

**PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO**  
**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO**  
**APROVEITAMENTO HIDROAGRÍCOLA DO**  
**VALE RIO CARÁS**

**TOMO III HIDROCLIMATOLOGIA**

**AGUASOLOS**  
CONSULTORIA DE ENGENHARIA LTDA

**FORTALEZA- CE**  
**1983**

**PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO**  
**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS**



**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICO**  
**DO APROVEITAMENTO H**  
**VALE DO RIO CARÁS**

Lote: 01131 - Prep ( ) Scan ( ) Index ( )  
 Projeto Nº: 2/25  
 Volume \_\_\_\_\_  
 Qtd. A1 \_\_\_\_\_ Qtd. A3 \_\_\_\_\_  
 Qtd. A2 \_\_\_\_\_ Qtd. A1 \_\_\_\_\_  
 Qtd. A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

**HIDROCLIMATOLOGIA**  
**TOMO - III**



**CONSULTORA DE ENGENHARIA LTDA**

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA  
DO APROVEITAMENTO HIDROGRÁFICO DO VALE  
DO RIO CARÁS

TOMO - III

HIDROCLIMATOLOGIA



000003

S U M A R I O

000004

S U M Á R I O

ITEM	PAG.
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.0 - INTRODUÇÃO	01
1.2 - Pluviometria	03
1.3 - Caracterização do Regime Pluviométrico	14
<b>CAPÍTULO II</b>	
2.0 - ESTUDO DOS OUTROS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS	21
2.1 - Dados Disponíveis	21
2.2 - Temperatura	21
2.3 - Umidade Relativa	22
2.4 - Insolação	22
2.5 - Evaporação	25
2.6 - Ventos	29
2.7 - Evapotranspiração Potencial	29
<b>CAPÍTULO III</b>	
3.0 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS	32
3.1 - Ausência de Dados Pluviométricos	32
3.2 - O Modelo Chuva x Deflúvio	33
3.3 - A Calibragem do Modelo	37
3.4 - As Séries de Deflúvios	41
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4.0 - REGULARIZAÇÃO DA BACIA	43
4.1 - Açudagem e Controle	43

CAPÍTULO - I

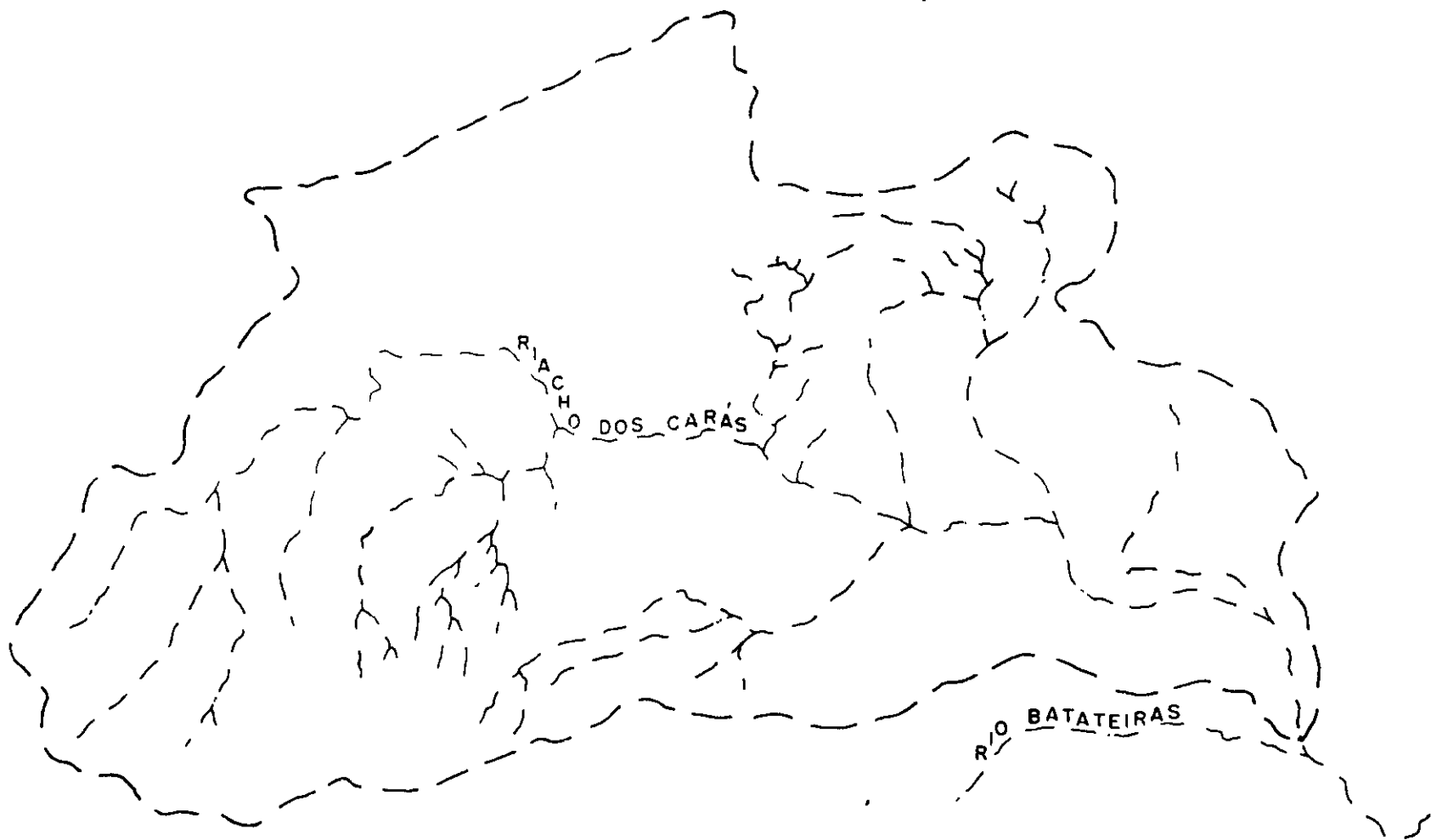
000006

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Os estudos hidroclimatológicos que compõe este trabalho tem por objetivo fornecer as informações e elementos relativos ao clima e aos recursos hídricos de superfície necessários para o desenvolvimento do projeto hidro-agrícola a ser implantado na Bacia Hidrográfica do Riacho dos Carás (Mapa 1), esta subdividida em duas sub-bacias, a saber: Carás - Cristalino e Carás-Sedimentar.

O Riacho dos Carás é um afluente da margem esquerda do rio Batateiras, situado na região do Cariri Ocidental, e desemboca a jusante da cidade de Juazeiro do Norte.

Na sub-bacia Carás-Cristalino encontram-se implantados os açudes Umari e Riacho dos Carneiros, de responsabilidade do DNOCS, cujas capacidades máximas são  $34.10^6 m^3$  e  $37.10^6 m^3$ , respectivamente, de acordo com as curvas cota x área x volume a seguir apresentadas.



MAPA 1 - Bacia Hidrográfico  
do Riacho dos Carás

000008



## 1.2 - Pluviometria

### 1.2.1 - Dados disponíveis

No interior da bacia hidrografica do Riacho dos Carás há apenas 1 (um) posto pluviométrico, o de Quintino, quase no extremo norte da área. Tendo em vista as dimensões da bacia, quais sejam:

Área  $\approx 540 \text{ km}^2$

Extensão sentido Leste - Oeste = 38 km

Extensão sentido Norte - Sul = 20 km,

vemos que a densidade, levando-se em consideração apenas este posto, é bastante deficiente.

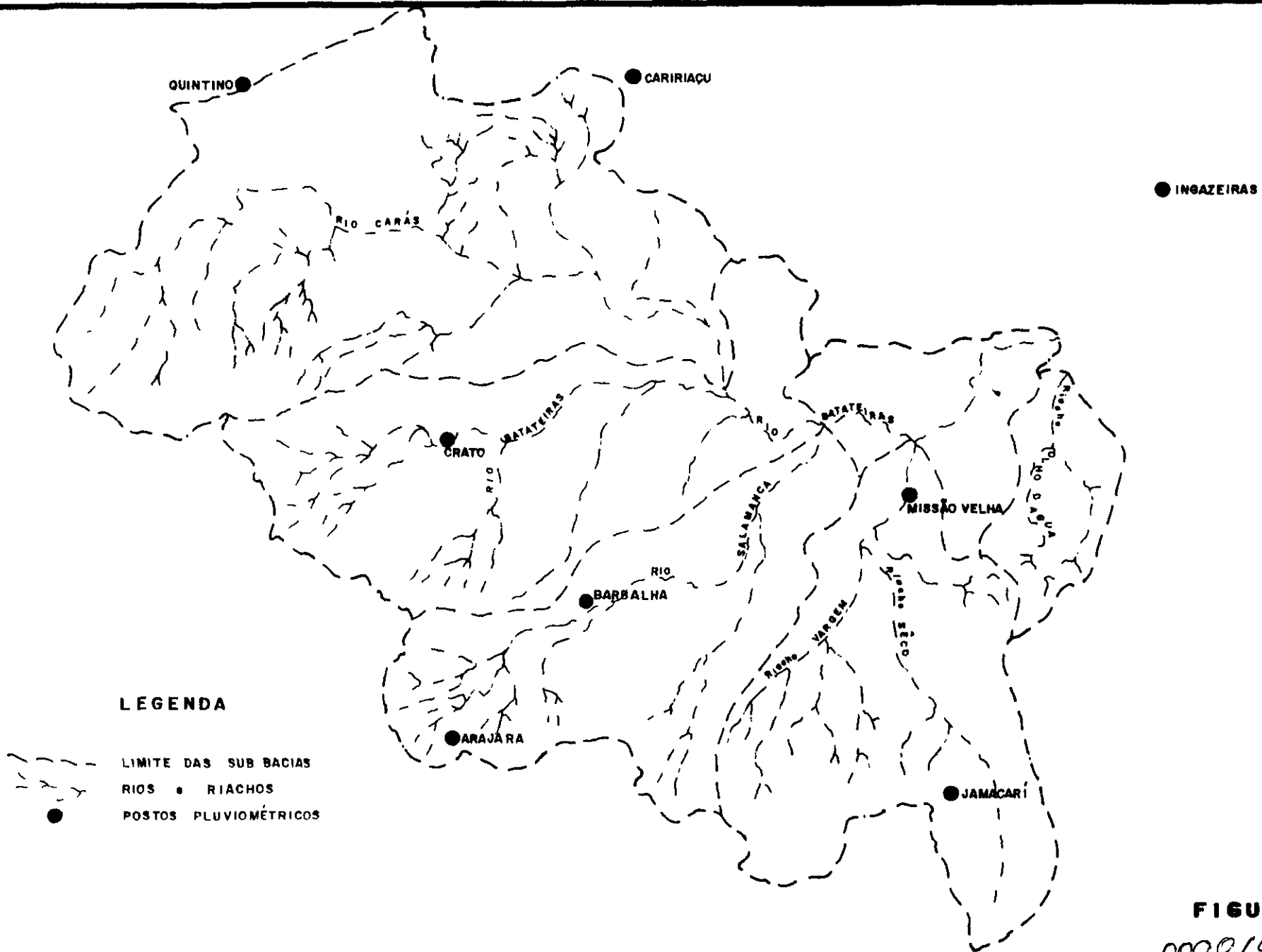
No entanto, com o objetivo de se definir ou determinar uma melhor distribuição espacial de alturas pluviométricas, optou-se pela escolha também dos postos pluviométricos de Caririaçu e Crato situados fora dos limites da bacia (Mapa 1).

