalmente a irrigação (Gomes, 1994).

A demanda prevista para a irrigação é de cerca de 0,5 m<sup>3</sup>/s em média. Estamos, atualmente, tentando obter os valores da vazão mês a mês com o Programa de Apoio ao Pequeno Produtor - PAPP/PB. Estes valores serão de grande importância para o estudo, pois a vazão média para irrigação não é representativa, já que ela varia muito mês a mês, tornando-se muito dispersa e, conseqüentemente, com um alto desvio padrão. Esta variabilidade, torna-se clara se você pensar que, a demanda para irrigação está relacionado com o regime pluvial e também com o tipo de cultura.

A demanda para o abastecimento humano das cidades de Nova Olinda e Pedra Branca é de 356.000 m<sup>3</sup>/ano (UFPB/ATECEL, 1994), sendo de 226.000 m<sup>3</sup>/ano para Nova Olinda e de 130.000 m<sup>3</sup>/ano para Pedra Branca.

A demanda para a pecuária é de 140.000 m<sup>3</sup>/ano (UFPB/ATECEL, 1994). Quanto aos níveis de racionamento, ainda não há estabelecimento por parte dos usuários e administradores do açude.

O açude Saco, em Nova Olinda apresenta uma estrutura com nova tecnologia que é o concreto compactado à Rolo (Concreto Rolado).  
Foto 1.



Visitou-se, também, o sangradouro do mesmo, que é feita de parede em zig-zag (bico de pato). O material utilizado na construção foi o concreto convencional. Foto 2.

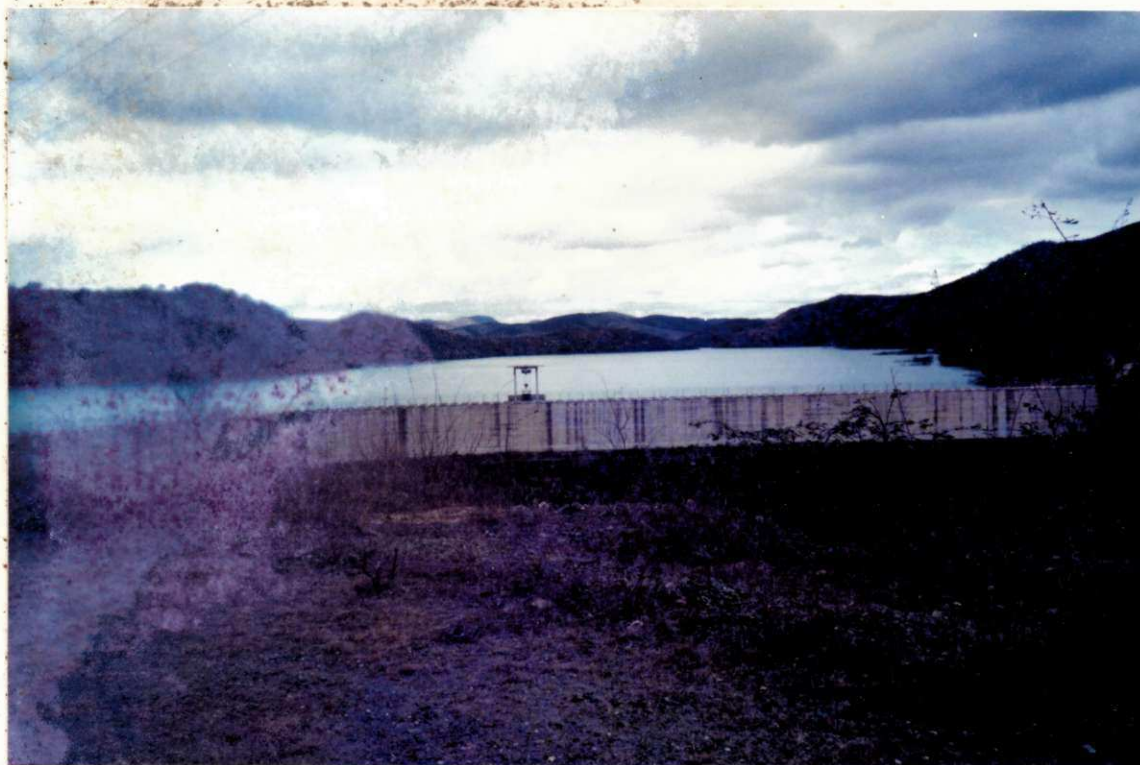


Foto 1

Em seguida, visitou-se a Barragem de Canoas, no município de Nova Olinda, localizado próximo a Barragem do Saco. A barragem é feita de terra e atualmente encontra-se com sua construção paralisada.

Visitou-se um perímetro de irrigação chamado de Gravatá. O Projeto Gravatá faz parte de um dos subprojetos de irrigação do projeto COOPERAR (PAPP-PB), localizado no oeste da Paraíba, no vale do Rio Gravatá (afluente do Rio Piancó), pertencente aos municípios de Nova Olinda e Pedra Branca. Trata-se de um projeto de irrigação pública, de 851,6 hectares (área líquida), dos quais, 60 % serão irrigados por sulcos, 28% por inundação e 12% por aspersão. Atualmente, em torno de 100 ha se encontram implantados e 140 em fase final de implantação. O canal adutor do referido projeto atende aproximadamente 340 ha (40% do total a ser irrigado). Atualmente, o canal adutor está sendo ampliado. foto 3.

O projeto se abastece hoje da Barragem Saco, havendo também a previsão de que o fornecimento d'água ao perímetro seja complementado pela Barragem Canoas, quando da conclusão da mesma.

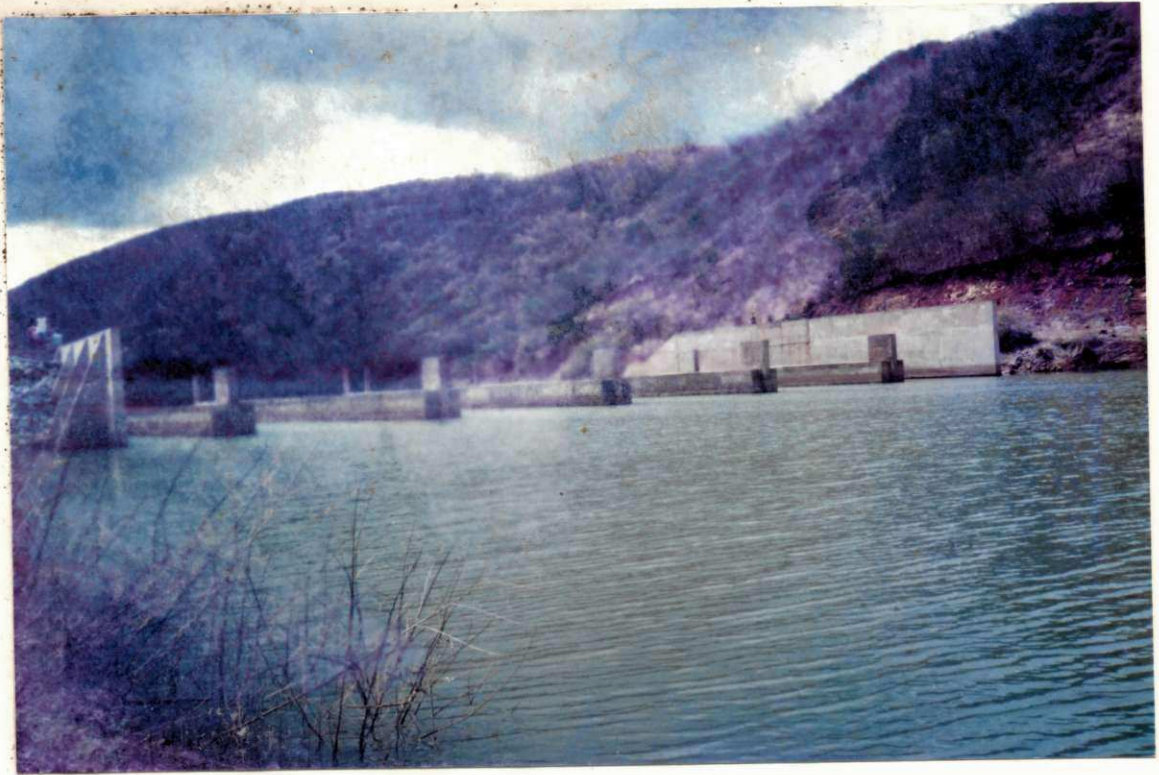


Foto 2



Foto 3

## \_ Açude Engenheiro Ávidos

O açude Engenheiro Ávidos localiza-se no denominado "boqueirão de Piranhas", um lugar de menor resistência onde passa o Rio Piranhas em seu curso para o norte. Localiza-se no município de Cajazeiras e barra o rio Piranhas. Foi construído pelo DNOCS e tem capacidade máxima de 255 milhões de m<sup>3</sup>. O reservatório é responsável pelo abastecimento público da cidade de Cajazeiras e distrito de Engenheiro Ávidos e regularização do rio Piranhas, viabilizando os projetos de irrigação a jusante (Engenheiro Ávidos e Gravatá) e o abastecimento do reservatório São Gonçalo.

O período chuvoso tem início em janeiro estendendo-se até maio, sendo o trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril. O restante do ano a região fica sobre estiagem prolongada, 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 mínimos em torno de 30 mm e máximos entre 150 mm e 200 mm (Ribeiro, 1990).

A CAGEPA é responsável pelo abastecimento das cidades pertencentes a bacia, na qual está inserida o açude. De acordo com a CAGEPA (Demandas de abastecimento atual, 1989) temos os valores das demandas previstas da seguinte maneira:

- 1 - Cajazeiras e distrito Eng. Ávidos => 0,08 m<sup>3</sup>/s
- 2 - Projeto Gravatá e distrito de Nazarezinho => 0,004 m<sup>3</sup>/s
- 3 - Sousa, distritos: de Divinópolis, Marizópolis e São Gonçalo => 0,11 m<sup>3</sup>/s

Os três projetos de irrigação abastecidos pelo reservatório são: Engenheiro Ávidos, Gravatá e São Gonçalo.

Para o Projeto Engenheiro Ávidos, temos os valores da demanda mensal para irrigação do ano de 1989 (m<sup>3</sup>/s).

meses	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
vazão	0,17	0,09	0,06	0,09	0,16	0,08	0,17	0,21	0,21	0,21	0,16	0,09

Para o Projeto Gravatá, temos os valores da demanda mensal para irrigação do ano de 1989 (m<sup>3</sup>/s).

meses	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
vazão	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,01

Para o Projeto São Gonçalo, temos os valores da demanda mensal para irrigação do ano de 1989 (m<sup>3</sup>/s).

meses	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
vazão	1,38	0,95	0,67	0,80	0,47	0,72	1,11	1,67	1,50	1,34	0,95	0,61

## \_ Açude Gramame/Mamuaba

O açude Gramame/Mamuaba localiza-se na região úmida do estado da Paraíba, no município de Alhandra e é gerenciado pela Cagepa (Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba). Sua função principal é reforçar o abastecimento d'água da cidade de João Pessoa, que já contava com o sistema Marés e alguns poços artesianos distribuídos em vários bairros da cidade (Diniz, 1994). Sua capacidade máxima é de cerca de 57 milhões de m<sup>3</sup> e assegura uma vazão de 3,0 m<sup>3</sup>/s com 80% de garantia mensal, conforme a tabela 2, caso seja operada adequadamente.

A operação do sistema teve início em dezembro de 1990 e já é alvo de vários conflitos de uso, seja a montante, seja a jusante das mesmas. A montante a GIASA (Gramame Industrial e Agrícola S.A.) requerendo uma parcela maior de água para viabilizar seus projetos de irrigação e, a jusante, há conflitos no sentido de compatibilizar a vida ecológica do trecho do rio compreendido entre o açude e o Oceano Atlântico com a descarga de esgotos liberada pela Indústria CONPEL instaladas às margens do rio Gramame (Diniz, 1994).

De acordo com o Relatório técnico da CAGEPA (janeiro, 1994), a demanda total prevista para o açude Gramame/Mamuaba é de 2,82 m<sup>3</sup>/s, sendo dividido da seguinte maneira:

- 1 - Estação de Tratamento d'água de Gramame => 1,7 m<sup>3</sup>/s
- 2 - Estação de Tratamento d'água de Marés => 0,57 m<sup>3</sup>/s
- 3 - Regularização do rio Gramame => 0,30 m<sup>3</sup>/s
- 4 - GIASA (incluindo incremento solicitado) => 0,25 m<sup>3</sup>

#### – Açude Epitácio Pessoa

O açude Epitácio Pessoa foi projetado e construído em 1952/1957 com a finalidade do abastecimento humano e animal, regularização de trecho do Rio Paraíba, irrigação, contenção de cheias e turismo. Tem uma capacidade máxima de 536 milhões de m<sup>3</sup>. Atualmente, o açude detém um volume armazenado da ordem de 200 milhões de m<sup>3</sup> (DNOCS, 13/01/95), ou seja, 37,3% do total. Deste volume, 60,88 milhões de m<sup>3</sup> (volume de porão) representa a reserva intangível e 20,56 milhões de m<sup>3</sup> a parcela comprometida pelo assoreamento. Desta forma, resta um volume útil de aproximadamente 118,56 milhões de m<sup>3</sup> (22,1% do total). O açude abastece, entre outras, a cidade de Campina Grande, segunda maior do estado.

A retirada de água do açude atinge, atualmente, 357.000 m<sup>3</sup>/dia (4,13 m<sup>3</sup>/s), incluindo as perdas por evaporação.

A demanda prevista para o abastecimento da cidade de Campina Grande e outros municípios da região através da adutora de Campina Grande é de 0,97 m<sup>3</sup>/s.

A demanda para regularização do rio Paraíba e abastecimento de quatro sistemas situados a jusante do açude é de  $0,745 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A demanda de irrigação a montante do açude é de  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Em caso do sistema entrar em um "nível de alerta", ou seja aquele nível abaixo do qual a demanda total não é mais atendida, satisfazendo apenas uma parte desta, pode-se, neste caso, suprimir a regularização do rio. A retirada do açude cairia para  $392.632 \text{ m}^3/\text{dia}$  ( $3,38 \text{ m}^3/\text{s}$ ), desconsiderando-se qualquer afluência hídrica ao açude.

### 3 - Análise da precipitação e da vazão para o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)

A análise da precipitação e da vazão é necessário para saber como elas se comportam em cada mês, durante um certo período de tempo.

Foi escolhido, dentre os 5 açudes, o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), pois é um grande reservatório que abastece, entre outras, a cidade de Campina Grande, pereniza o rio Paraíba, é uma fonte de turismo, além de abastecer as populações ribeirinhas.