A figura 1, mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos considerados.

Observa-se contudo, a existencia de falhas nas séries dos referidos postos, sendo necessário que se faça o preenchimento dessas lacunas com o objetivo de se obter uma série de valores discretos sem interrupção.

### 1.2.2 - O preenchimento das falhas

Para o preenchimento das falhas nas séries, muito embora só estejamos considerando 03 (três) postos pluviométricos como influenciando o escoamento na bacia do Riacho dos Carás, levamos em consideração também as séries pluviométricas dos postos de Santana do Cariri e Farias Brito, haja visto, a necessidade de se encontrar séries com maior duração. Ficamos então com 02 (duas) séries de longa duração (Crato e Caririaçu) e 03 (três) de pequena duração (Crato, Caririaçu e Quintino).



● INGAZEIRAS

**FIGURA 1**

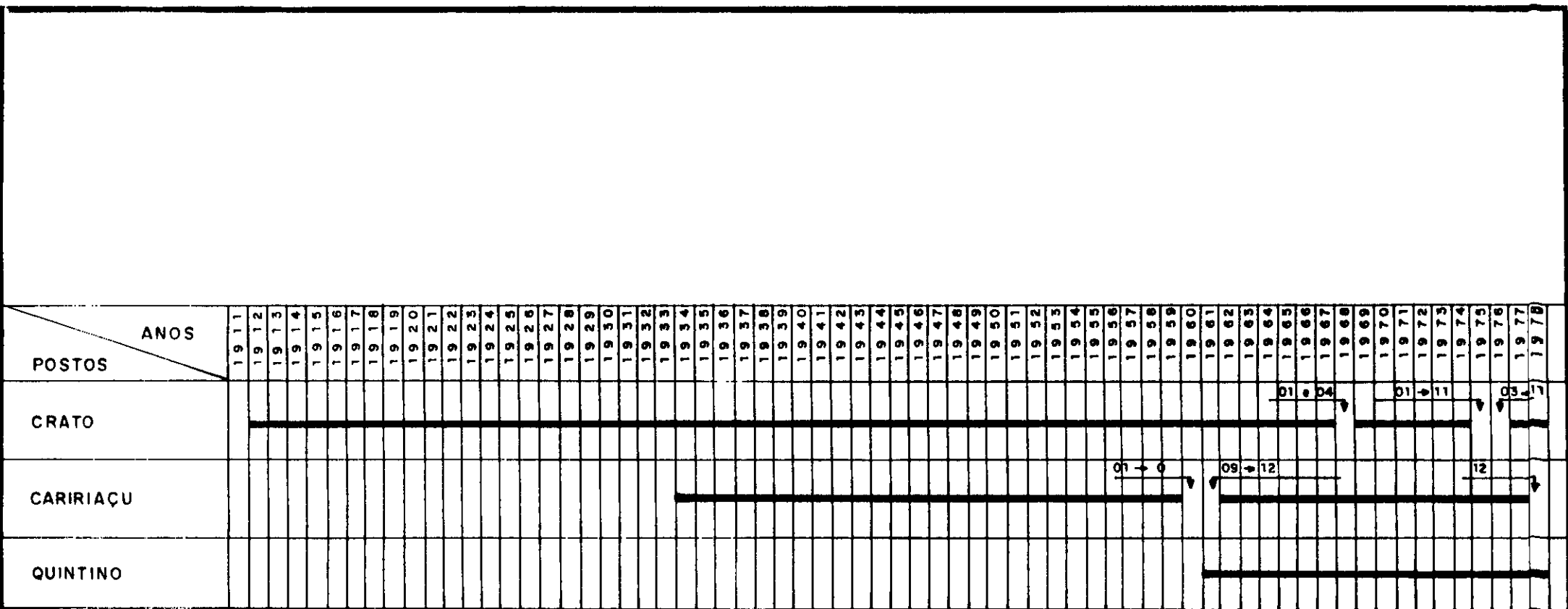
000010

Instituto de Pesquisas  
 e Desenvolvimento  
 Científico e Tecnológico

A figura 2, mostra a disponibilidade de dados pluviométricos, o quadro 1.1 mostra a identificação dos postos pluviométricos considerados, enquanto o quadro 1.2, mostra as vizinhanças.

O preenchimento de todas as falhas mensais existentes, objetivou obter-se séries completas, Ele foi baseado no Método das Vizinhanças, cuja metodologia se desenvolve através de processo computacional, na seguinte forma: sendo  $V_i$  ( $i=1, n$ ) a pluviometria em  $n$  postos, a falha é identificada através de valor negativo, cujo preenchimento se dará a partir de  $k$  postos que formam sua vizinhança. Se somente  $a$  destes postos tem dados no período, o valor  $V_i$  é calculado pelos mesmos, de modo a que no passo são determinados os valores  $V^*$  dos  $(k-a)$  postos. Em cada etapa  $j$ , ter-se-á um vetor definido por  $W_j = (V_1, V_a^*, V_3, \dots, V_i^*, V_{i+1}, \dots, V_n)$  onde os asteriscos representam falhas preenchidas. O processo de convergência é concluído quando a diferença, para qualquer elemento,  $|W_i - W_{j-1}|$  é inferior a 1 (um) mm.

Os resultados do preenchimento das falhas, estão apresentados nos quadros 1.3, 1.4 e 1.5.



**CONVENÇÃO**

- $\overline{01, 02}$  ↓ ——— MES COM FALHA
- $\overline{01 \rightarrow 12}$  ↓ ——— PERIODO COM FALHA

FIGURA 2

**DADOS PLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS**

000012

QUADRO 1.1

CARACTERÍSTICAS DA REDE PLUVIOMÉTRICA

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	MUNICÍPIOS	CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO	COORDENADAS		ALTURA (m)	INÍCIO DA OPERAÇÃO		POSICIONAMENTO QUANTO A BACIA	
			LATITUDE	LONGITUDE		MÊS	ANO	INTERIOR	PERIFERIA
FARIAS BRITO	FARIAS BRITO	3830888	06º55'	39º34'	320	08	1912		x
CRATO	CRATO	3841425	07º13'	39º23'	421	01	1912		x
CARIRIAÇU	CARIRIAÇU	3841046	07º02'	39º17'	710	11	1933		x
DOM QUITINO	CRATO	3841006	07º02'	39º29'	450	01	1961	x	
SANTANA DO CARIRI	SANTANA DO CARIRI	3840356	07º11'	39º44'	480	01	1912		x

FONTE: DNAEE/DCR - Inventário das estações pluviométricas, 1979.

000013

88090788780018

QUADRO 1.2

VIZINHANÇAS DOS POSTOS

POSTOS	CRATO	QUINTINO	SANTANA DO CARIRI	FARIAS BRITO	CARIRIAÇU	Nº DE POSTOS
CRATO		X	X			2
QUINTINO	X			X	X	3
SANTANA DO CARIRI	X					1
FARIAS BRITO			X			1
CARIRIAÇU	X	X		X		3

**CAPÍTULO III**

### 3 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

#### 3.1 - A ausência de Dados Fluviométricos

A estimativa das potencialidades hídricas superficiais da Bacia do Carás, que permita a elaboração de um projeto de aproveitamento hidroagrícola para a área, é o objetivo fundamental deste estudo, logo se fez necessário a determinação da série de deflúvios para a citada bacia.

Contudo, as dificuldades normais de tal estudo são ainda maiores neste caso pela absoluta falta de dados fluviométricos da referente bacia.

No interior da área não existe posto fluviométrico, sobre o qual se possa basear o estudo. O posto de Podimirim fica próximo, porém apresenta dois inconvenientes primordiais:

- drena uma superfície muito maior (3 200km<sup>2</sup>) do que aquela em questão;
- controla o rio dos Porcos, perto de sua confluência com o rio Salgado, rio esse sujeito à condições físicas e climáticas bastante diferentes das que predominam na região em questão.

Por outro lado, as estações de bacias representativas implantadas e utilizadas quando do desenvolvimento do estudo do G V J (1), o qual contemplou a presente área, não podiam ser empregados visto a disponibilidade de dados que apresentam: na verdade, as observações então efetuadas se restringem a apenas dois anos hidrológicos (outubro de 1962 a setembro de 1964) e, portanto, não representam adequadamente o regime de escoamentos que se pretendia estudar.

---

(1) GVJ-SUDENE/AUMIC - "Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaripe, Relatório de Hidrologia e Monografia Hidrológica", 1967.



O uso de metodologias empíricas, como a desenvolvida pelo Eng<sup>o</sup> Aguiar, não se mostrava também, recomendada, principalmente devido ao fato de só fornecerem resultados diretos a nível anual, incompatíveis com o requerido pelo estudo.

### 3.2 - O modelo Chuva x Deflúvio

Pelo exposto, tornou-se inevitável o emprego de uma metodologia apropriada que pudesse simular o ciclo de formação dos escoamentos fluviais a partir do conhecimento das condições físicas das bacias e dos dados climatológicos.

Nesta situação, o problema inicial surge na seleção de qual modelo de simulação chuva x deflúvio deva ser empregado.