Dentre os 21 anos (1963-1983) que dispomos de dados, escolheu-se três anos com características distintas:

- \_ Ano bom (1974) - precipitações e vazões acima da média
- \_ Ano regular (1972) - precipitações e vazões normais
- \_ Ano ruim (1983) - precipitações e vazões abaixo da média

Através da planilha, fez-se histogramas (precipitação x tempo e vazão x tempo), comparando os três anos distintos (Anexo 3).

Para cada mês (janeiro a dezembro) foi calculado a média e o desvio padrão dos 21 anos de dados. Com os dados de cada mês, montamos o gráfico da variação da precipitação e da vazão durante os 21 anos. No gráfico, colocamos a média, média + desvio padrão e média - desvio padrão (Anexo 4). Com isto, temos condições de analisar se as precipitações e as vazões estão dentro da média e também analisar a variação ano a ano.

O resultado da análise mostra, que o estudo hidrológico nesta região é bastante complicado, devido ao fato de as variáveis hidrológicas (vazão e precipitação) apresentarem uma variabilidade muito grande de um mês para outro e também de um ano para outro. Como exemplo, podemos citar que a vazão mensal de fevereiro, no período de 1967 a 1973 foi zero e em 1981 foi de 192 m<sup>3</sup>/s, uma diferença muito grande, considerando ser dados de um mesmo mês (ver Anexo 4). Como alguns dados são bem dispersos, tem-se um gráfico

com valores afastados da média, dando um desvio padrão alto. Pela análise do histograma de três anos distintos (Anexo 3), verifica-se, também, que o regime pluvial é concentrado e irregular. É concentrado porque as chuvas se concentram, em sua maior intensidade, no período de fevereiro a julho, enquanto que o período de agosto a janeiro é quase de escassez, chegando a ter em alguns meses de determinados anos, a precipitação zero. É irregular porque a intensidade de chuvas de um ano para o outro varia muito.

#### **4 - Estudo de Caso - açude Gramame/Mamuaba**

Utilizou-se para o estudo um programa, denominado reserv1.c (Anexo 5), desenvolvido pela bolsista de Iniciação Científica (Rabbani, 1994), em linguagem C, que opera um reservatório, segundo um esquema de programação dinâmica regressiva. Programação dinâmica regressiva é o método de solução de programação dinâmica em que o último estágio é resolvido e as relações funcionais (ou de recorrência) são utilizadas para a determinação da solução do fim para o início do processo. No nosso caso, o problema é resolvido do último mês (dezembro) até o primeiro mês (janeiro) em um horizonte de um ano.

\_ A decisão de racionar hoje vai depender de quanto espera-se ter armazenado nos próximos intervalos de operação, ou seja, a decisão de hoje depende da previsão de vazão.

\_ A decisão ótima é de minimizar a escassez.

\_ A abordagem da programação dinâmica é multi-estágio e regressiva: a decisão ótima de hoje deve levar à situação ótima do próximo intervalo, e assim por diante.

\_ No caso dos reservatórios, supondo o horizonte de um ano (janeiro a dezembro), inicia-se o processo em dezembro:

1 - Discretiza-se o volume armazenável em vários "estados" (quanto mais estados melhor);

2 - Discretiza-se a liberação em vários níveis para atendimento à demanda (seriam os níveis de racionamento/atendimento);

3 - Para cada estado (volume), calcula-se a escassez para cada um dos níveis de liberação;

4 - O valor ótimo da liberação para o estado será o da mínima escassez.

\_ Nos intervalos de computação subsequentes:

1 - Para cada estado, calcula-se a escassez para cada um dos níveis de liberação;

2 - A escassez, neste intervalo, é a escassez dele mais a escassez do próximo intervalo para a sua situação ótima (já calculada anteriormente);

3 - O estado do reservatório do próximo intervalo a ser considerado é o final do intervalo atual;

4 - O valor ótimo da liberação para o estado será o da mínima

escassez.

Assim, garante-se que o percurso seguido na operação durante o horizonte é sempre ótimo.

Antes da utilização do programa foi feito um período de treinamento da linguagem C para poder testar o modelo desenvolvido a um caso real (açude Gramame/Mamuaba), bem como fazer algumas melhorias e adaptações para serem utilizados em outros reservatórios.

O estudo objetivou estabelecer a regra de operação para 1 ano, de janeiro a dezembro, de um reservatório utilizando programação dinâmica. A regra de operação, consiste na liberação que deve ser feita de acordo com o estado do reservatório de modo que provoque a mínima escassez no período de operação.

Para o funcionamento do programa, precisamos de alguns arquivos, contendo dados essenciais:

**1 - Arquivo geral (geralm.dat)**

Os dados se encontram na seguinte ordem:

a) número de anos de dados;

b) número de camadas da curva cota-volume;

c) volume armazenado mínimo no reservatório (milhões de  $m^3$ ) dividido pela discretização do armazenamento (em milhões de  $m^3$ ). Este valor corresponde ao volume útil, que na maioria das vezes é o volume morto.

d) volume armazenado máximo no reservatório (milhões de  $m^3$ ) dividido pela discretização do armazenamento (em milhões de  $m^3$ );

e) discretização do armazenamento, por exemplo  $0.3e+6$  ( $300.000 m^3$ );

f) fator unidade da curva, por exemplo  $1.0e+3$  ( $1.000 m^3$ );

g) número de níveis de liberação ou racionamento desejado, no máximo de 10;

h) tipo da função objetivo, que pode ser:

$$1 \Rightarrow (dr_{m\acute{a}x} - da)$$

$$2 \Rightarrow (dr_{m\acute{a}x} - da)^2$$

$$3 \Rightarrow (dr_{m\acute{a}x} - da)/dr_{m\acute{a}x}$$

onde o  $dr_{m\acute{a}x}$  é a demanda requerida e  $da$  a demanda atendida;

i) níveis de liberação ou racionamento, por exemplo  $1.0e+6$

Para o caso do açude Gramame/Mamuaba utilizamos os seguintes dados:

1  
19  
1  
190  
0.3e+6  
1.0e+3  
5  
1  
4.4064e+6 4.8211+6 5.5987e+6 7.0761e+6 7.3034e+6

## 2 - Arquivo de evaporação (evaporac.dat)

Os dados abaixo equivalem à evaporação média mensal em mm durante um ano, de janeiro a dezembro da Estação Marés - João Pessoa.

150 132 150 130 117 108 116 123 137 157 155 149

3 - Arquivo dos valores da curva cota x volume  
(cotavol1.dat)

A primeira linha do arquivo se refere aos dados da cota em m e na outras linhas, encontram-se os valores correspondentes do volume em milhares de m<sup>3</sup>.

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	2	85	299	722	1442	2537	4048	6122	8945	11964								
15454	19721	23305	28646	34651	41238	48492	56937											

4 - Arquivo de vazão (vazão2.dat)

Os dados de vazão (m<sup>3</sup>/s) são referentes ao período de 1963 a 1983.

.221	.961	3.259	6.290	9.957	14.037	18.270	22.390	26.375	30.274	34.158	37.779
1.807	4.540	7.388	9.165	9.014	8.700	8.447	8.231	8.168	8.255	8.165	8.280
2.433	2.600	2.278	5.071	4.381	6.537	4.367	3.818	3.535	2.560	2.129	2.068
2.295	3.011	2.441	2.914	4.379	5.603	7.595	4.739	4.390	3.097	2.782	2.093
1.751	3.407	5.409	5.086	4.161	5.783	4.172	3.710	2.977	2.465	1.955	1.522
2.330	2.375	3.621	3.303	3.091	2.850	2.901	2.475	2.368	1.752	1.486	1.274
1.666	1.756	1.898	2.127	2.999	4.176	6.194	4.240	3.761	2.877	2.324	1.793
1.709	1.909	2.241	4.478	3.020	3.200	3.605	4.390	2.948	2.049	1.573	1.081
1.326	1.267	1.819	3.476	7.197	4.753	4.822	4.119	3.891	3.621	3.161	2.548
2.300	2.542	2.243	4.026	5.452	5.441	3.988	4.085	3.822	2.947	2.594	2.548
2.118	3.046	2.811	3.188	3.328	5.202	6.428	4.519	4.023	3.600	3.006	2.406
2.856	4.363	6.257	7.522	5.864	4.921	4.541	4.121	4.373	3.165	2.735	2.409
2.234	2.330	2.760	2.982	6.061	7.362	11.670	6.639	5.192	4.118	3.274	2.741
2.467	3.632	7.879	4.426	5.613	4.139	6.709	3.874	3.028	2.670	2.300	2.324
2.195	2.252	2.152	5.076	4.129	7.174	6.934	4.435	3.454	2.623	2.162	1.704
1.551	2.099	2.907	3.209	3.409	3.179	5.747	3.667	3.453	2.567	2.287	1.969
1.626	1.783	1.731	1.927	2.298	3.440	2.792	2.476	2.726	2.024	1.785	1.342
1.555	2.802	2.970	3.589	3.160	5.302	3.728	3.055	2.680	2.300	2.033	1.901
1.785	2.373	6.801	3.974	3.970	3.761	3.308	2.612	2.512	1.782	1.580	1.821
1.522	2.307	2.018	2.374	3.590	5.310	4.112	3.596	3.452	2.484	1.956	1.397
1.372	2.142	2.522	2.279	2.831	2.857	2.904	2.909	2.318	1.959	1.560	1.225

A regra de operação pode ser representada através de uma tabela (ver tabela 3) que dá a liberação para cada mês de acordo com o volume armazenado no início do mês. Neste caso, o volume variou de um mínimo correspondente ao volume morto ( $300.000 \text{ m}^3$ ) a um máximo que correspondeu a máxima capacidade do reservatório ( $57.000.000 \text{ m}^3$ ).

A função objetivo utilizada foi a nº 1, ou seja ( $dr_{\text{máx}} - da$ ).

Os níveis de liberação ou racionamento foram em número de 5, sendo o nível 1 a menor liberação ( $lib[1]$ ) e o nível 5 a maior liberação ( $lib[5]$ ), ou seja a liberação desejada ( $lib[dr_{\text{máx}}]$ ). Os valores precisaram ser convertidos de  $\text{m}^3/\text{s}$  para  $\text{m}^3/\text{mês}$ , multiplicando-os pelo fator 2592000 (número de segundos em um mês).

$$lib[1] = 1,70 \text{ m}^3/\text{s} = 4.4064 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$lib[2] = 1,86 \text{ m}^3/\text{s} = 4.8211 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$lib[3] = 2,16 \text{ m}^3/\text{s} = 5.5987 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$lib[4] = 2,73 \text{ m}^3/\text{s} = 7.0761 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$lib[5] = 2,82 \text{ m}^3/\text{s} = 7.3094 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

A tabela 3 revela que quando o volume requerido é maior que a capacidade do reservatório tem de atendê-lo, a estratégia mais adequada é fazer um racionamento de água. Por exemplo, no mês de fevereiro quando o reservatório estava com um volume armazenado de  $1.500.000 \text{ m}^3$  de água, ao invés de atender a vazão correspondente da



liberação 1 ( $lib[1] = 1,70 \text{ m}^3/\text{s} = 4.4064 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$ ), atendeu-se  $3.259 \times 10^6$ . Para o período entre maio e setembro, a liberação correspondente ao nível 5 ( $lib[5] = 2,82 \text{ m}^3/\text{s} = 7.3094 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$ ) foi toda satisfeita. Isto se justifica, porque as vazões afluentes, durante este período, são as mais altas, aliadas as menores taxas de evaporação. Então, esta tabela é muito importante para o operador do reservatório, pois ele terá condições de decidir sobre quando se deve racionar e quanto se deve liberar de água.



## 5 - Bibliografia

Braga, B.P.F.,(1987) Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: Coleção ABRH de Recursos Hídricos Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos, volume 1, São Paulo, Nobel/ABRH, páginas 427-518.

Diniz, L.S. (1993) Proposta de intervenção no controle operac. da barragem Gramame/Mamuaba. João Pessoa, Cagepa (Relatório Interno).

Diniz, L.S. (1994) Nível de alerta pra o sistema Gramame/Mamuaba e análise sobre o aumento da retirada de água pela GIASA. João Pessoa, Cagepa (Relatório Interno).

Diniz, L.S. (1995) Previsões de alcance da operação do açude Boqueirão. João Pessoa, Cagepa (Relatório Interno).

Gomes, H.P., (1994) Relatório Técnico sobre a situação atual do projeto Gravatá. João Pessoa.

Rabbani, E.R.,(1994) Sistema de apoio à decisão para operação de reservatórios. Relatório final de bolsa de Iniciação Científica Institucional. Campina Grande, UFPB.

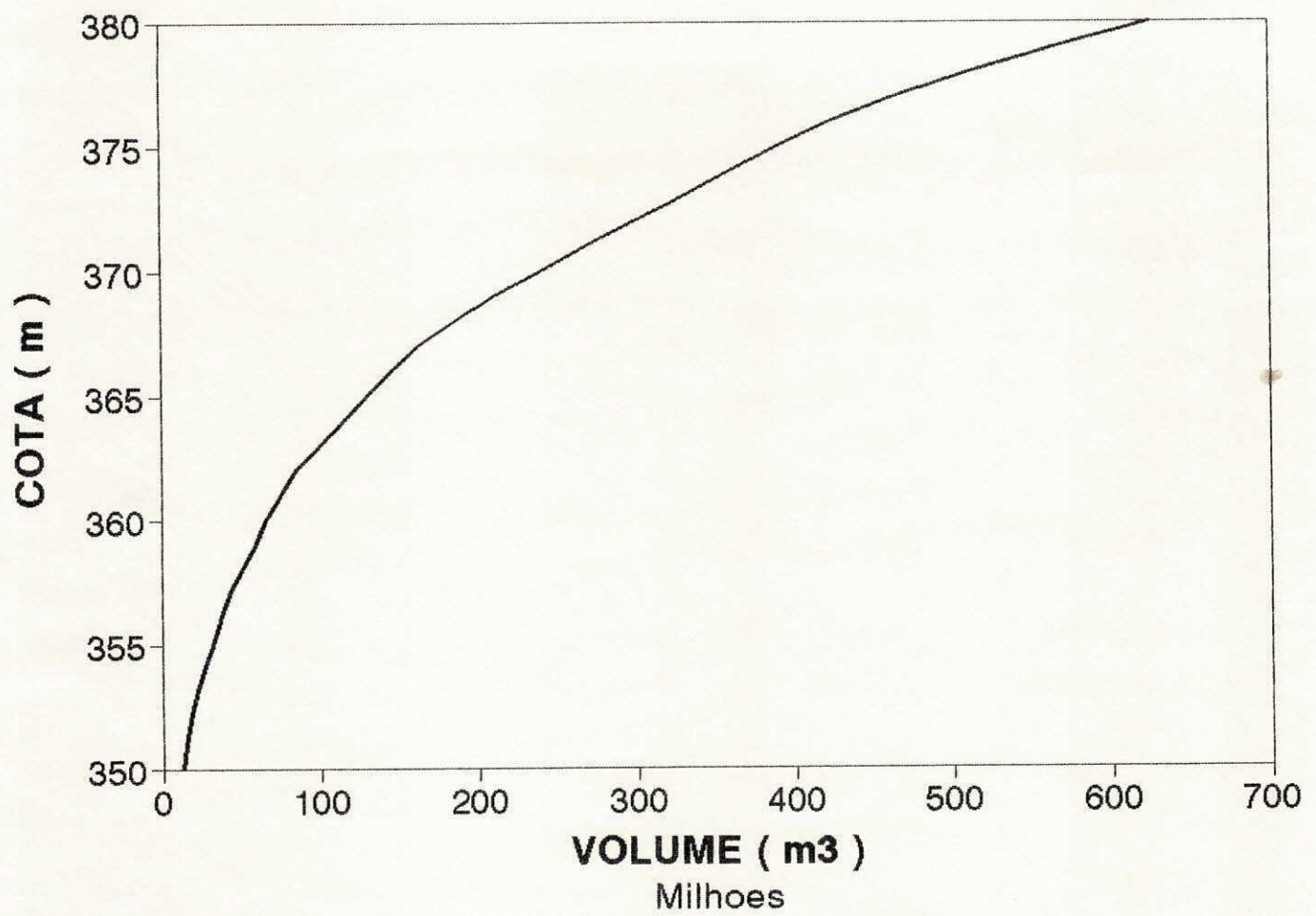
Ribeiro, M.M.R. (1990) Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação. Dissertação de Mestrado. UFPB Centro de Ciências e Tecnologia - Campus II - Campina Grande

SIRAC (1989) Projeto Gravatá. Estudos hidrológicos complementares

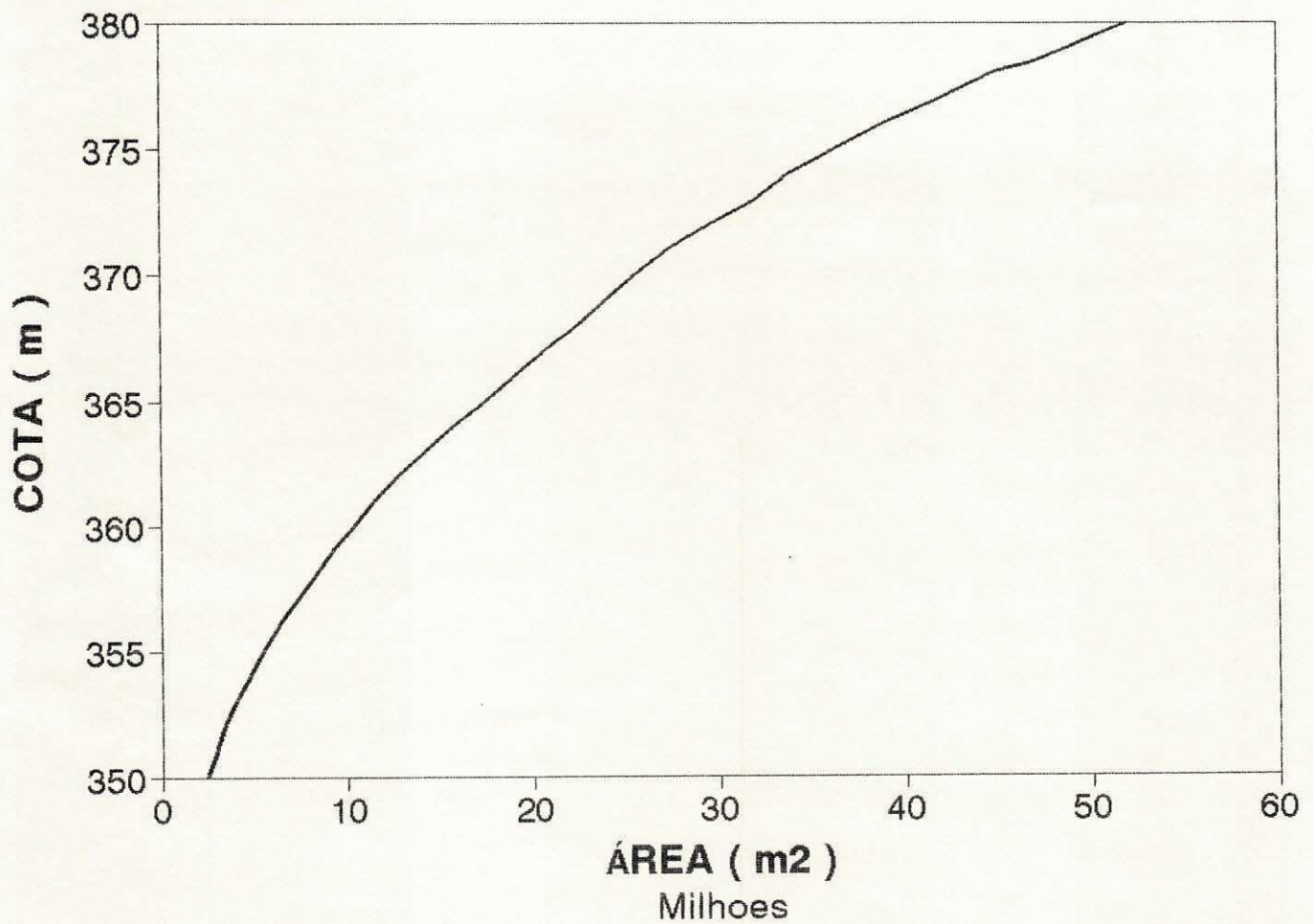
UFPB/ATECEL (1994) Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos; disponibilidades hídricas do Estado da Paraíba. Anexo 5. Campina Grande, SEPLAN/ATECEL.