Modelos sofisticados exigem o conhecimento de um grande número de parâmetros tornando-se, dessa maneira, inviáveis frente à escassez de informações hidrológicas; outros simplificados, tipo o do "Soil Conservation Service" (SCS), já utilizados quando de estudos hidrológicos sem qualquer série fluviométrica consistente, ainda que apresentem resultados satisfatórios para determinados estudos, não são recomendáveis para o nível de resultados ora pretendidos.

Optou-se pela utilização do modelo SMAP (1), o qual tem sido frequentemente aplicado, com sucesso, para estudos semelhantes em diversas bacias do semi-árido nordestino, inclusive no próprio Estado do Ceará. A simulação foi efetuada com intervalo de tempo mensal, visto ser esta a disponibilidade dos dados.

O modelo SMAP tem sua concepção básica estabelecida para nível diário, apresentando, porém, uma versão SMAP/EXP para nível mensal.

A nível diário são utilizados três reservatórios li-

---

(1) LOPES, J.E.G., BRAGA JR, B.P.F. & CONEJO, J.G.L. Simulação Hidrológica: aplicações de um modelo simplificado. In Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol 2, Fortaleza, 1981.

neares representando a superfície, o solo (camada superior) e o aquífero:

- para cada evento de precipitação (PREC), é calculada, através da equação do SCS, a parcela que abastecerá o reservatório linear traduzindo o armazenamento superficial (RES), o qual será deplecionado a uma taxa constante (K2) resultando o escoamento superficial direto (ESD);
- a lâmina restante (PREC-ESD) irá abastecer o reservatório da camada superior do solo de capacidade máxima SAT, sofrendo as perdas por evaporação, seja a evaporação potencial seja a evaporação do solo (RSOLO) no momento. Se a umidade armazenada for maior do que a máxima que o solo pode reter traduzida por sua capacidade de campo (CAPC), ocorrerá uma alimentação (REC), decorrente da ação da gravidade, para o reservatório do aquífero através de um coeficiente de recarga (CREC);
- o reservatório subterrâneo será deplecionado em função do seu nível RSUB e da constante de depleção do escoamento de base K1, resultando o escoamento básico (EB);
- a junção dos escoamentos superficial (ESD) e básico (EB) fornecerá o escoamento total na seção de interesse.

A nível mensal, a técnica do SCS, que só pode ser aplicada a cada evento, é substituído por uma função exponencial da taxa de umidade do solo (TU); o expoente E2 exerce o controle do escoamento superficial, calculado a partir dos dados de chuva de cada mês.

Da mesma maneira são, também, funções exponenciais da taxa de umidade: a recarga do aquífero (REC) e a evaporação real (ER), determinadas, respectivamente, através dos expoentes E3 e E1.

O fluxograma do modelo, conforme utilizado, encontra-se na Figura 3 a seguir, tendo os seguintes parâmetros:

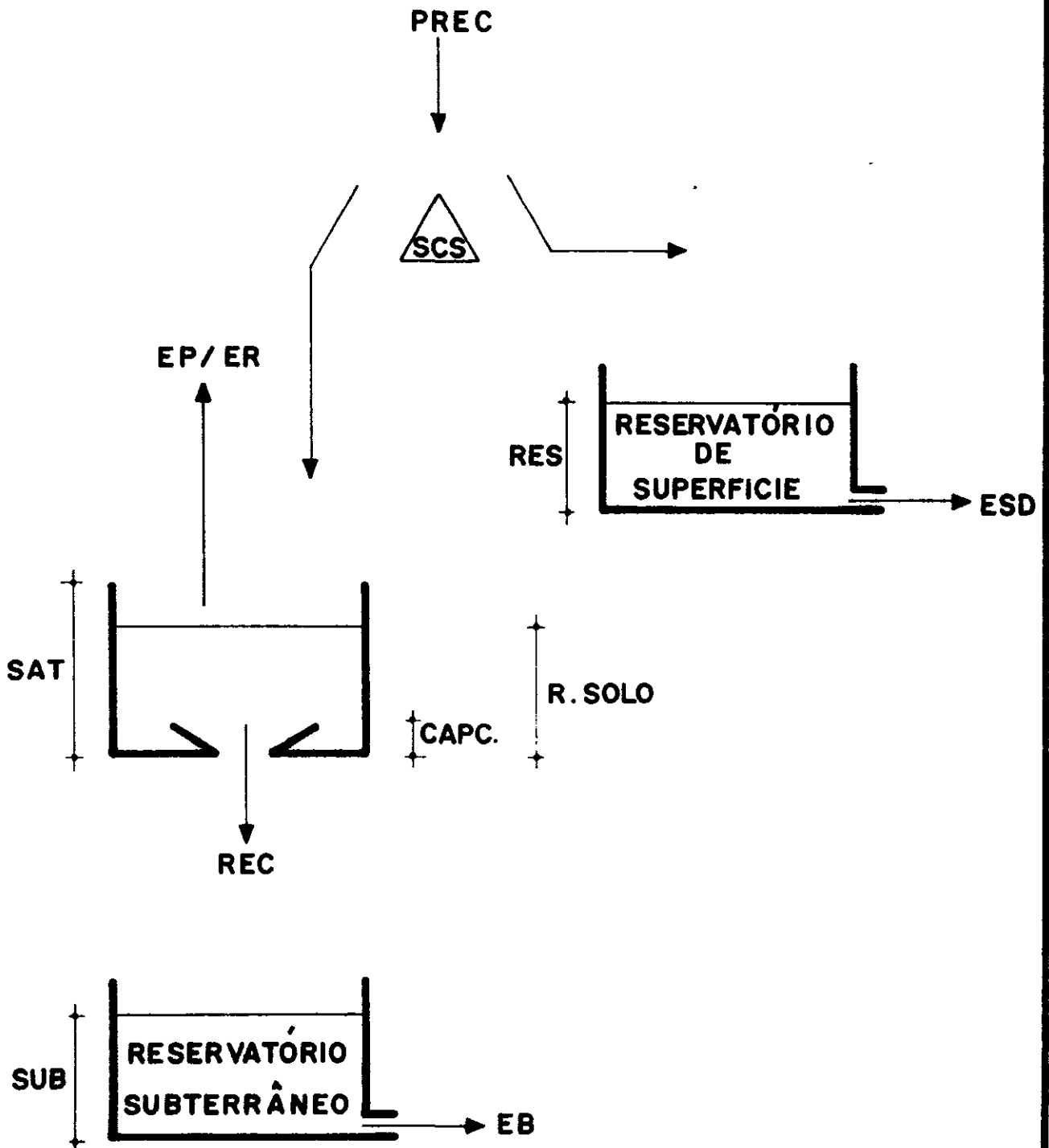


FIGURA 3 - Fluxograma Físico - MODELO SMAP

000043

- P - precipitação mensal (mm);
- AVAP - evaporação potencial mensal (mm);
- ÁREA - área da bacia (Km<sup>2</sup>);
- SOLIM - umidade inicial do solo (%);
- CREC - coeficiente de recarga associado à permeabilidade do solo, estimado e utilizado na calibragem do modelo, no caso, tal parâmetro reduz em muito sua influência, visto a inexpressividade do fluxo percolado e conseqüente descarga de base;
- K - coeficiente de depleção do escoamento de base;
- SAT - capacidade de saturação do solo, e nível de acumulação difusa estimada com base nos estudos pedológicos e conhecimento da bacia e, no modelo (mm);
- E1 - expoente de equação da evaporação real, parâmetro de ajuste e calibragem;
- E2 - expoente de equação do escoamento superficial, parâmetro de ajuste e calibragem;
- E3 - expoente da equação recarga, parâmetro de ajuste e calibragem do modelo;
- REC - recarga mensal do aquífero (mm);
- RSUB - reserva do aquífero (mm);
- RSOLO - reserva de umidade do solo (mm);
- TU - taxa de umidade do solo (%);
- ES - escoamento superficial mensal (mm);
- EB - escoamento de base mensal (mm);
- AVAPR - evaporação mensal real (mm);
- QCALC - vazão mensal gerada (m<sup>3</sup>/s).

### 3.3 - A Calibragem do Modelo

A ausência de dados observados de descarga obriga ao emprego de um processo simplificado de calibragem do modelo.

Desta maneira a única opção viável constou do ajustamento a partir das lâminas médias anuais associadas à região, segundo determinadas pelo PLIRHINE - Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste, de autoria da SUDENE.

De acordo com o estudo citado anteriormente a bacia dos Carás apresenta duas regiões, a saber, uma cristalina e outra sedimentar, as quais apresentam comportamento hidrológico distintos, logo a calibragem se deu para as duas condições, também consideradas no estudo citado acima.

A parcela cristalina da bacia foi ajustada para o de flúvio médio anual de 90mm, e a sedimentar para o valor de 60 mm.

A determinação dos parâmetros de entrada foi um trabalho criterioso, limitado, compreensivelmente, pelo reduzido nível de informações sobre alguns deles.

As duas partes da bacia foram tratadas independentemente, isto é, consideradas como formadas por sub-bacias integralmente sedimentares ou cristalinas.

A precipitação média sobre as bacias foi calculada através do Método de Thiessen. O polígono está mostrado no mapa 2, enquanto que os coeficientes, para os postos e sub-bacias estudadas, constam no quadro 3.1.



QUADRO 3.1

COEFICIENTES DE THIESSEN

(Período 1961/78)

BACIA DOS CARÁS	POSTO	QUINTINO	CARIRIAÇU	CRATO
Sub-Bacia	Cristalino	0,510	0,372	0,118
	Sedimentar	0,319	0,078	0,603

O modelo foi calibrado utilizando-se a técnica de otimização baseada no método de ROSENBROOK, descrita a seguir, tendo como parâmetros de ajuste SAT, CREC e os coeficientes E1, E2 e E3.

3.3.1 - O Método de Otimização

O Método de Rosenbrook consiste em processo iterativo de minimização de uma função F de n parâmetros, através de incrementos nesses parâmetros e de verificação do comportamento da função F. A título ilustrativo, o método será explicado para uma função F de parâmetros  $\theta_1$  e  $\theta_2$ .

A função F ( $\theta_1, \theta_2$ ) pode ser visualizada como um espaço de três dimensões em que  $\theta_1$  e  $\theta_2$  representam dois eixos perpendiculares e F é medido no eixo ortogonal ao plano definido por  $\theta_1$  e  $\theta_2$ . Se a figura geométrica for formada como um sino, por exemplo, e for colocada uma bola num ponto qualquer desse sino, ela irá repousar no ponto baixo, que pode ser pensado como o mínimo de função F com as coordenadas  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , que se deseja determinar.