Anexo 1

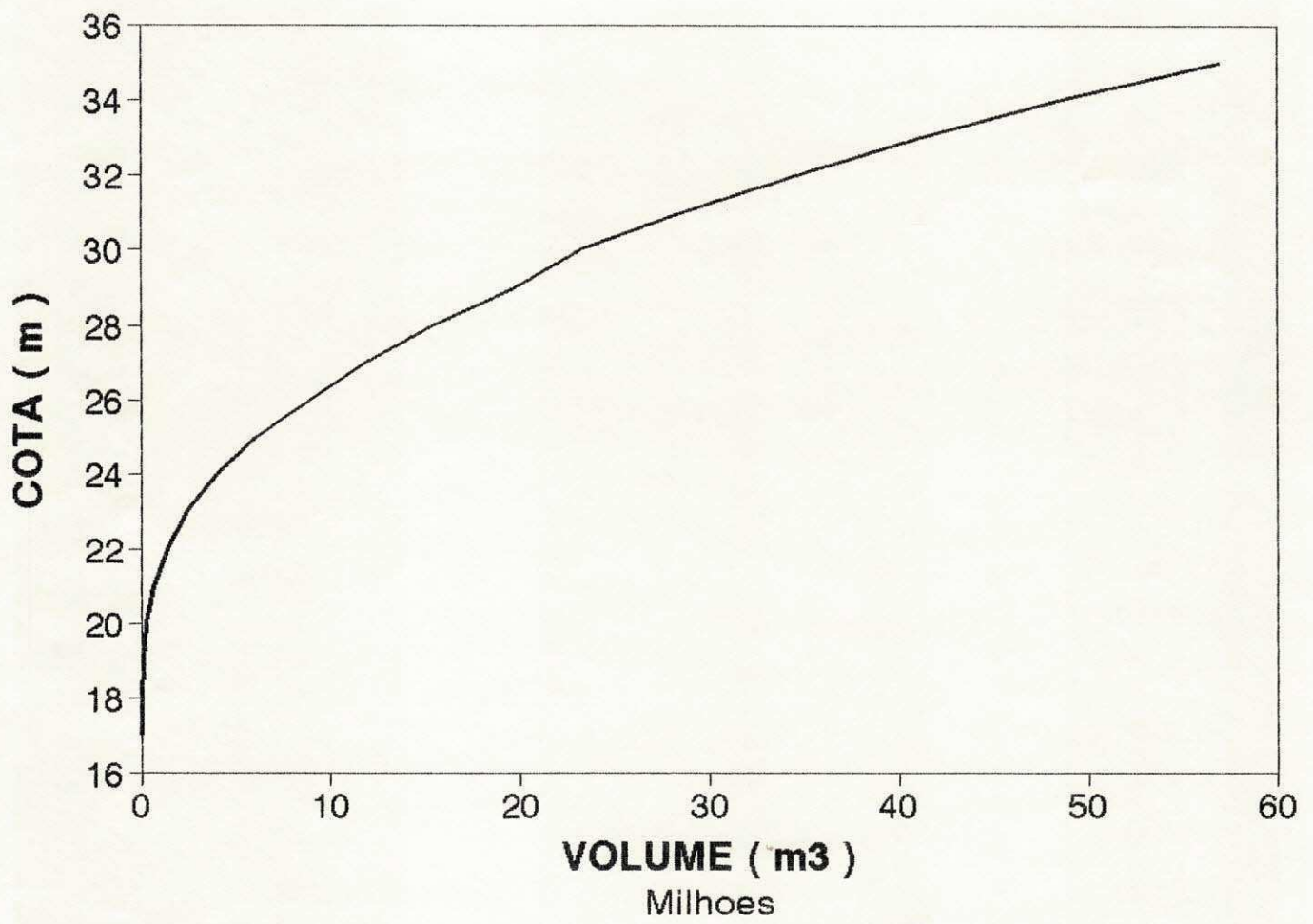
## CURVA COTA x VOLUME AÇUDE EPITÁCIO PESSOA - BOQUEIRÃO



## CURVA COTA x ÁREA AÇUDE EPITÁCIO PESSOA - BOQUEIRÃO

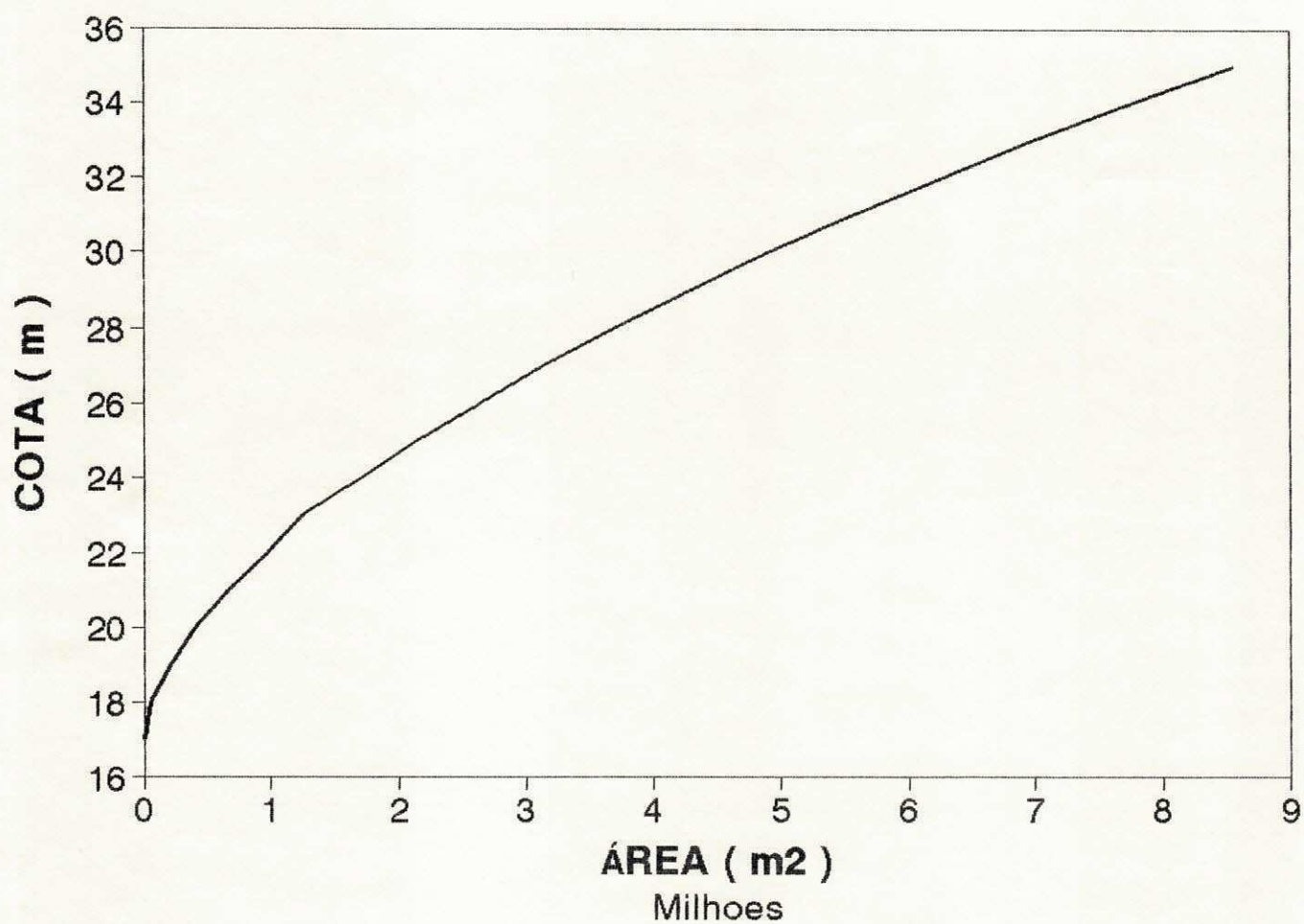


### CURVA COTA x VOLUME AÇUDE GRAMAME-MAMUABA

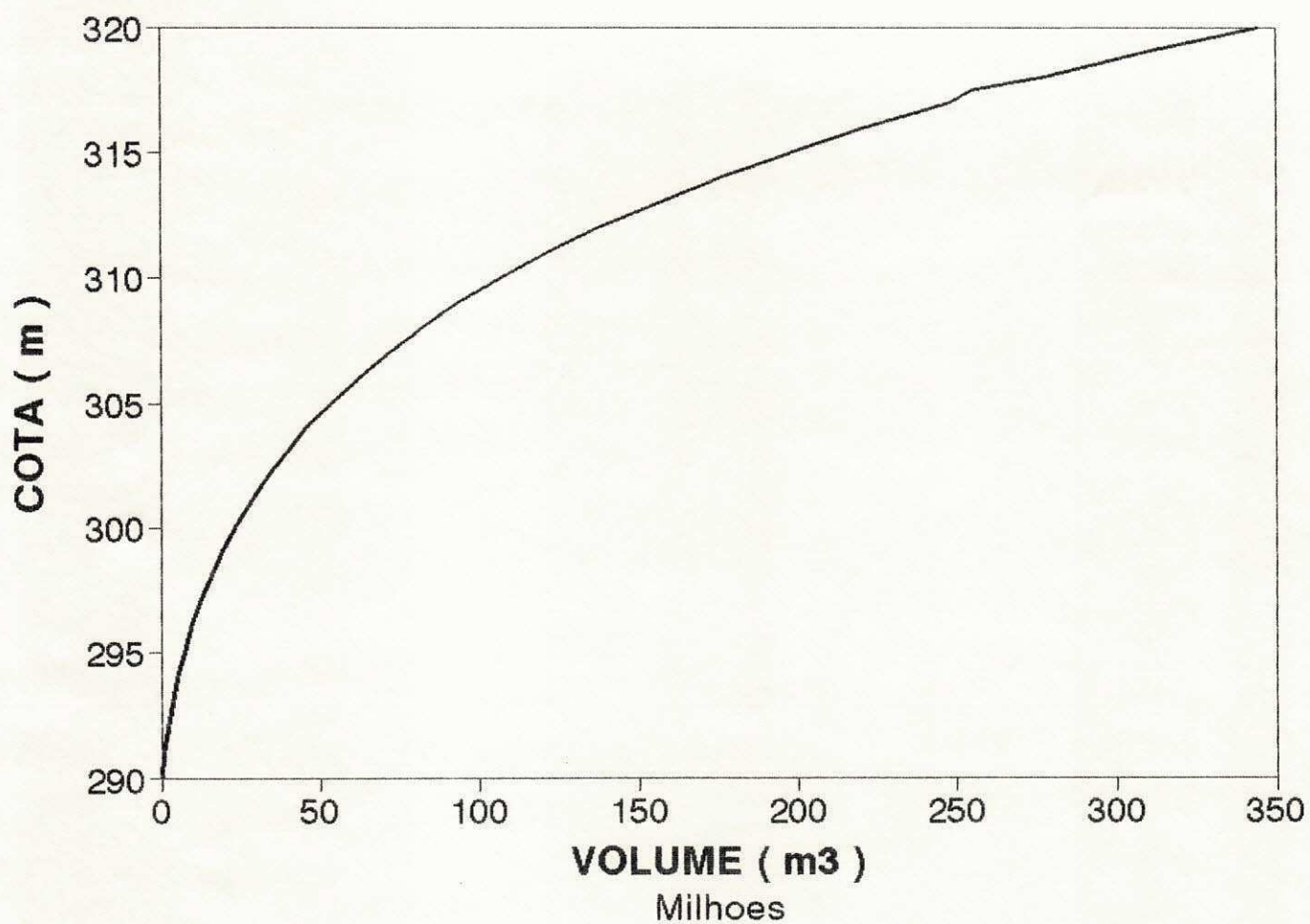




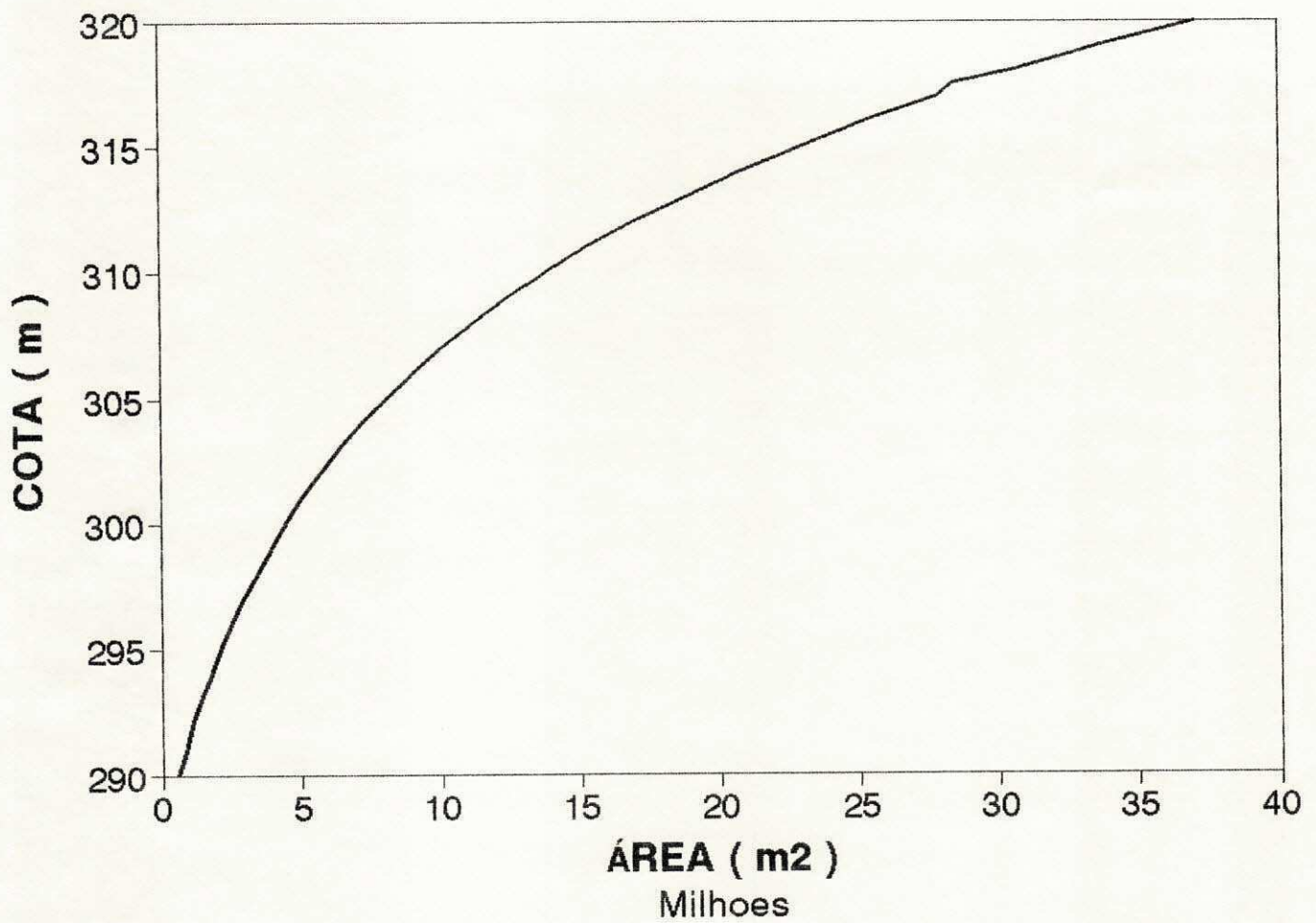
### CURVA COTA x ÁREA AÇUDE GRAMAME-MAMUABA



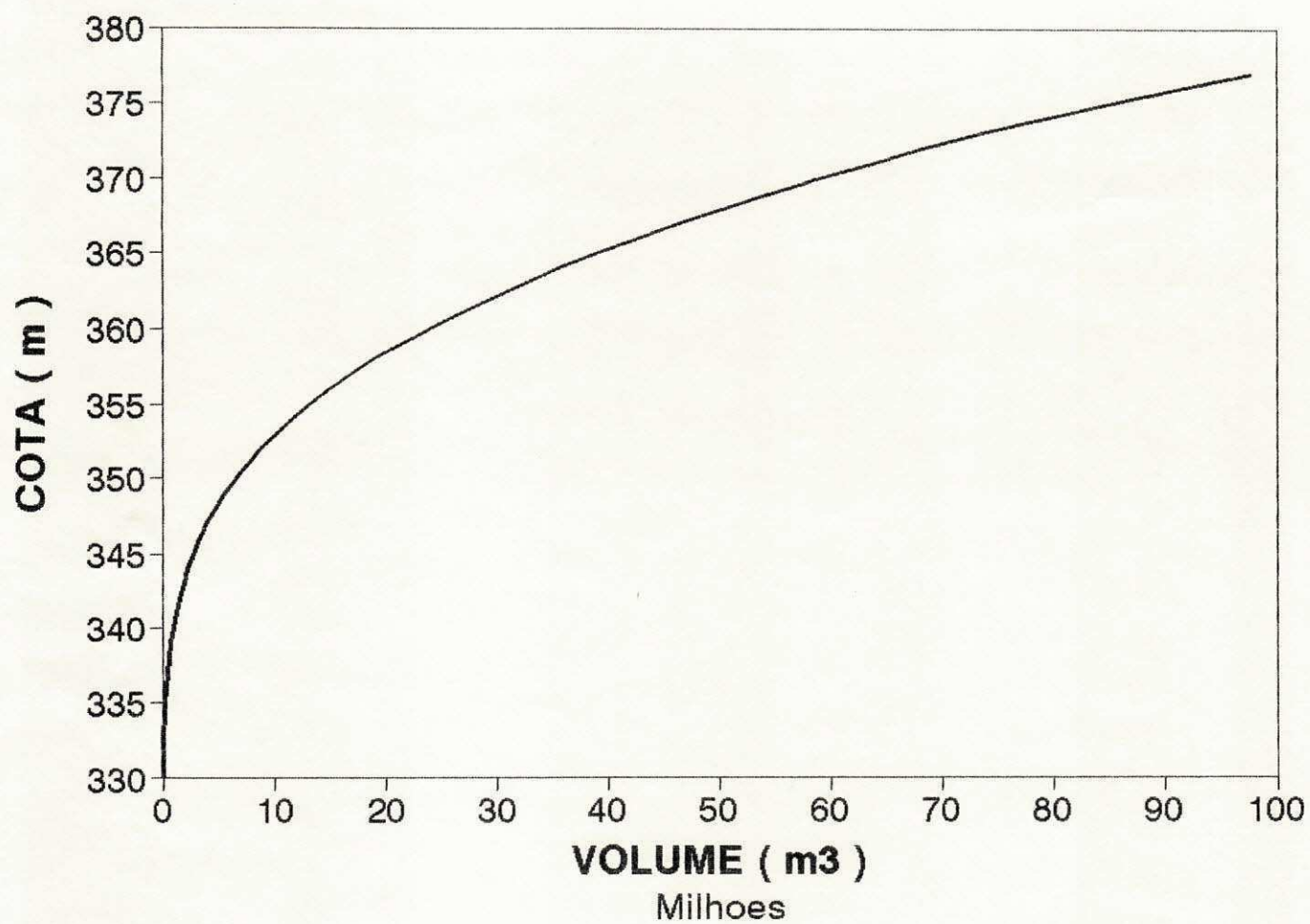
## CURVA COTA x VOLUME AÇUDE ENG° AVIDOS



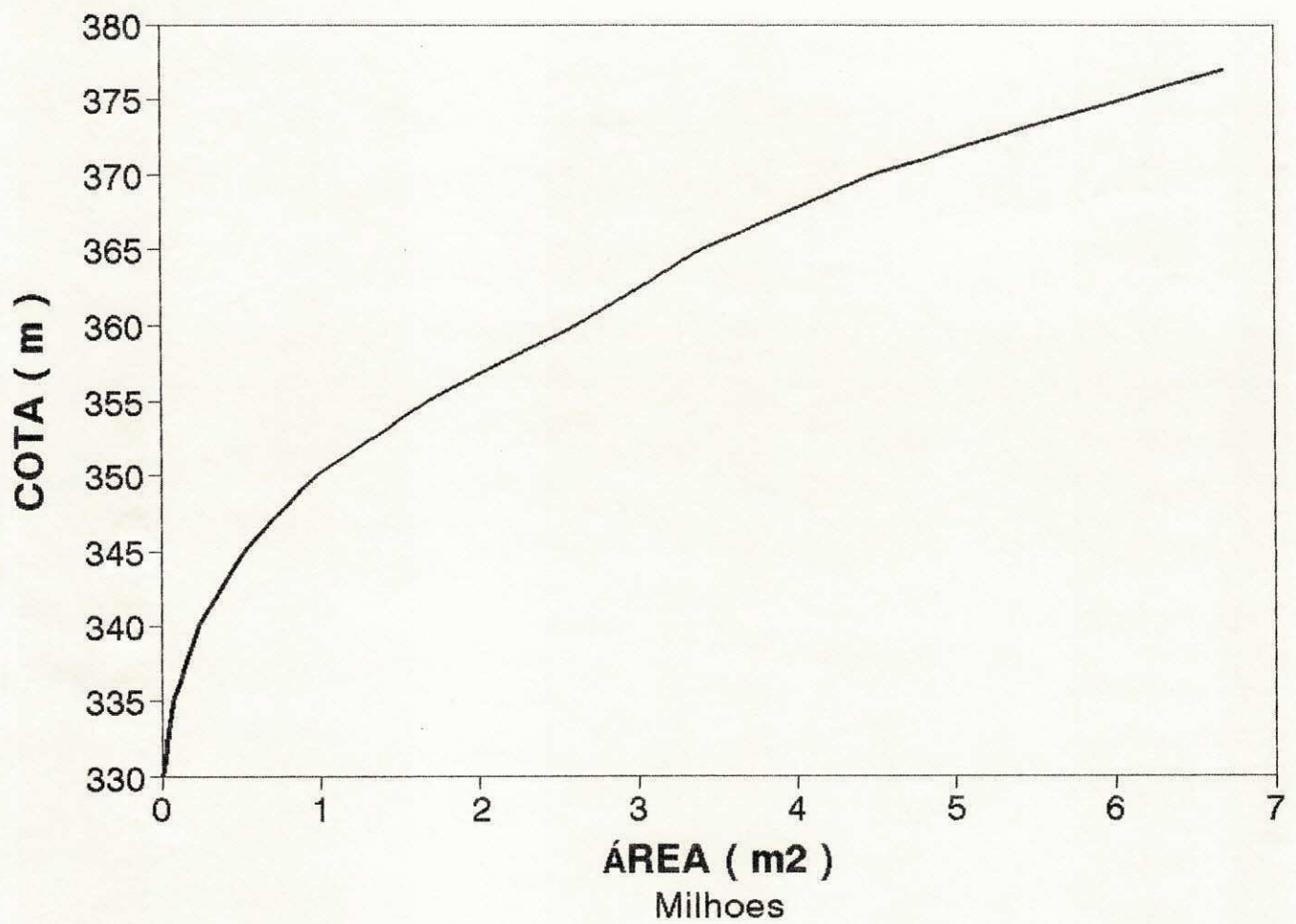
## CURVA COTA x ÁREA AÇUDE ENG° AVIDOS



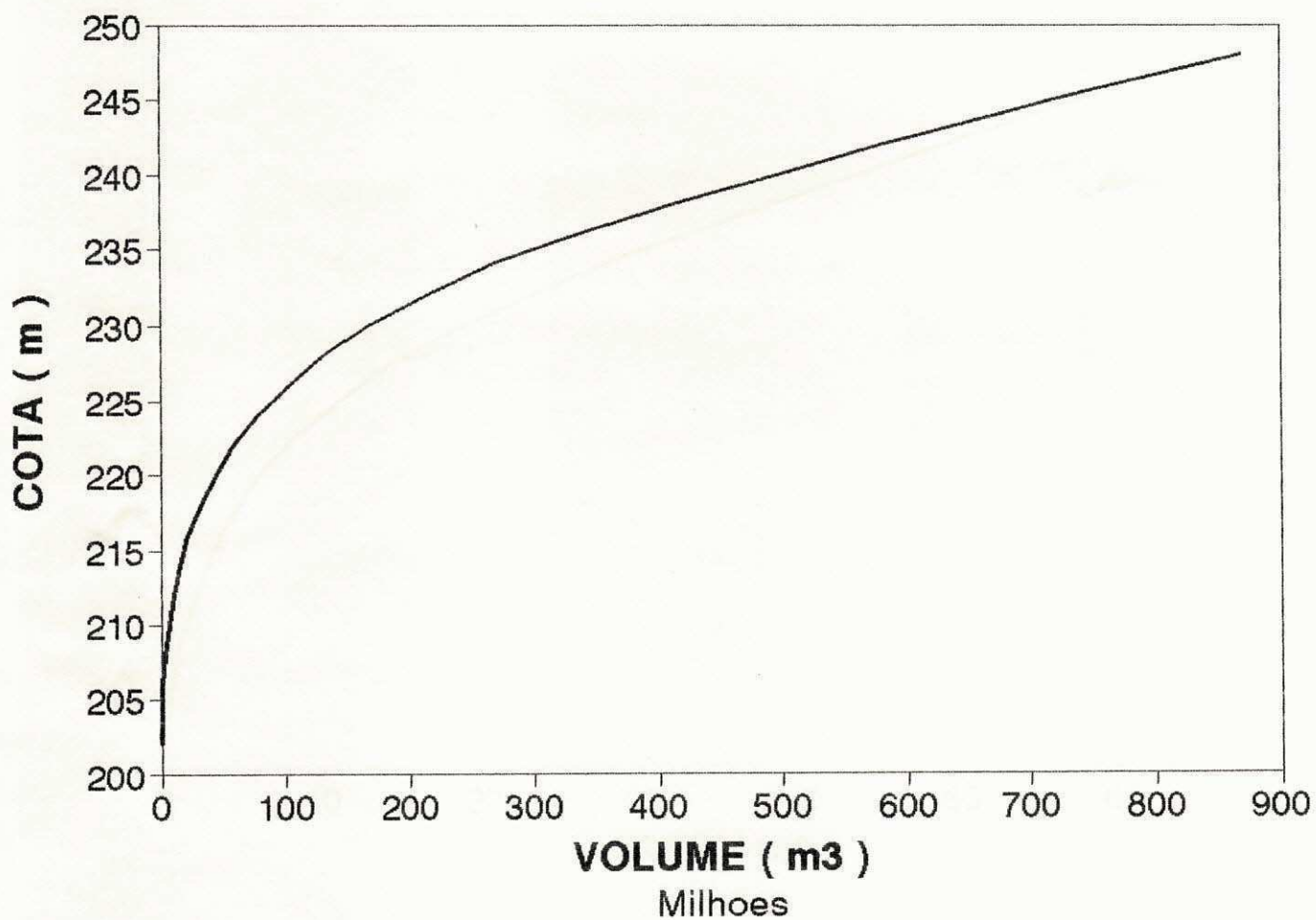
## CURVA COTA x VOLUME AÇUDE SACO



## CURVA COTA x ÁREA AÇUDE SACO

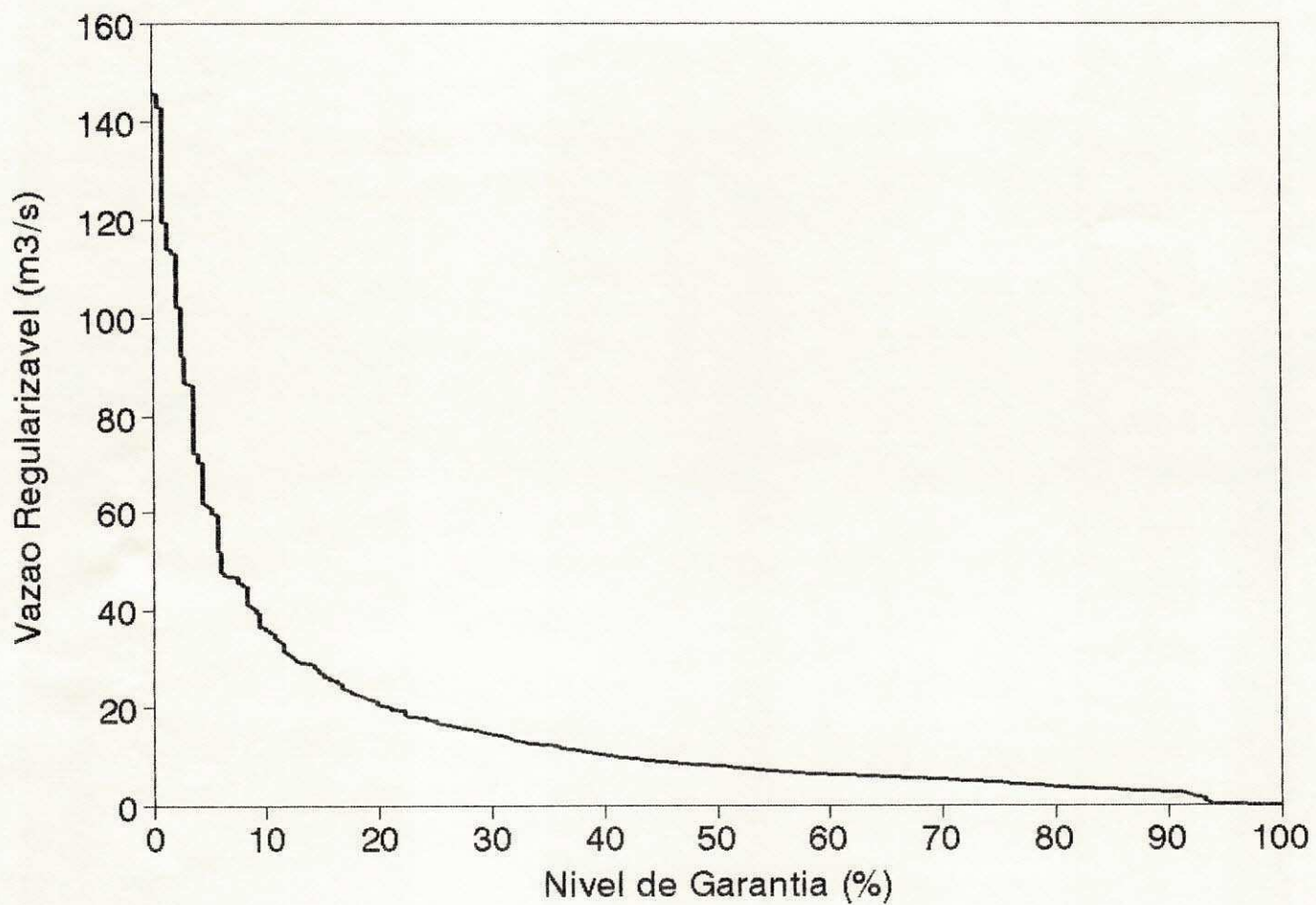


## CURVA COTA x VOLUME AÇUDE ESTEVAM MARINHO-COREMAS



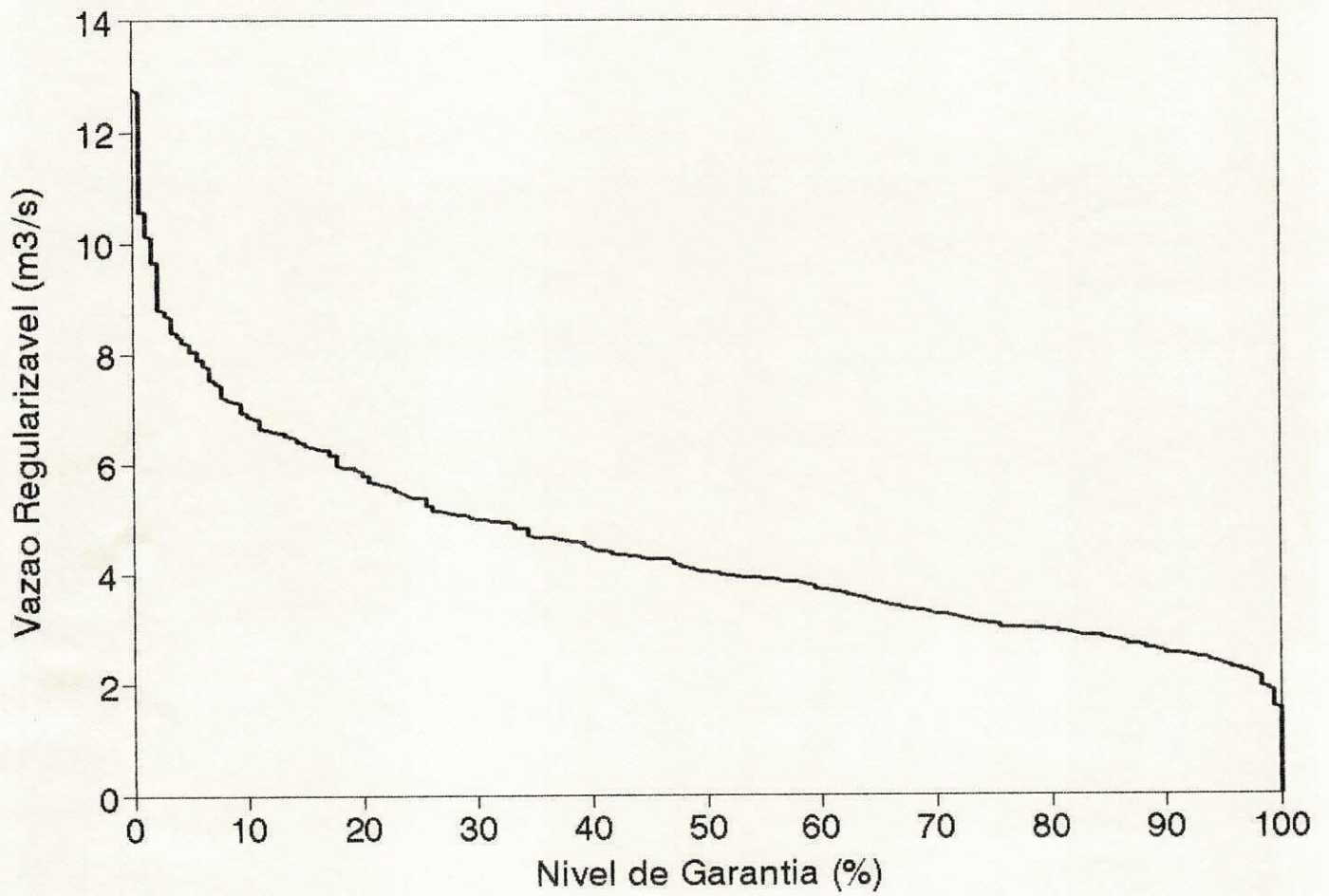
Anexo 2

**CURVA DE GARANTIA MENSAL**  
**ACUDE EP. PESSOA (Vmax:536.000.000 m3)**

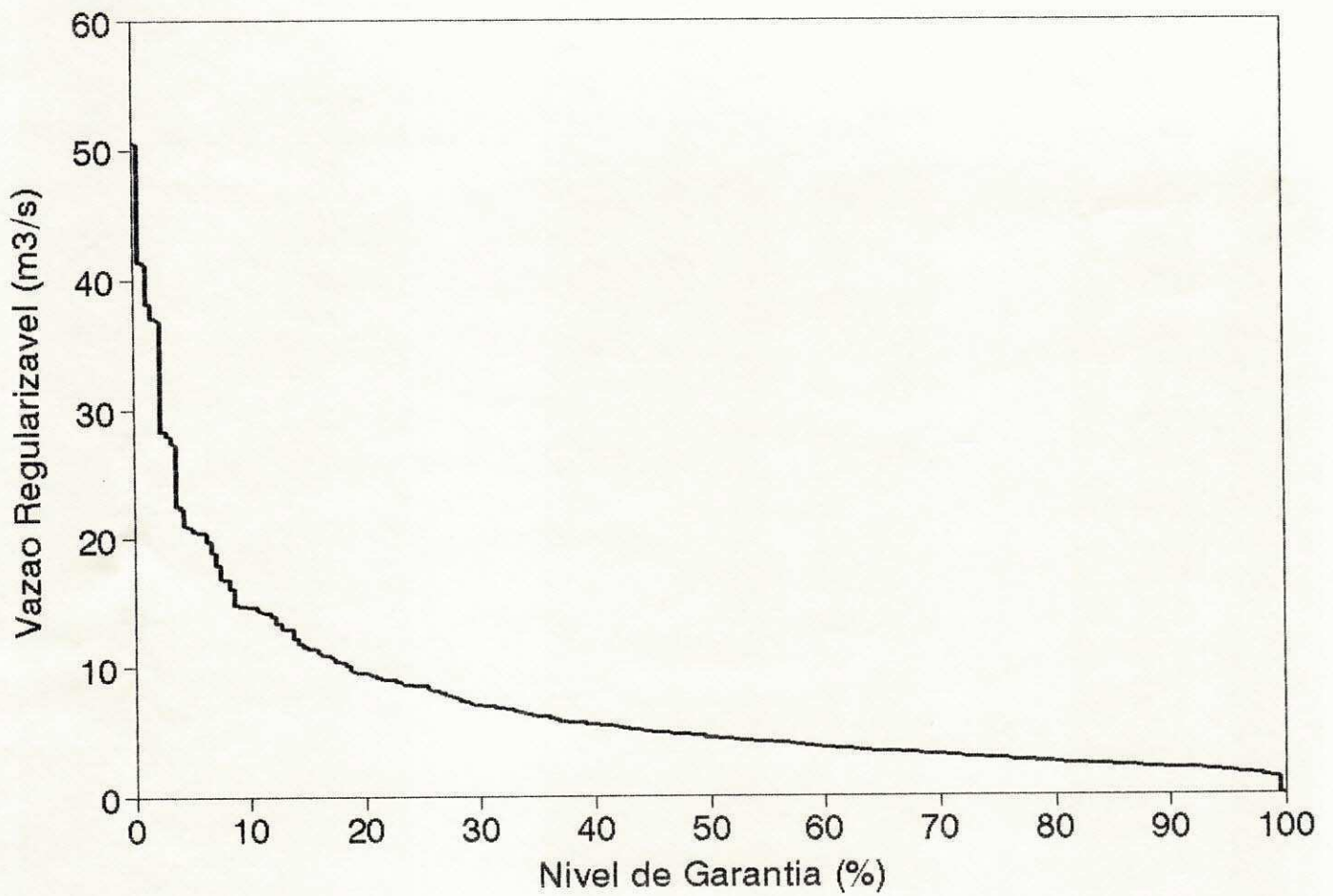