O processo parte de uma aproximação do F mínimo ( $\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)}$ ), e a iteração começa explorando ao longo dos

eixos  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , da seguinte maneira: toma-se um incremento no sentido de  $(\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)})$  ao ponto  $(\theta_1^{(0)} + S_1, \theta_2^{(0)})$  e se não existe acréscimo no valor de F a tentativa é considerada "sucesso", o novo ponto é retido como "estimador" do mínimo e o tamanho do incremento é multiplicado por  $\alpha$ , onde  $0 < \alpha < 1,0$ . Se a tentativa foi falha, rejeita-se o ponto  $(\theta_1^{(0)} + S_1, \theta_2^{(0)})$ , e o incremento é multiplicado por  $\beta$ , onde  $-1,0 < \beta < 0$ .

Toma-se agora um incremento,  $S_2$ , na direção  $\theta_2$ , e efetua-se o mesmo procedimento.

O processo continua alternando as direções  $\theta_1$  e  $\theta_2$  até que em algum momento, haja, para ambas direções, uma tentativa "sucesso" seguida por uma "falha". Nesse ponto é concluído o primeiro estágio do procedimento iterativo.

O segundo estágio trata do estabelecimento de novas direções (ou eixos) de pesquisa, no plano  $\theta_1, \theta_2$ , para uma nova etapa de iterações.

Após a ocorrência de "sucesso" seguido por uma "falha" em ambas direções, o ponto em que esta situação ocorre é denominado  $(\theta_1^{(1)}, \theta_2^{(1)})$ . Liga-se esse ponto ao ponto  $(\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)})$  que determina um novo eixo, com o segundo perpendicular a este. O primeiro eixo representa a direção do progresso total feita durante o primeiro estágio. O segundo estágio segue agora o mesmo procedimento pelo primeiro e o processo, como um todo, é concluído após um número apropriado de avaliações de função F.

No caso do modelo mensal utilizado, calibrou-se, através deste método, os parâmetros de cada parte da bacia de forma a que a diferença entre o valor médio anual da série de deflúvios mensais gerados e o valor do deflúvio médio de ajuste (90 ou 60 mm) fosse o menor possível.

A função adotada para a otimização foi:

$$F = \frac{(2QAJU \times QCALC - QCALC^2)}{QAJU^2} - 1$$

onde Qcalc = deflúvio médio anual calculado;



$Q_{aju}$  = deflúvio médio anual de ajuste.

### 3.4 - As Séries de Deflúvios

Os resultados obtidos com o modelo chuva x deflúvio são apresentados a seguir, tanto no que concerne às séries de deflúvios gerados como aos parâmetros otimizados.

Em listagem de computador, os resultados são mostrados para cada parcela da bacia por tipo de formação geológica, isto é, sedimentar ou cristalino.

O quadro 3.2 apresenta os valores médios das vazões para cada porção e para toda a bacia.

QUADRO 3.2

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

(m<sup>3</sup>/s)

Bacia dos Carás

PARCELA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CRISTALINO	310,50	0,69	2,39	4,41	2,64	0,33	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,16
SEDIMENTAR	238,50	0,03	0,25	1,17	2,04	1,43	0,62	0,18	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00
TOTAL	549,00	0,72	2,64	5,68	4,68	1,76	0,65	0,19	0,08	0,03	0,04	0,07	0,16

000050

**CAPÍTULO IV**

4.0 - Regularização da Bacia

4.1 - Açudagem e Controle

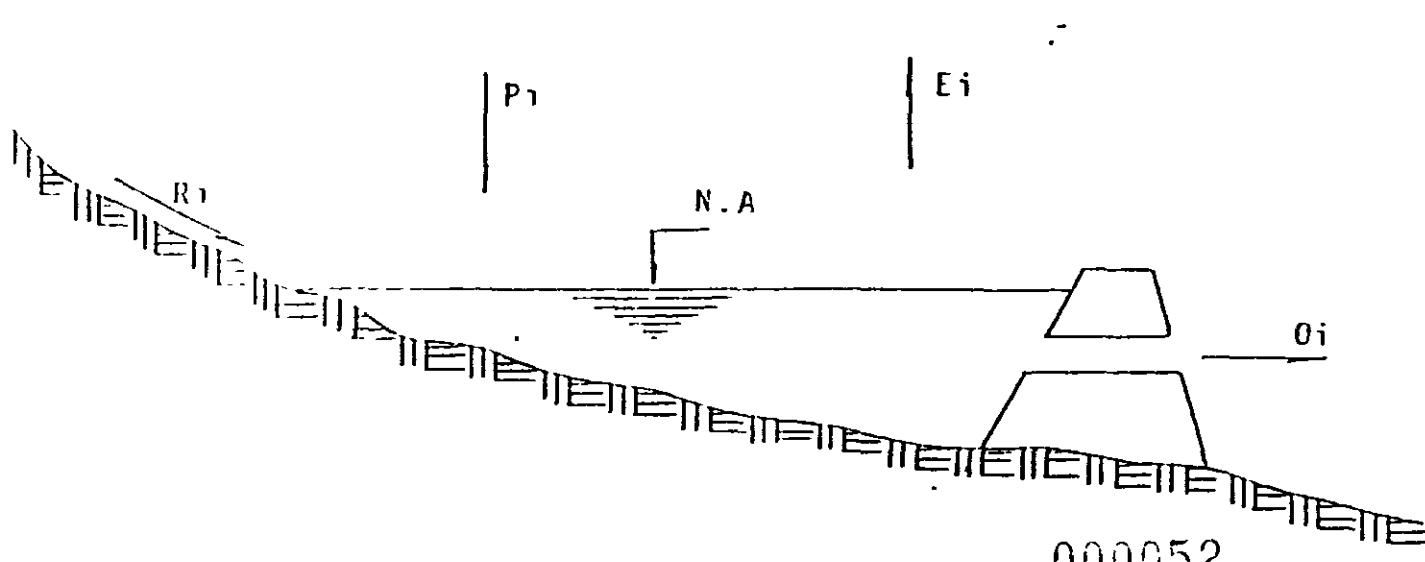
A bacia do Carás é parcialmente controlada por dois reservatórios públicos, os açudes Umari e Riacho dos Carneiros.

4.1.1 - Gestão dos Açudes

A gestão simulada dos reservatórios Umari e Riacho dos Carneiros na bacia do Carás foi estudada pelo método das explorações fictícias.

- Descrição do Modelo

O Método das Explorações Fictícias consiste em estudar o balanço hídrico de um reservatório ao longo de período de tempo T, supondo-se que as condições hidrológicas anteriores e conhecidas, não se modificarão, e retirando - se uma determinada vazão para fins utilitários. O balanço hidráulico de um reservatório está mostrado esquematicamente abaixo:



Matematicamente tem-se a seguinte relação:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \frac{A_i + A_{i+1}}{2} + R_i - S_i - O_i$$

onde:

$V_{i+1}$  e  $V_i$  = Volume do reservatório no fim dos meses  $i+1$  e  $i$ ;

$P_i$  = Precipitação direta sobre o lago no mês  $i$ ,

$E_i$  = Evaporação do espelho d'água no mês  $i$ ,

$A_i$  e  $A_{i+1}$  = Área do espelho d'água no fim dos meses  $i + i+1$ ;

$R_i$  = Volume afluente ao reservatório no mês  $i$ ;

$O_i$  = Volume retirado do reservatório no mês  $i$ .

Para o desenvolvimento do método, simula-se a operação do açude para diversos valores de  $O_i$  e estuda-se a evolução do nível do reservatório ao longo do período estudado.

Quando o nível do reservatório for inferior ao mínimo de operação fica caracterizado o colapso do reservatório. Para a determinação da vazão regularizada se faz necessário a introdução do conceito de frequência de ruína. A frequência de ruína ( $fr$ ) é definida pela relação  $\frac{n}{N}$ , em que  $n$  é o número de anos em que ocorreu um período consecutivo de dois ou mais meses em que o açude atingiu cotas inferiores à galeria e  $N$  é o número total de anos utilizados na simulação.

Como é usual em planejamento de recursos hídricos, deve-se dimensionar o sistema para a frequência de 90% de segurança.

A simulação foi feita através do programa Gestão Simulada de Operação do Açude admitindo as seguintes hipóteses:

- . Quando da ocorrência de subperíodo de sangria toda a vazão é escoada no início do mês.
- . Quando o nível da água no açude baixa da cota da galeria, cessa toda retirada continuando apenas o processo de evaporação.
- . Admitiu-se que no início da operação o reservatório encontrava-se na cota igual à média entre a de sangria e do porão.
- . A evaporação em cada mês corresponde à média mensal do mês respectivo.

#### Dados Utilizados

##### Evaporação do Espelho D'Água

Os dados para evaporação do espelho d'água foram obtidos a partir dos dados de evaporação do tanque classe A multiplicados por 0,75. Os dados constam do quadro 2.5 do presente relatório.

##### Pluviometria Mensal no Espelho D'Água

Utilizamos para os dois açudes, os dados tratados nos estudos hidrológicos do Plano de Valorização Hidroagrícola do Cariri Ocidental e estão transcritos a seguir:



**Escoamento Superficial**

Os açudes pertencem à bacia do Cariri Ocidental, sub-bacia Carás - Cristalino. Daí consideramos para os dois reservatórios coeficientes de correção para escoamento superficial proporcionais às áreas das bacias hidrográficas. Estes coeficientes foram aplicados aos dados do relatório hidrológico a seguir:

ANO	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142
1951	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1952	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1953	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1954	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1955	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1956	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1957	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1958	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1959	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1960	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1961	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1962	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1963	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1964	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1965	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1966	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1967	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1968	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1969	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1970	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1971	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1972	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1973	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1974	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1975	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1976	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1977	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1978	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1979	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17



Quadros Cota X Área X Volume

Obtidos a partir dos projetos dos dois açudes:

AÇUDE: UMARI

QUADRO COTA/ÁREA/VOLUME

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
420	61.800	123.600
425	419.400	1.326.600
430	853.200	4.508.100
435	1.939.200	11.489.100
440	3.358.200	24.732.600
445	4.752.000	45.008.100

Cota da soleira do sangradouro = 441,00

Cota do porão = 422,00

AÇUDE: RIACHO DOS CARNEIROS

QUADRO COTA/ÁREA/VOLUME

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
64	750	375
65	2.000	1.750
66	2.500	4.000
67	7.500	9.000
68	15.000	20.250
69	22.500	39.000
70	35.000	67.750
71	46.500	108.500
72	57.750	160.625
73	75.250	227.125
74	110.000	319.750
75	143.750	446.625

CONT.