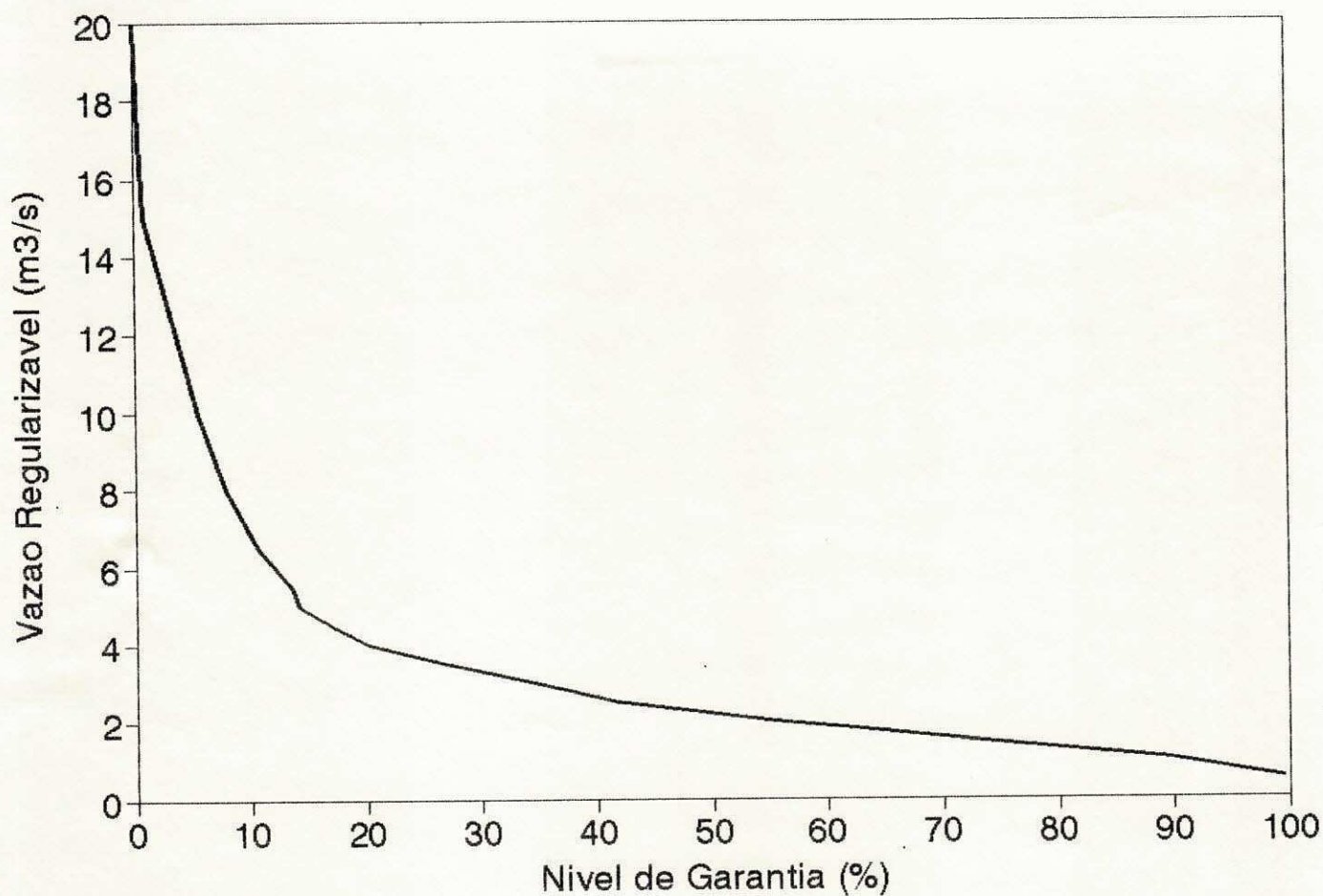
**CURVA DE GARANTIA MENSAL**  
AC. GRAM.- MAMUABA (Vmax:56.937.000 m3)



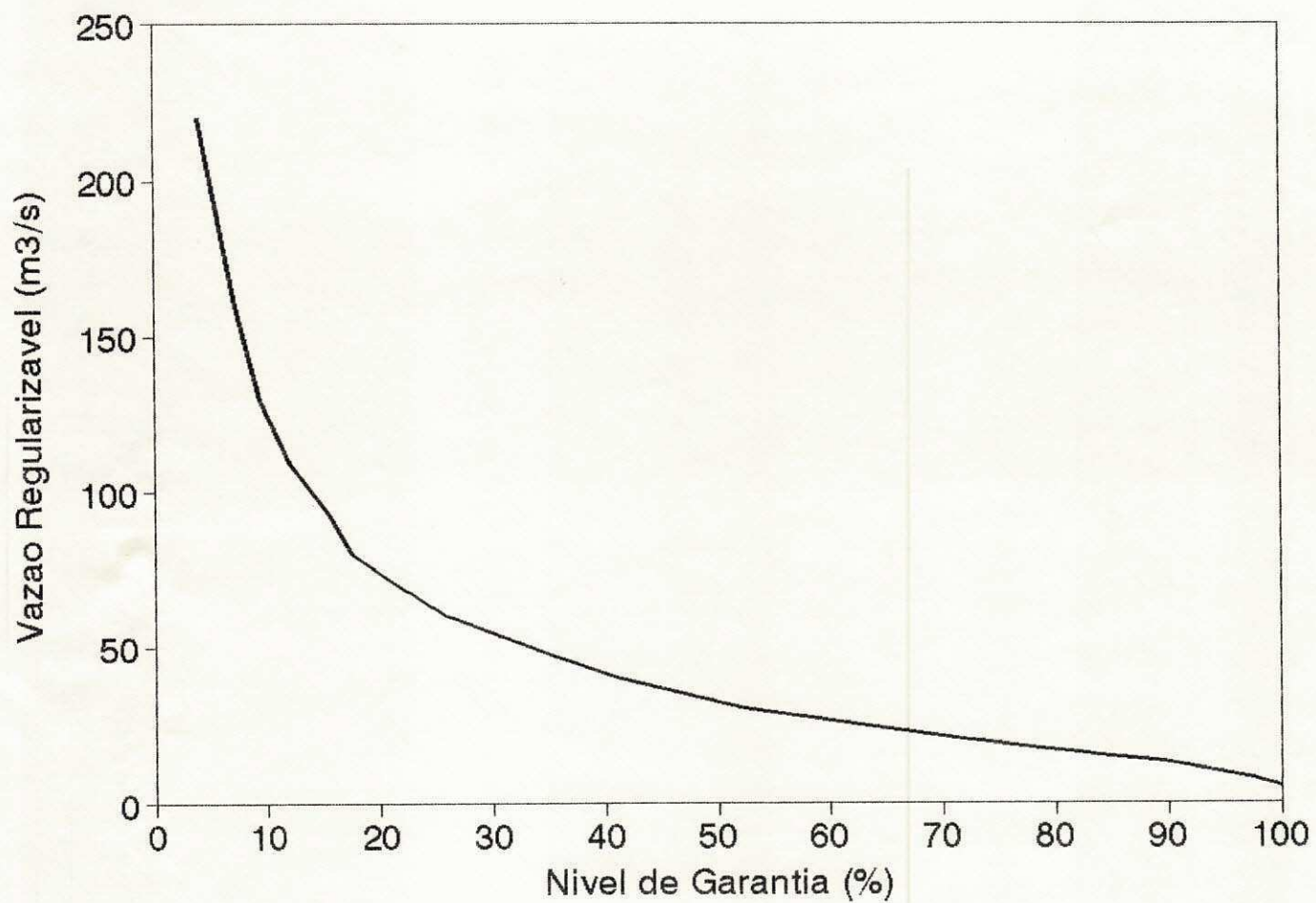
**CURVA DE GARANTIA MENSAL**  
**ACUDE ENG. AVIDOS (Vmax:255.000.000 m3)**



**CURVA DE GARANTIA MENSAL**  
**ACUDE SACO (Vmax:98.000.000 m3)**



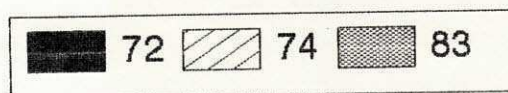
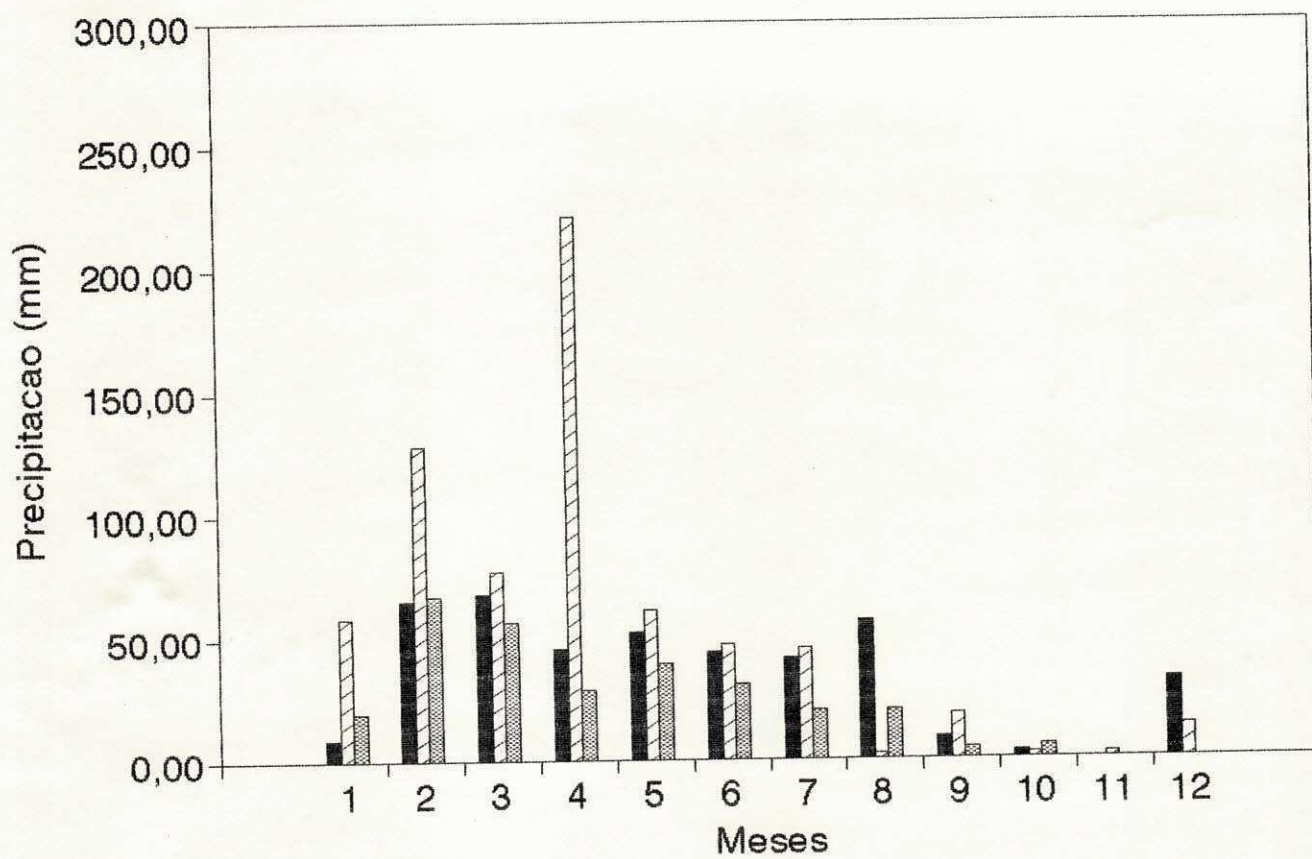
**CURVA DE GARANTIA MENSAL**  
**SIST.E.MAR.-MD'AGUA(Vm:1.358.700.000m3)**