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
76	181.000	609.000
77	222.750	870.875
78	297.500	1.071.000
79	380.250	1.409.880
80	492.250	1.846.130
81	573.500	2.379.000
82	653.000	2.997.250
83	845.250	3.751.380
84	1.021.000	4.684.500
85	1.205.500	5.797.750
86	1.370.000	7.085.500
87	1.549.250	8.545.130
88	1.823.000	10.231.300
89	2.100.750	12.193.100
90	2.372.500	14.439.800
91	2.588.250	16.930.100
92	2.885.500	19.667.000
93	3.115.250	22.667.400
94	3.375.000	25.913.000
95	3.640.500	29.421.300
96	3.910.250	33.196.600
97	4.058.000	37.180.800
98	4.782.750	41.451.100
99	4.905.500	46.045.300
100	5.095.250	50.945.600

Cota da soleira do sangradouro = 97.00

Cota do porão = 78.00

Volume Retirado do Reservatório, por Mês:

Para cada reservatório foram realizadas quatro simulações, cujos dados são apresentados no quadro a seguir:

Descarga pela Tomada D'água dos Reservatórios (m<sup>3</sup>/mês)

Simulação	Reservatório	Umari	Riacho dos Carneiros
	1		400.000
2		450.000	200.000
3		500.000	250.000
4		550.000	300.000

- Resultados Obtidos

Do processamento dos dados descritos, foram gerados oito relatórios cada um com uma simulação. O resumo destes resultados é o seguinte:

UMARI

Descarga pela galeria		Frequência de Ruína(%)
m <sup>3</sup> /mês	m <sup>3</sup> /s	
400.000	0,1543	3,0
450.000	0,1736	9,0
500.000	0,1929	16,4
550.000	0,2122	19,4

RIACHO DOS CARNEIROS

Descarga pela galeria		Frequência de Ruína(%)
m <sup>3</sup> /mês	m <sup>3</sup> /s	
150.000	0,0579	1,5
200.000	0,0772	4,5
250.000	0,0965	19,4
300.000	0,1157	28,4

Estes relatórios, juntamente com os fluxogramas e listagens dos programas encontram-se à disposição do CEPA-CE para quaisquer esclarecimentos.

A descarga regularizada para fins de projeto, foi de terminada para uma frequência de ruína de 10%, como demonstram os desenhos seguintes.

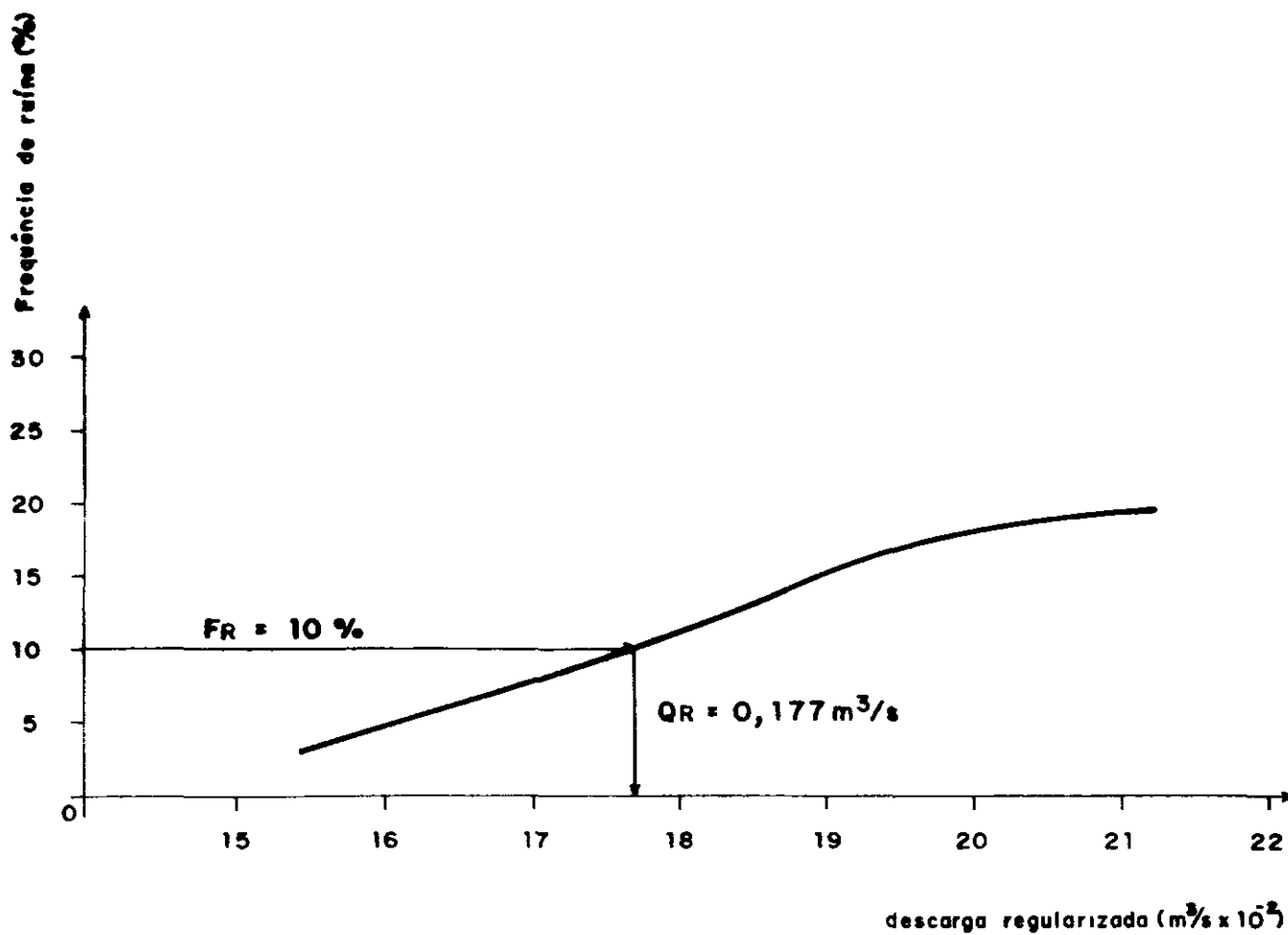
- Análise dos Resultados da Simulação

O açude Umari apresentou para uma frequência de segurança de 90% ( $F_r = 10\%$ ) uma descarga regularizada de  $0,177\text{m}^3/\text{s}$  que corresponde a um volume anual de  $5.580.000\text{m}^3$ . Essa regularização representa a possibilidade de irrigar 540 hectares com uma demanda média de  $10.253\text{ m}^3/\text{ha} \times \text{ano}$ .

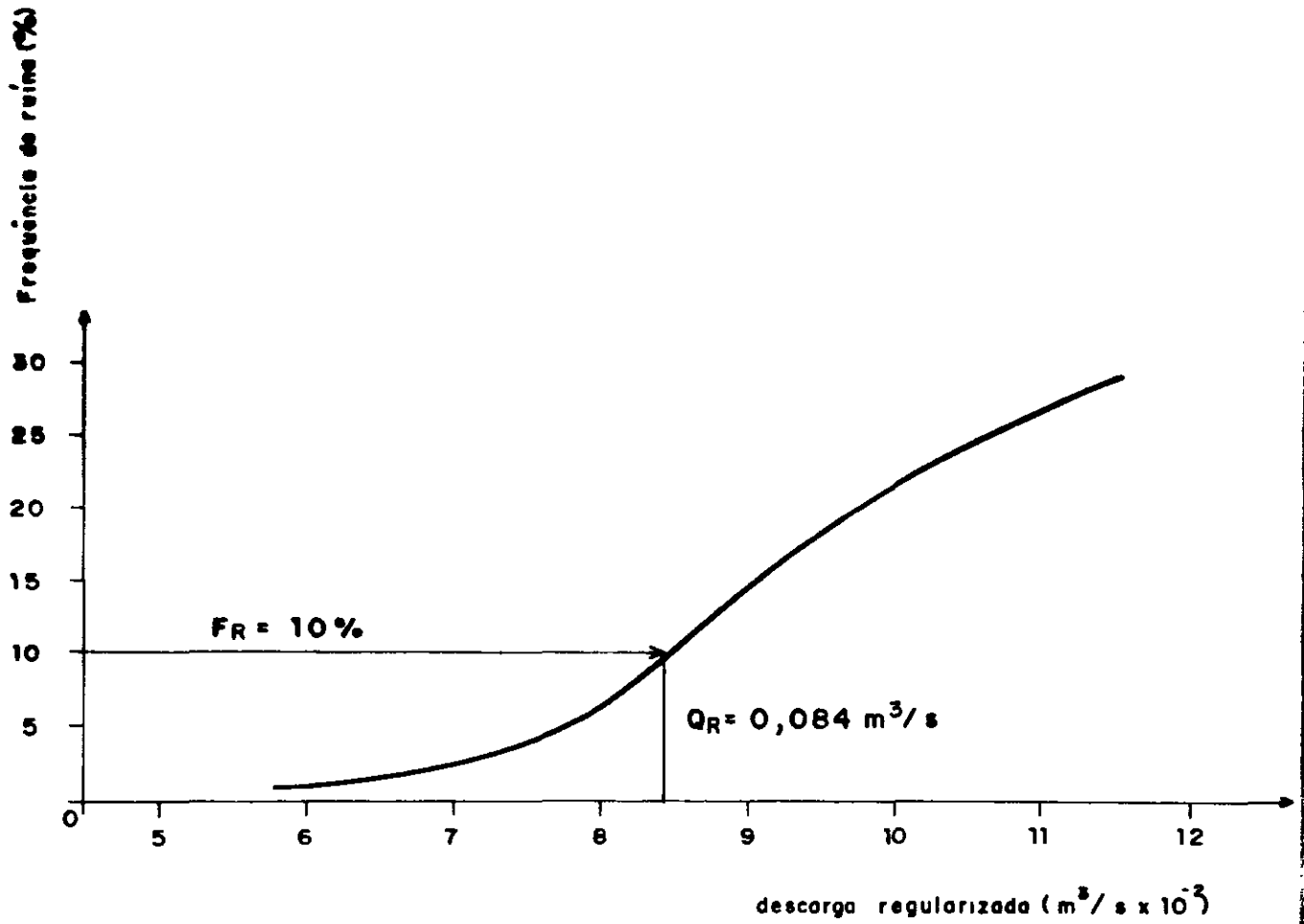
O açude Riacho dos Carneiros, para a mesma garantia, regulariza uma vazão de  $0,084\text{m}^3/\text{s}$  que corresponde a um volume anual de aproximadamente  $2.650.000\text{m}^3$  e permite irrigar uma área de 258 ha.