Anexo 3



# Precipitacao mensal

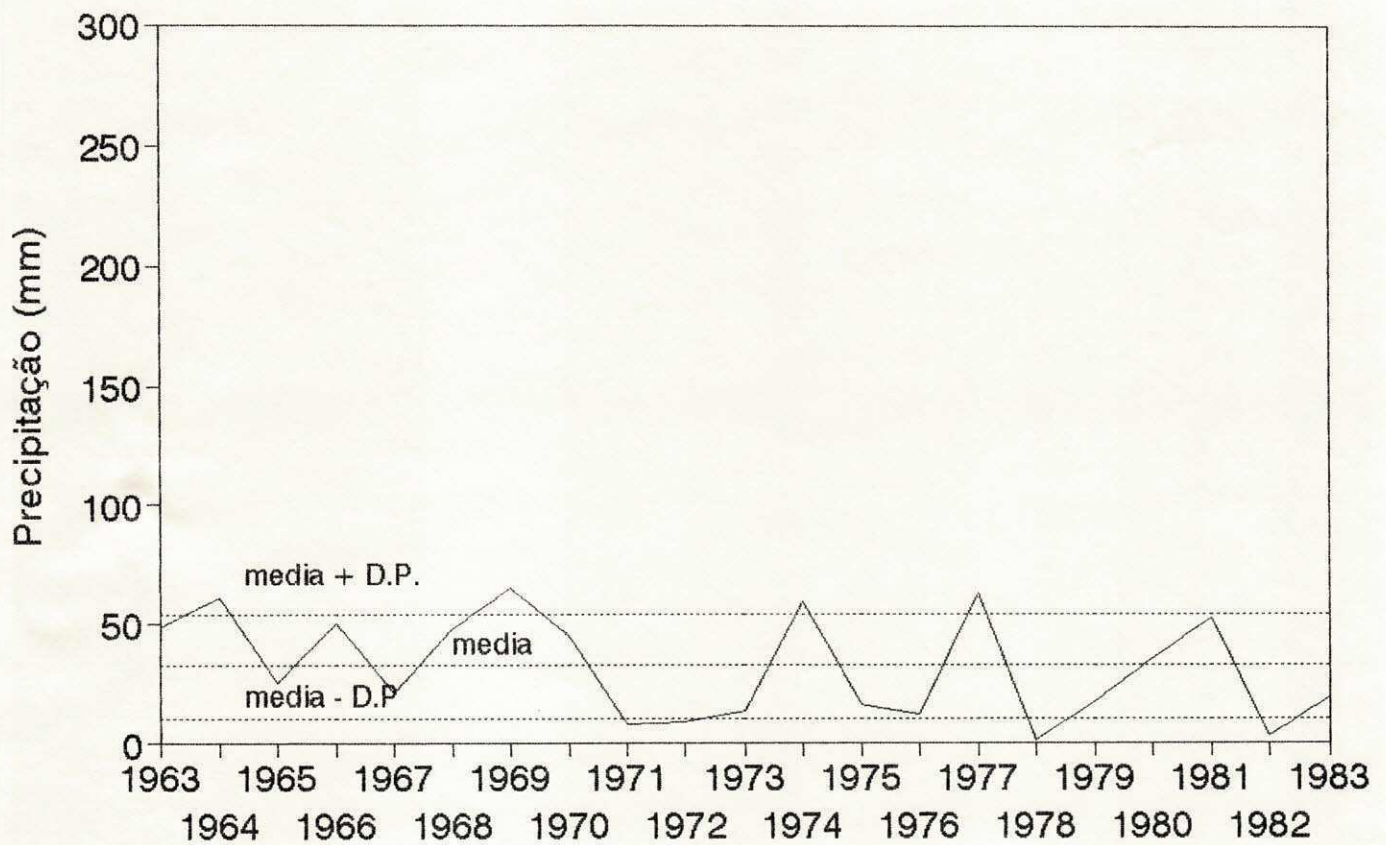


Anexo 4



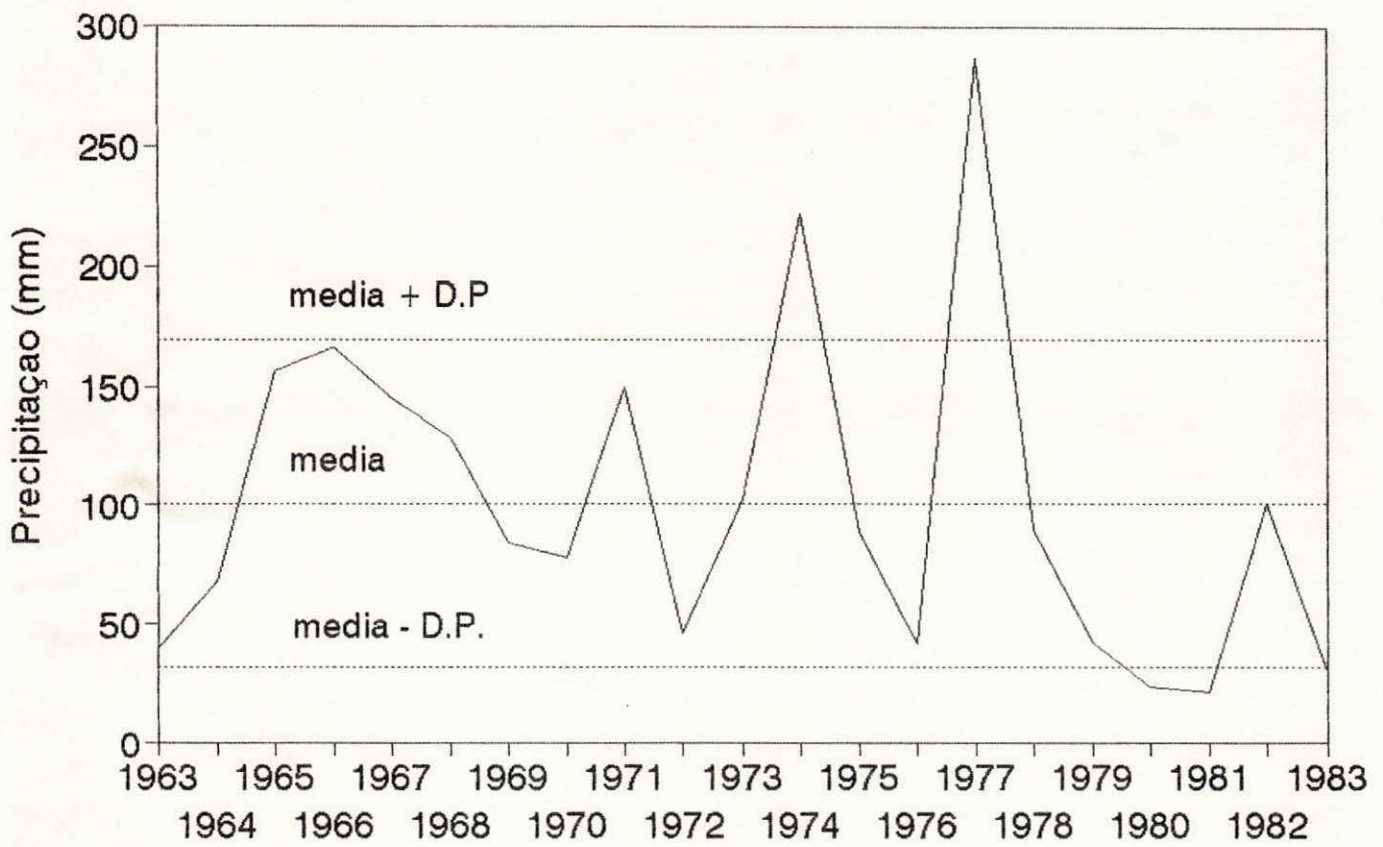
# Bacia do acude de Boqueirao

## Pluviometria mensal - Janeiro



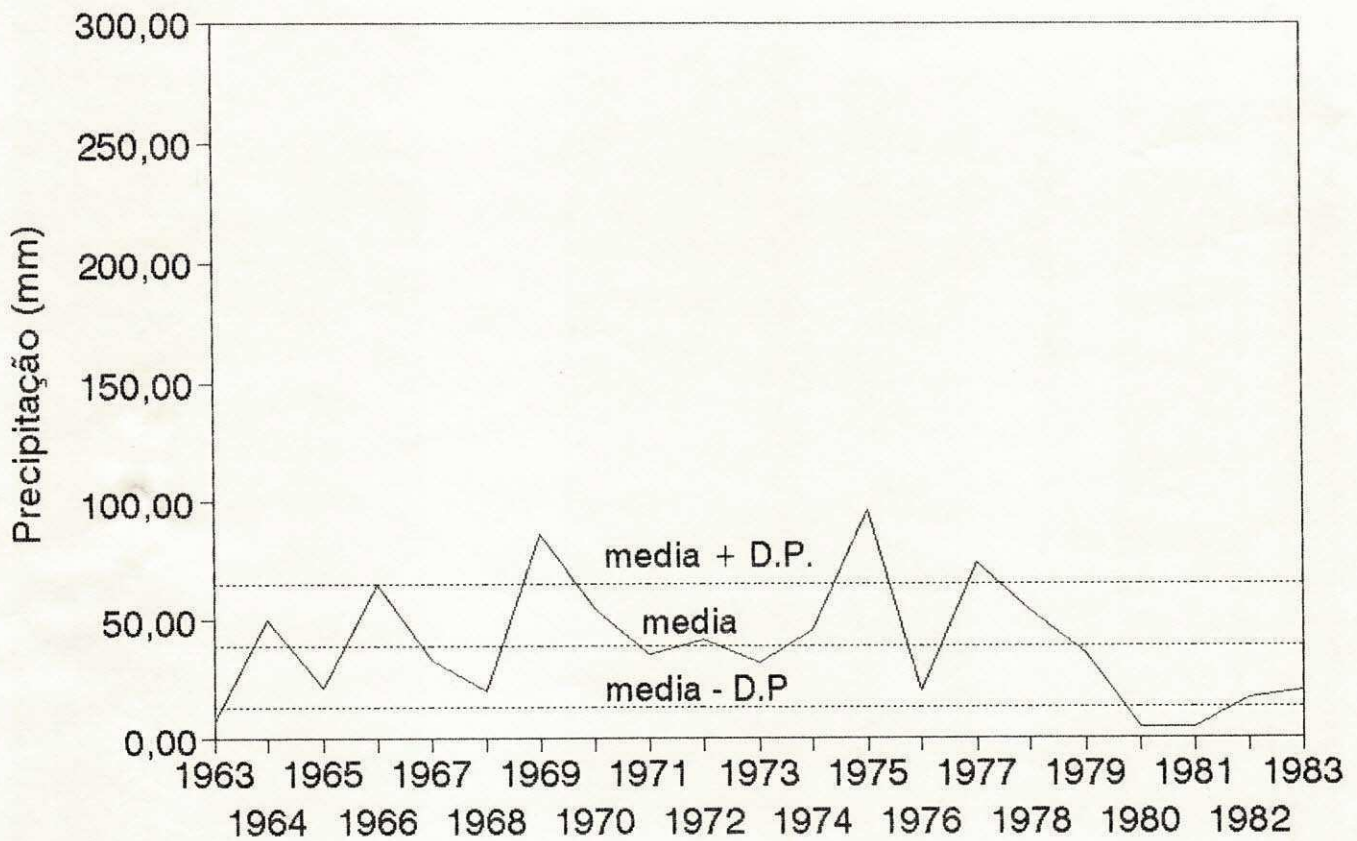
# Bacia do Acude de Boqueirao

## Pluviometria mensal - Abril



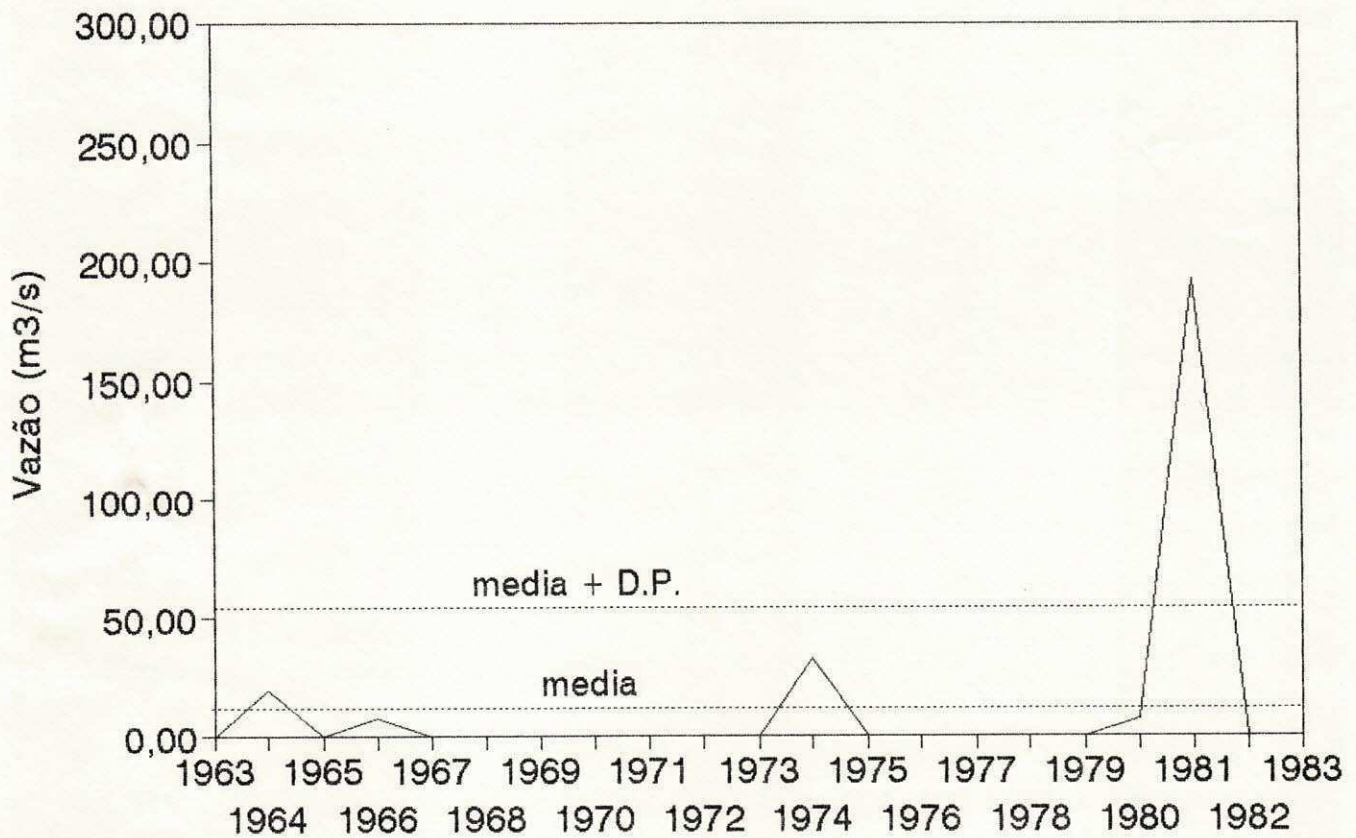
# Bacia do Açude de Boqueirão

## Pluviometria Mensal - Julho



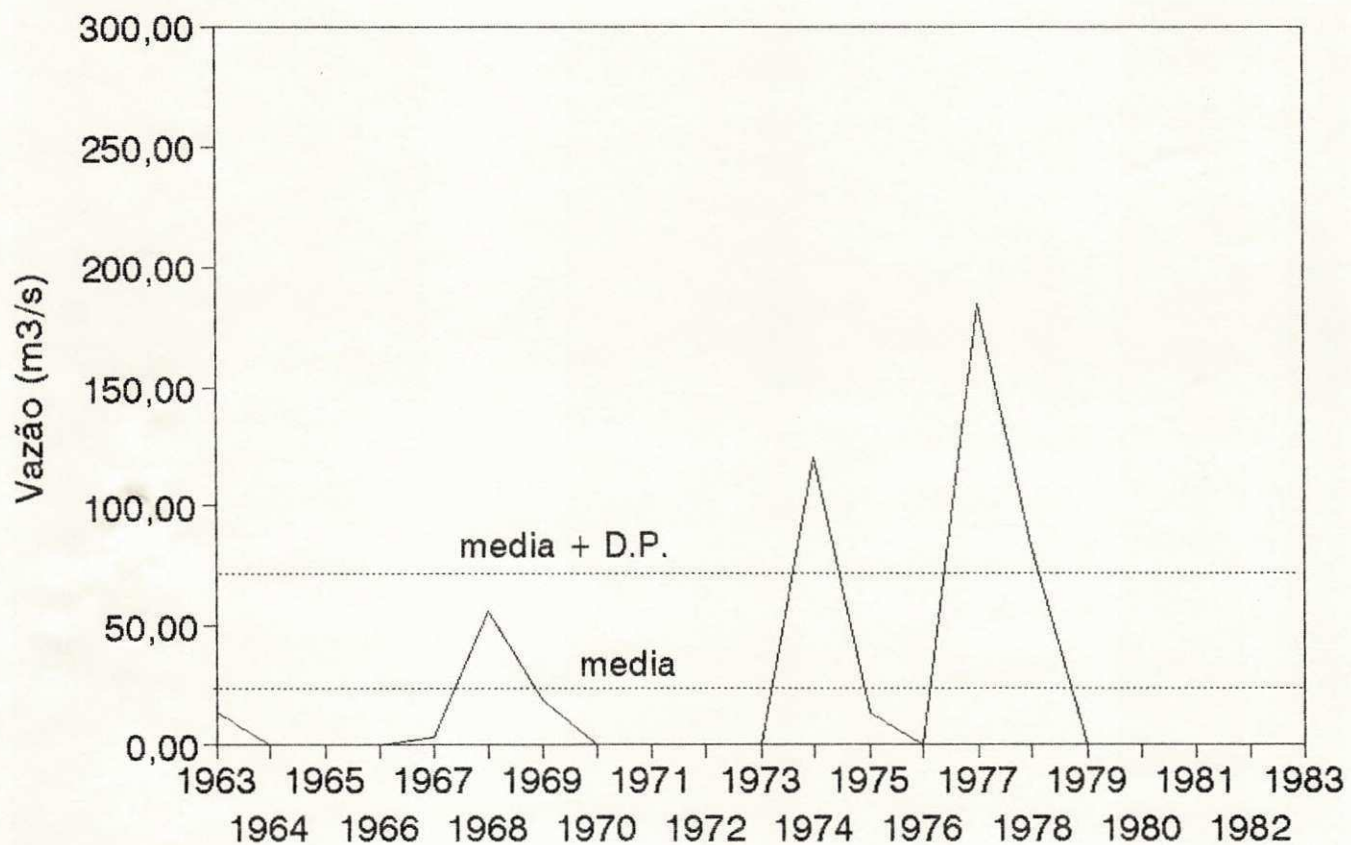
# Bacia do açude de Boqueirão

## Vazão mensal - Fevereiro



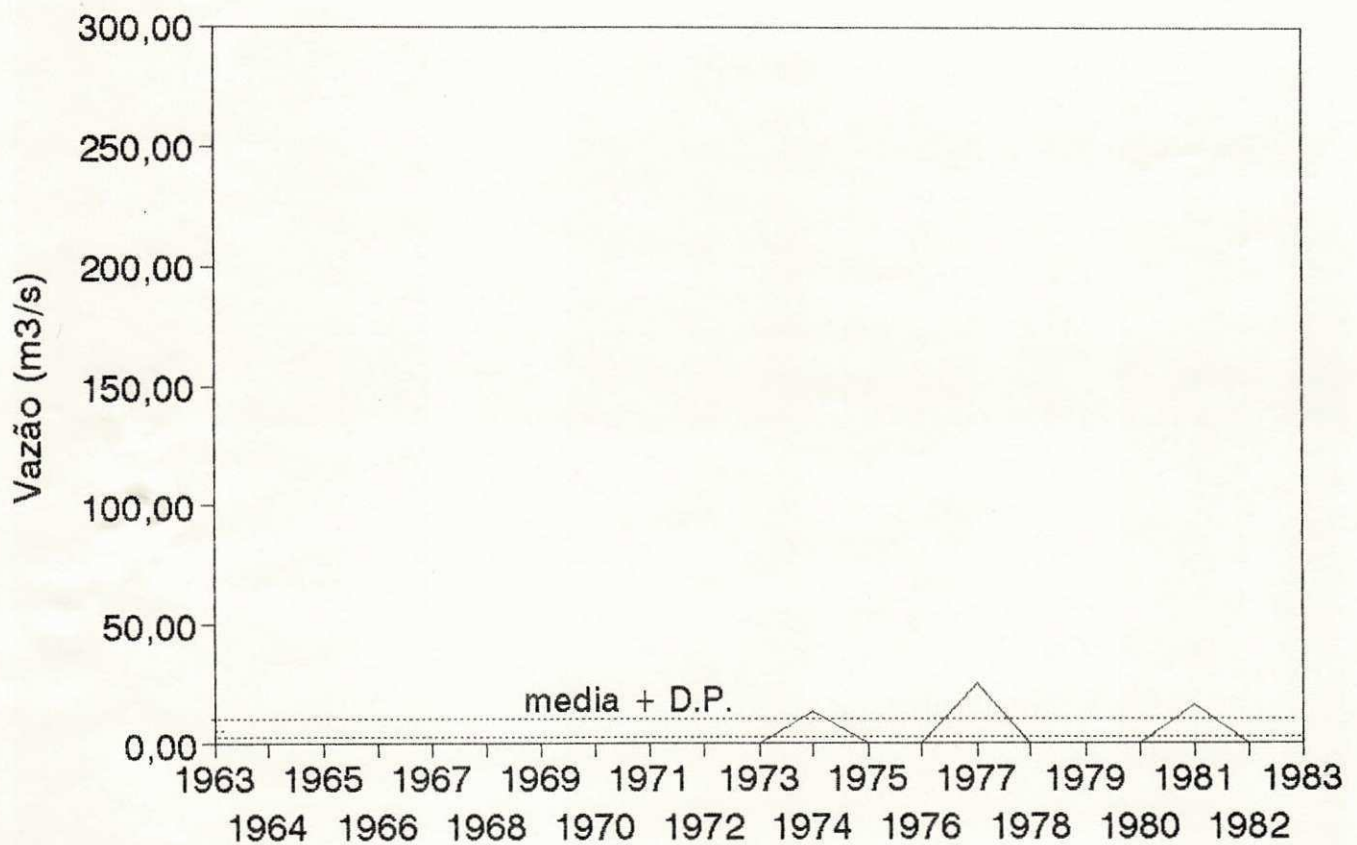
# Bacia do Açude de Boqueirão

## Vazão mensal - Março



# Bacia do Açude de Boqueirão

## Vazão mensal - Dezembro



Anexo 5

```
/*
```

```
Programa reserv1.c  
ultima atualizacao 13.02.95
```

```
Podem ser definidos ate:
```

- 10 niveis de liberacao (drmax) que correspondem, cada um, a um valor de liberacao (lib[dr]), dado em m3/mes. Os niveis de liberacao podem ser entendidos como niveis de racionamento. Ao nivel 1 corresponde a menor liberacao (lib[1]) e ao nivel drmax corresponde a maior liberacao, ou seja, a liberacao desejada (lib[drmax]).
- 5000 intervalos de discretizacao do armazenamento (slmax). Este valor deve ser compativel com a capacidade do reservatorio e o valor do fator de unidade para o volume armazenado (cs1). Por exemplo, se a capacidade do reservatorio for 200 milhoes m3 e o valor de cs1 for 500 mil m3 (0.5e+6), o valor de slmax deve ser igual a 400. Isto quer dizer que o volume armazenavel do reservatorio sera dividido em 400 intervalos de 500 mil m3 cada. O valor de slmin, porem, delimitara o nivel inferior de consideracao do volume util, que na maioria das vezes e' o volume morto. Se o volume armazenado for inferior a slmin, nao havera liberacao.

```
*/
```

```
#include<math.h>  
#include<stdio.h>
```

```
main()
```

```
{
```

```
FILE *fp,*fp1,*fp2;
```

```
int i,ni,j,m,nc,it,ano,t,mes,n,sl,so,dr,slmin,slmax;
```

```
int flag1,flag2,vs1,vdr,drmax,fuob;
```

```
float ft,fs,vdrf,lib[11];
```

```
float vs1f,ccv,cs1,ss,s,da,in,s2,cv[21][3],ct1,ct2,le[13],e;
```

```
float optdr[11],fn[5001],fn1[5001],b;
```

```
printf("leitura de dados\n");
```

```
if((fp=fopen ("geralm.dat","r"))==NULL)
```

```
{
```

```
printf ("nao posso ativar arquivo de dados gerais\n");
```

```
exit(1);
```

```
}
```

```
fscanf (fp,"%d",&ano);
```

```
/* num de anos de dados */
```

```
fscanf (fp,"%d",&nc);
```

```
/* num camadas curva cota-vol */
```

```
fscanf (fp,"%d %d",&slmin,&slmax);
```

```
/* vol armazenamento min, max */
```

```
fscanf (fp,"%f %f",&cs1,&ccv);
```

```
/* fator und: vol arm, curva */
```

```
fscanf (fp,"%d",&drmax);
```

```
/* num niveis de liberacao */
```

```
fscanf (fp,"%d",&fuob);
```

```
/* tipo funcao objetivo */
```

```
for(j=1;j<=drmax;j++)
```

```
{
```

```
fscanf (fp,"%f",&lib[j]);
```

```
}
```

```
fclose(fp);
```

```
if((fp=fopen ("evaporac.dat","r"))==NULL)
```

```
{
```



```

printf ("nao posso ativar arquivo de evaporacao\n");
exit(1);
}
for(j=1;j<=12;j++)
{
fscanf (fp,"%f ",&le[j]);
}
fclose(fp);

if((fp=fopen ("cotavol1.dat","r"))==NULL)
{
printf ("nao posso ativar arquivo da curva cota-volume\n");
exit(1);
}
for(i=1;i<=2;i++)
{
for(j=1;j<=nc;j++)
{
fscanf (fp,"%f ",&cv[j][i]);
if (i==2)
cv[j][i]=cv[j][i]*ccv;