4.1.2 - Outras Possibilidades de Aproveitamento D'água Superficial.

Analisando o quadro referente à sub-bacia do Carás, apresentado no Capítulo I Ítem 1.3, verificamos a possibilidade de 8 (oito) outros possíveis barramentos que permitiriam uma descarga de aproximadamente  $6.670.000\text{m}^3/\text{ano}$  com a consequente irrigação de 650 ha. Os açudes resultantes destes barramentos controlariam, uma área de 15.170 ha da sub-bacia Carás.



Curva - Descarga regularizada ( $m^3/s \times 10^{-2}$ ) versus Freqüência de ruína para o Açude UMARI



Curva - Descarga regularizada ( $m^3/s \times 10^{-3}$ ) versus Frecuencia de ruina para o Açude RIACHO DOS CARNEIROS

**CAPÍTULO III**

### 3 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

#### 3.1 - A ausência de Dados Fluviométricos

A estimativa das potencialidades hídricas superficiais da Bacia do Carás, que permita a elaboração de um projeto de aproveitamento hidroagrícola para a área, é o objetivo fundamental deste estudo, logo se fez necessário a determinação da série de deflúvios para a citada bacia.

Contudo, as dificuldades normais de tal estudo são ainda maiores neste caso pela absoluta falta de dados fluviométricos da referente bacia.

No interior da área não existe posto fluviométrico, sobre o qual se possa basear o estudo. O posto de Podimirim fica próximo, porém apresenta dois inconvenientes primordiais:

- drena uma superfície muito maior (3 200km<sup>2</sup>) do que aquela em questão;
- controla o rio dos Porcos, perto de sua confluência com o rio Salgado, rio esse sujeito à condições físicas e climáticas bastante diferentes das que predominam na região em questão.

Por outro lado, as estações de bacias representativas implantadas e utilizadas quando do desenvolvimento do estudo do G V J (1), o qual contemplou a presente área, não podiam ser empregados visto a disponibilidade de dados que apresentam: na verdade, as observações então efetuadas se restringem a apenas dois anos hidrológicos (outubro de 1962 a setembro de 1964) e, portanto, não representam adequadamente o regime de escoamentos que se pretendia estudar.

---

(1) GVJ-SUDENE/AUMIC - "Estudo Geral de Base do Vale do Jaguari  
be, Relatório de Hidrologia e Monografia Hidrológica ,  
1967.



O uso de metodologias empíricas, como a desenvolvida pelo Eng<sup>o</sup> Aguiar, não se mostrava também, recomendada, principalmente devido ao fato de só fornecerem resultados diretos a nível anual, incompatíveis com o requerido pelo estudo.

### 3.2 - O modelo Chuva x Deflúvio

Pelo exposto, tornou-se inevitável o emprego de uma metodologia apropriada que pudesse simular o ciclo de formação dos escoamentos fluviais a partir do conhecimento das condições físicas das bacias e dos dados climatológicos.

Nesta situação, o problema inicial surge na seleção de qual modelo de simulação chuva x deflúvio deva ser empregado.

Modelos sofisticados exigem o conhecimento de um grande número de parâmetros tornando-se, dessa maneira, inviáveis frente à escassez de informações hidrológicas; outros simplificados, tipo o do "Soil Conservation Service" (SCS), já utilizados quando de estudos hidrológicos sem qualquer série fluviométrica consistente, ainda que apresentem resultados satisfatórios para determinados estudos, não são recomendáveis para o nível de resultados ora pretendidos.

Optou-se pela utilização do modelo SMAP (1), o qual tem sido frequentemente aplicado, com sucesso, para estudos semelhantes em diversas bacias do semi-árido nordestino, inclusive no próprio Estado do Ceará. A simulação foi efetuada com intervalo de tempo mensal, visto ser esta a disponibilidade dos dados.

O modelo SMAP tem sua concepção básica estabelecida para nível diário, apresentando, porém, uma versão SMAP/EXP para nível mensal.

A nível diário são utilizados três reservatórios li-

---

(1) LOPES, J.E.G, BRAGA JR, B.P.F. & CONEJO, J.G.L. Simulação Hidrológica: aplicações de um modelo simplificado. In Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol 2, Fortaleza, 1981.

neares representando a superfície, o solo (camada superior) e o aquífero:

- para cada evento de precipitação (PREC), é calculada, através da equação do SCS, a parcela que abastecerá o reservatório linear traduzindo o armazenamento superficial (RES), o qual será deplecionado a uma taxa constante ( $K_2$ ) resultando o escoamento superficial direto (ESD);
- a lâmina restante (PREC-ESD) irá abastecer o reservatório da camada superior do solo de capacidade máxima SAT, sofrendo as perdas por evaporação, seja a evaporação potencial seja a evaporação do solo (RSOLO) no momento. Se a umidade armazenada for maior do que a máxima que o solo pode reter traduzida por sua capacidade de campo (CAPC), ocorrerá uma alimentação (REC), decorrente da ação da gravidade, para o reservatório do aquífero através de um coeficiente de recarga (CREC);
- o reservatório subterrâneo será deplecionado em função do seu nível RSUB e da constante de depleção do escoamento de base  $K_1$ , resultando o escoamento básico (EB);
- a junção dos escoamentos superficial (ESD) e básico (EB) fornecerá o escoamento total na seção de interesse.

A nível mensal, a técnica do SCS, que só pode ser aplicada a cada evento, é substituído por uma função exponencial da taxa de umidade do solo (TU); o expoente  $E_2$  exerce o controle do escoamento superficial, calculado a partir dos dados de chuva de cada mês.

Da mesma maneira são, também, funções exponenciais da taxa de umidade: a recarga do aquífero (REC) e a evaporação real (ER), determinadas, respectivamente, através dos expoentes  $E_3$  e  $E_1$ .

O fluxograma do modelo, conforme utilizado, encontra-se na Figura 3 a seguir, tendo os seguintes parâmetros:

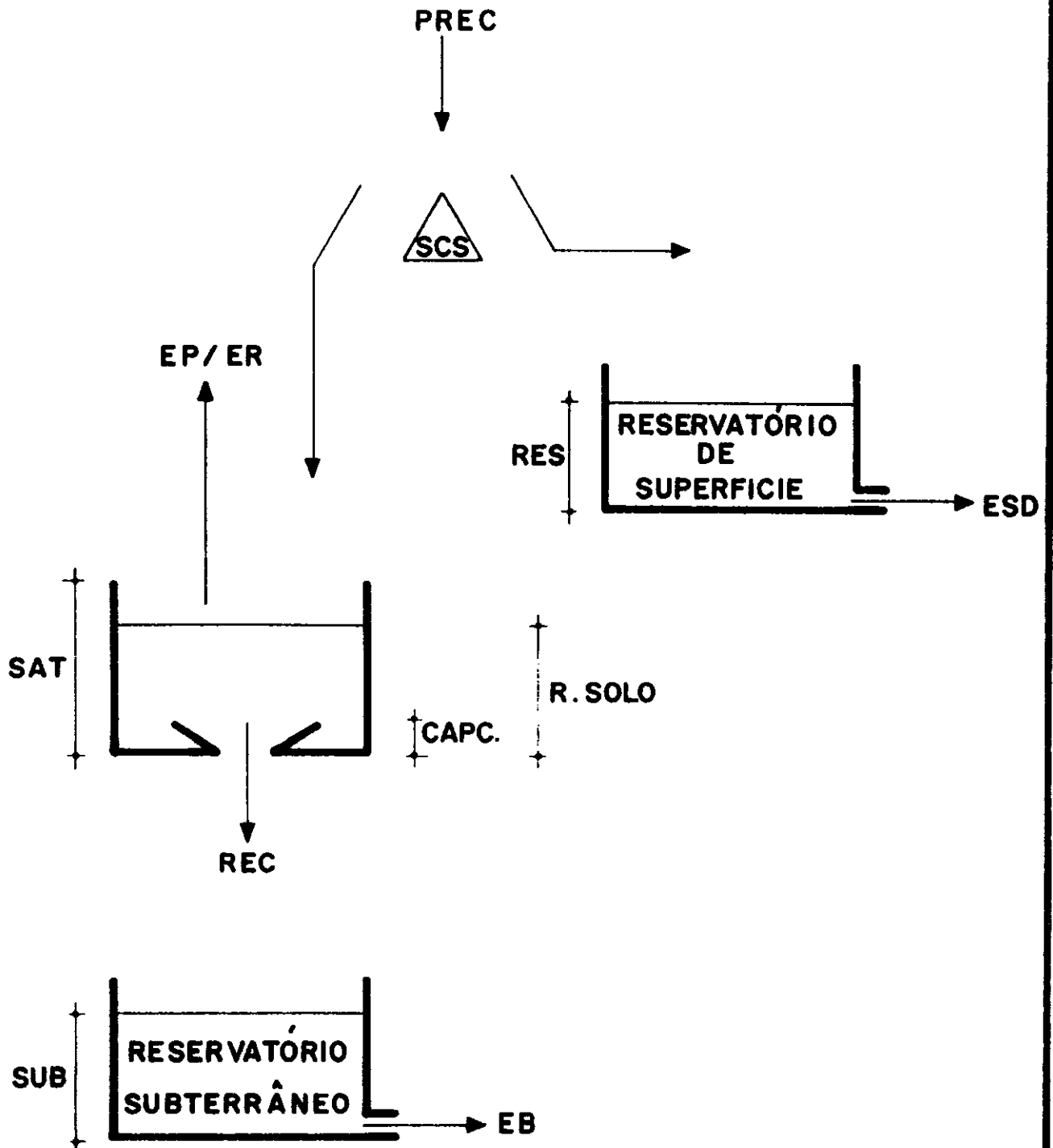


FIGURA 3 - Fluxograma Físico - MODELO SMAP

000043

- P - precipitação mensal (mm);
- AVAP - evaporação potencial mensal (mm);
- ÁREA - área da bacia (Km<sup>2</sup>);
- SOLIM - umidade inicial do solo (%);
- CREC - coeficiente de recarga associado à permeabilidade do solo, estimado e utilizado na calibragem do modelo, no caso, tal parâmetro reduz em muito sua influência, visto a inexpressividade do fluxo percolado e conseqüente descarga de base;
- K - coeficiente de depleção do escoamento de base;
- SAT - capacidade de saturação do solo, e nível de acumulação difusa estimada com base nos estudos pedológicos e conhecimento da bacia e, no modelo (mm);
- E1 - expoente de equação da evaporação real, parâmetro de ajuste e calibragem;
- E2 - expoente de equação do escoamento superficial, parâmetro de ajuste e calibragem;
- E3 - expoente da equação recarga, parâmetro de ajuste e calibragem do modelo;
- REC - recarga mensal do aquífero (mm);
- RSUB - reserva do aquífero (mm);
- RSOLO - reserva de umidade do solo (mm);
- TU - taxa de umidade do solo (%);
- ES - escoamento superficial mensal (mm);
- EB - escoamento de base mensal (mm);
- AVAPR - evaporação mensal real (mm);
- QCALC - vazão mensal gerada (m<sup>3</sup>/s).

### 3.3 - A Calibragem do Modelo

A ausência de dados observados de descarga obriga ao emprego de um processo simplificado de calibragem do modelo.

Desta maneira a única opção viável constou do ajustamento a partir das lâminas médias anuais associadas à região, segundo determinadas pelo PLIRHINE - Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste, de autoria da SUDENE.

De acordo com o estudo citado anteriormente a bacia dos Carás apresenta duas regiões, a saber, uma cristalina e outra sedimentar, as quais apresentam comportamento hidrológico distintos, logo a calibragem se deu para as duas condições, também consideradas no estudo citado acima.

A parcela cristalina da bacia foi ajustada para o deflúvio médio anual de 90mm, e a sedimentar para o valor de 60 mm.

A determinação dos parâmetros de entrada foi um trabalho criterioso, limitado, compreensivelmente, pelo reduzido nível de informações sobre alguns deles.

As duas partes da bacia foram tratadas independentemente, isto é, consideradas como formadas por sub-bacias integralmente sedimentares ou cristalinas.

A precipitação média sobre as bacias foi calculada através do Método de Thiessen. O polígono está mostrado no mapa 2, enquanto que os coeficientes, para os postos e sub-bacias estudadas, constam no quadro 3.1.



QUADRO 3.1

COEFICIENTES DE THIESSEN

(Período 1961/78)

BACIA DOS CARÁS	POSTO	QUINTINO	CARIRIAÇU	CRATO
Sub-Bacia	Cristalino	0,510	0,372	0,118
	Sedimentar	0,319	0,078	0,603

O modelo foi calibrado utilizando-se a técnica de otimização baseada no método de ROSENBROOK, descrita a seguir, tendo como parâmetros de ajuste SAT, CREC e os coeficientes E1, E2 e E3.

3.3.1 - O Método de Otimização

O Método de Rosenbrook consiste em processo iterativo de minimização de uma função F de n parâmetros, através de incrementos nesses parâmetros e de verificação do comportamento da função F. A título ilustrativo, o método será explicado para uma função F de parâmetros  $\theta_1$  e  $\theta_2$ .

A função F ( $\theta_1, \theta_2$ ) pode ser visualizada como um espaço de três dimensões em que  $\theta_1$  e  $\theta_2$  representam dois eixos perpendiculares e F é medido no eixo ortogonal ao plano definido por  $\theta_1$  e  $\theta_2$ . Se a figura geométrica for formada como um sino, por exemplo, e for colocada uma bola num ponto qualquer desse sino, ela irá repousar no ponto baixo, que pode ser pensado como o mínimo de função F com as coordenadas  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , que se deseja determinar.

O processo parte de uma aproximação do F mínimo ( $\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)}$ ), e a iteração começa explorando ao longo dos

eixos  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , da seguinte maneira: toma-se um incremento no sentido de  $(\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)})$  ao ponto  $(\theta_1^{(0)} + S_1, \theta_2^{(0)})$  e se não existe acréscimo no valor de F a tentativa é considerada "sucesso", o novo ponto é retido como "estimador" do mínimo e o tamanho do incremento é multiplicado por  $\alpha$ , onde  $0 < \alpha < 1,0$ . Se a tentativa foi falha, rejeita-se o ponto  $(\theta_1^{(0)} + S_1, \theta_2^{(0)})$ , e o incremento é multiplicado por  $\beta$ , onde  $-1,0 < \beta < 0$ .

Toma-se agora um incremento,  $S_2$ , na direção  $\theta_2$ , e efetua-se o mesmo procedimento.

O processo continua alternando as direções  $\theta_1$  e  $\theta_2$  até que em algum momento, haja, para ambas direções, uma tentativa "sucesso" seguida por uma "falha". Nesse ponto é concluído o primeiro estágio do procedimento iterativo.

O segundo estágio trata do estabelecimento de novas direções (ou eixos) de pesquisa, no plano  $\theta_1, \theta_2$ , para uma nova etapa de iterações.

Após a ocorrência de "sucesso" seguido por uma "falha" em ambas direções, o ponto em que esta situação ocorre é denominado  $(\theta_1^{(1)}, \theta_2^{(1)})$ . Liga-se esse ponto ao ponto  $(\theta_1^{(0)}, \theta_2^{(0)})$  que determina um novo eixo, com o segundo perpendicular a este. O primeiro eixo representa a direção do progresso total feita durante o primeiro estágio. O segundo estágio segue agora o mesmo procedimento pelo primeiro e o processo, como um todo, é concluído após um número apropriado de avaliações de função F.

No caso do modelo mensal utilizado, calibrou-se, através deste método, os parâmetros de cada parte da bacia de forma a que a diferença entre o valor médio anual da série de deflúvios mensais gerados e o valor do deflúvio médio de ajuste (90 ou 60 mm) fosse o menor possível.

A função adotada para a otimização foi:

$$F = \frac{(2QAJU \times QCALC - QCALC^2)}{QAJU^2} - 1$$

onde Qcalc = deflúvio médio anual calculado;



Qaju = deflúvio médio anual de ajuste.

### 3.4 - As Séries de Deflúvios

Os resultados obtidos com o modelo chuva x deflúvio são apresentados a seguir, tanto no que concerne às séries de deflúvios gerados como aos parâmetros otimizados.

Em listagem de computador, os resultados são mostrados para cada parcela da bacia por tipo de formação geológica, isto é, sedimentar ou cristalino.

O quadro 3.2 apresenta os valores médios das vazões para cada porção e para toda a bacia.

QUADRO 3.2

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

(m<sup>3</sup>/s)

Bacia dos Carás

PARCELA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CRISTALINO	310,50	0,69	2,39	4,41	2,64	0,33	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,16
SEDIMENTAR	238,50	0,03	0,25	1,17	2,04	1,43	0,62	0,18	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00
TOTAL	549,00	0,72	2,64	5,68	4,68	1,76	0,65	0,19	0,08	0,03	0,04	0,07	0,16

000050

**CAPÍTULO IV**

000051

4.0 - Regularização da Bacia

4.1 - Açudagem e Controle

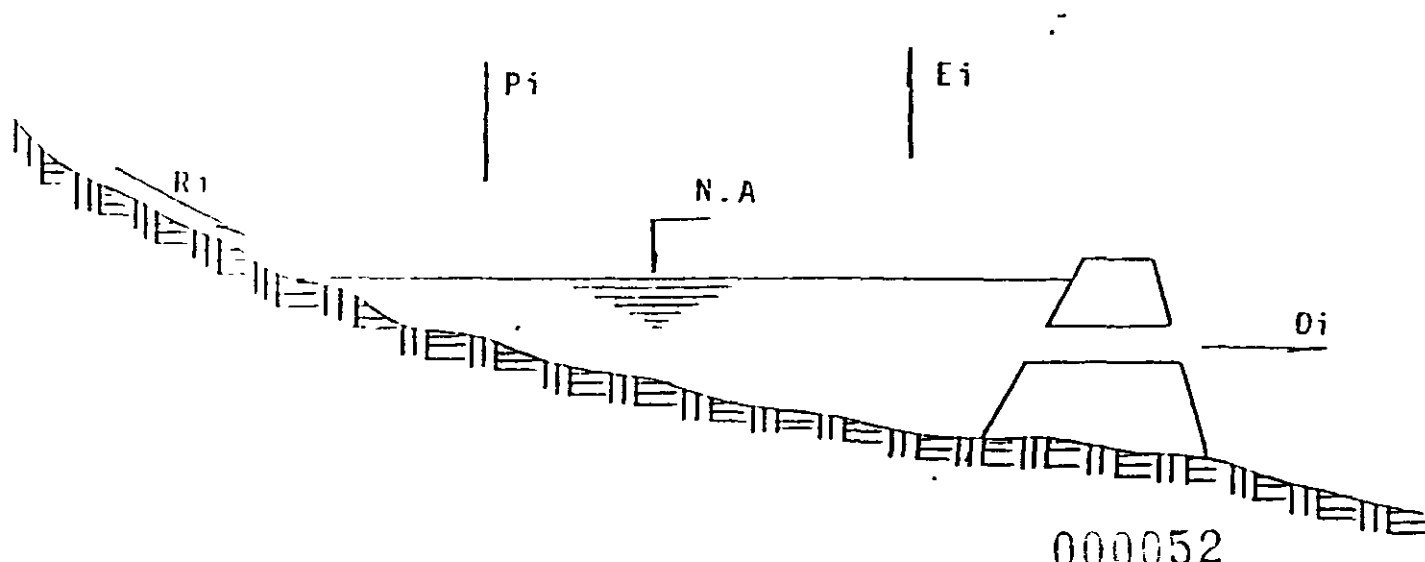
A bacia do Carás é parcialmente controlada por dois reservatórios públicos, os açudes Umari e Riacho dos Carneiros.

4.1.1 - Gestão dos Açudes

A gestão simulada dos reservatórios Umari e Riacho dos Carneiros na bacia do Carás foi estudada pelo método das explorações fictícias.