}
}
fclose(fp);

for (s1=0;s1<=s1max;s1++) /* inicializa fn e fn1 */
{
fn1[s1]=0;
fn[s1]=9.0e+20;
}

if((fp1=fopen ("vazao2.dat","r"))==NULL)
{
printf ("nao posso ativar arquivo de vazoes afluentes\n");
exit(1);
}

if((fp2=fopen ("result.dat","w"))==NULL)
{
printf ("nao posso ativar arquivo de resultados");
exit(1);
}
fprintf(fp2,"resultados: fuob:%d\n",fuob);

printf("pd regressiva");

ni=ano*12;

for (n=1; n<=ni; n++) /* loop tempo (n e' regressivo) */
{
fscanf(fp1,"%f ",&in); /* in em m3/s */
in=2.592e+6*in; /* in em m3 */

printf(" %d ",n);
for (s1=0; s1<=s1max;s1++) /* loop armazenamento */

```

```

{
    t=ni+1-n;                /* int tempo na ordem cronologica */
    ft=n/12;
    it=ft;
                                /* mes do calendario (1 a 12) */
    mes=12-(n-it*12)+1;
    if(mes==13) mes=1;

    ct1=0;                    /* inicio calculo evaporacao */
    s2=0;
    flag1=0;
    flag2=0;
    for (i=1;i<=nc-1;i++)
    {
        if((s1*cs1)>=cv[i][2] && (s1*cs1)<cv[i+1][2])
        {
            ct1=cv[i][1]+((((s1*cs1)-cv[i][2])*(cv[i+1][1]-cv[i][1]))/(cv[i+1][
2]-cv[i][2]));
            flag1=1;
            i=nc;
        }
    }
    if(flag1==1)
    {
        ct2=ct1-(le[mes]*0.001);
        if(ct2<cv[1][1])
            ct2=cv[1][1];
    }
    else
        printf("problemas na evaporacao: transformacao volume -> cota\n");

    for (i=1;i<=nc-1;i++)
    {
        if(ct2>=cv[i][1] && ct2<cv[i+1][1])
        {
            s2=cv[i][2]+(((ct2-cv[i][1])*(cv[i+1][2]-cv[i][2]))/(cv[i+1][1]-cv[
i][1]));
            i=nc;
            flag2=1;
        }
    }
    if (flag2==0)
        printf("problemas na evaporacao: transformacao cota -> volume n=%d,ct2
=%f\n",n,ct2);

    if(flag1==1 && flag2==1)
        e=(s1*cs1)-s2;                /* valor da evaporacao */
    else
        e=0;

    for (dr=1; dr<=drmax;dr++)        /* loop liberacao */
    {
        ss=(s1*cs1)+in-e;            /* balanço hidrico */
        s=ss-lib[dr];

        if(ss<=(s1min*cs1))          /* demanda atendida */
            da=0;
        else

```

```
if(s<(cs1*s1min))
    da=lib[dr]-(s1min*cs1-s);
else
    da=lib[dr];
```

```
if(s<0)                /* restricoes ao balanco */
    s=0;
if(s>(cs1*s1max))
    s=s1max*cs1;
```

```
fs=s/cs1;                /* equacoes recursivas */
so=fs+0.5;
if(fuob==1)
    b=lib[drmax]-da+fn1[so];
else
    if(fuob==2)
        b=(lib[drmax]-da)*(lib[drmax]-da)+fn1[so];
    else
        if(fuob==3)
            b=(lib[drmax]-da)/lib[drmax]+fn1[so];
```

```
if(b<fn[s1])            /* identificacao do otimo do estagio */
    {
        i=1;
        optdr[i]=da;
        fn[s1]=b;
    }
else
    if(b==fn[s1])
    {
        i++;
        optdr[i]=da;
    }
}                        /* fim loop liberacao */
```

```
/* impressao dos resultados */
```

```
fprintf(fp2,"n: %d ano: %d mes: %d s: %d -> %f m3 f: %f \n",n,ano,mes,s1,
s1*cs1,fn[s1]);
```

```
for(j=1;j<=i;j++)
    fprintf(fp2," da: %f m3/mes\n",optdr[j]);
```

```
}                        /* fim loop armazenamento */
```

```
for(i=0;i<=s1max;i++)
    {
        fn1[i]=fn[i];
        fn[i]=9.0e+20;
    }
```

```
}                        /* fim loop tempo */
```

```
fclose(fp1);
fclose(fp2);
```

```
}                        /* fim do main */
```