- Descrição do Modelo

O Método das Explorações Fictícias consiste em estudar o balanço hídrico de um reservatório ao longo de período de tempo T, supondo-se que as condições hidrológicas anteriores e conhecidas, não se modificarão, e retirando-se uma determinada vazão para fins utilitários. O balanço hidráulico de um reservatório está mostrado esquematicamente abaixo:



Matematicamente tem-se a seguinte relação:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \frac{A_i + A_{i+1}}{2} + R_i - S_i - O_i$$

onde:

$V_{i+1}$  e  $V_i$  = Volume do reservatório no fim dos meses  $i+1$  e  $i$ ;

$P_i$  = Precipitação direta sobre o lago no mês  $i$ ,

$E_i$  = Evaporação do espelho d'água no mês  $i$ ,

$A_i$  e  $A_{i+1}$  = Área do espelho d'água no fim dos meses  $i + i+1$ ;

$R_i$  = Volume afluente ao reservatório no mês  $i$ ;

$O_i$  = Volume retirado do reservatório no mês  $i$ .

Para o desenvolvimento do método, simula-se a operação do açude para diversos valores de  $O_i$  e estuda-se a evolução do nível do reservatório ao longo do período estudado.

Quando o nível do reservatório for inferior ao mínimo de operação fica caracterizado o colapso do reservatório. Para a determinação da vazão regularizada se faz necessário a introdução do conceito de frequência de ruína. A frequência de ruína ( $fr$ ) é definida pela relação  $\frac{n}{N}$ , em que  $n$  é o número de anos em que ocorreu um período consecutivo de dois ou mais meses em que o açude atingiu cotas inferiores à galeria e  $N$  é o número total de anos utilizados na simulação.

Como é usual em planejamento de recursos hídricos, deve-se dimensionar o sistema para a frequência de 90% de segurança.

A simulação foi feita através do programa Gestão Simulada de Operação do Açude admitindo as seguintes hipóteses:

- . Quando da ocorrência de subperíodo de sangria toda a vazão é escoada no início do mês.
- . Quando o nível da água no açude baixa da cota da galeria, cessa toda retirada continuando apenas o processo de evaporação.
- . Admitiu-se que no início da operação o reservatório encontrava-se na cota igual à média entre a de sangria e do porão.
- . A evaporação em cada mês corresponde à média mensal do mês respectivo.

#### Dados Utilizados

##### Evaporação do Espelho D'Água

Os dados para evaporação do espelho d'água foram obtidos a partir dos dados de evaporação do tanque classe A multiplicados por 0,75. Os dados constam do quadro 2.5 do presente relatório.

##### Pluviometria Mensal no Espelho D'Água

Utilizamos para os dois açudes, os dados tratados nos estudos hidrológicos do Plano de Valorização Hidroagrícola do Cariri Ocidental e estão transcritos a seguir:



**Escoamento Superficial**

Os açudes pertencem à bacia do Cariri Ocidental, sub-bacia Carás - Cristalino. Daí consideramos para os dois reservatórios coeficientes de correção para escoamento superficial proporcionais às áreas das bacias hidrográficas. Estes coeficientes foram aplicados aos dados do relatório hidrológico a seguir:

ANO	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
1952	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1953	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1954	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1955	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1956	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1957	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1958	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1959	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1960	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1961	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1962	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1963	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1964	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1965	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1966	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1967	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1968	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1969	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1970	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12



Quadros Cota X Área X Volume

Obtidos a partir dos projetos dos dois açudes:

AÇUDE: UMARI

QUADRO COTA/ÁREA/VOLUME

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
420	61.800	123.600
425	419.400	1.326.600
430	853.200	4.508.100
435	1.939.200	11.489.100
440	3.358.200	24.732.600
445	4.752.000	45.008.100

Cota da soleira do sangradouro = 441,00

Cota do porão = 422,00

AÇUDE: RIACHO DOS CARNEIROS

QUADRO COTA/ÁREA/VOLUME

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
64	750	375
65	2.000	1.750
66	2.500	4.000
67	7.500	9.000
68	15.000	20.250
69	22.500	39.000
70	35.000	67.750
71	46.500	108.500
72	57.750	160.625
73	75.250	227.125
74	110.000	319.750
75	143.750	446.625

CONT.

COTAS (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
76	181.000	609.000
77	222.750	870.875
78	297.500	1.071.000
79	380.250	1.409.880
80	492.250	1.846.130
81	573.500	2.379.000
82	653.000	2.997.250
83	845.250	3.751.380
84	1.021.000	4.684.500
85	1.205.500	5.797.750
86	1.370.000	7.085.500
87	1.549.250	8.545.130
88	1.823.000	10.231.300
89	2.100.750	12.193.100
90	2.372.500	14.439.800
91	2.588.250	16.930.100
92	2.885.500	19.667.000
93	3.115.250	22.667.400
94	3.375.000	25.913.000
95	3.640.500	29.421.300
96	3.910.250	33.196.600
97	4.058.000	37.180.800
98	4.782.750	41.451.100
99	4.905.500	46.045.300
100	5.095.250	50.945.600

Cota da soleira do sangradouro = 97.00

Cota do porão = 78.00

Volume Retirado do Reservatório, por Mês:

Para cada reservatório foram realizadas quatro simulações, cujos dados são apresentados no quadro a seguir:

Descarga pela Tomada D'água dos Reservatórios ( $m^3/mês$ )

Simulação	Reservatório	Umari	Riacho dos Carneiros
	1		400.000
2		450.000	200.000
3		500.000	250.000
4		550.000	300.000

- Resultados Obtidos

Do processamento dos dados descritos, foram gerados oito relatórios cada um com uma simulação. O resumo destes resultados é o seguinte:

UMARI

Descarga pela galeria		Frequência de Ruína(%)
$m^3/mês$	$m^3/s$	
400.000	0,1543	3,0
450.000	0,1736	9,0
500.000	0,1929	16,4
550.000	0,2122	19,4

RIACHO DOS CARNEIROS

Descarga pela galeria		Frequência de Ruína(%)
$m^3/mês$	$m^3/s$	
150.000	0,0579	1,5
200.000	0,0772	4,5
250.000	0,0965	19,4
300.000	0,1157	28,4

Estes relatórios, juntamente com os fluxogramas e listagens dos programas encontram-se à disposição do CEPA-CE para quaisquer esclarecimentos.

A descarga regularizada para fins de projeto, foi determinada para uma frequência de ruína de 10%, como demonstram os desenhos seguintes.

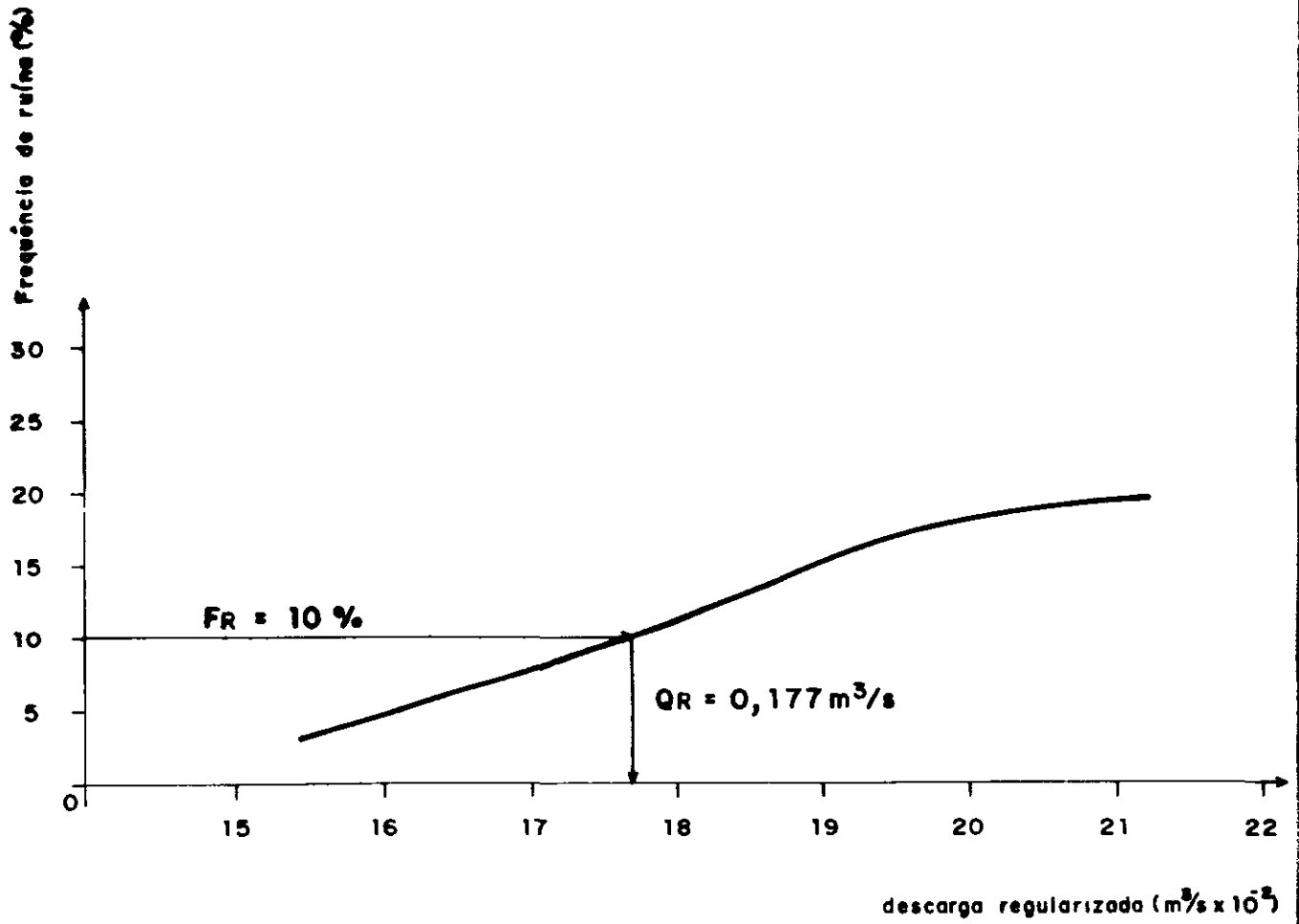
#### - Análise dos Resultados da Simulação

O açude Umari apresentou para uma frequência de segurança de 90% ( $Fr = 10\%$ ) uma descarga regularizada de  $0,177\text{m}^3/\text{s}$  que corresponde a um volume anual de  $5.580.000\text{m}^3$ . Essa regularização representa a possibilidade de irrigar 540 hectares com uma demanda média de  $10.253\text{ m}^3/\text{ha} \times \text{ano}$ .

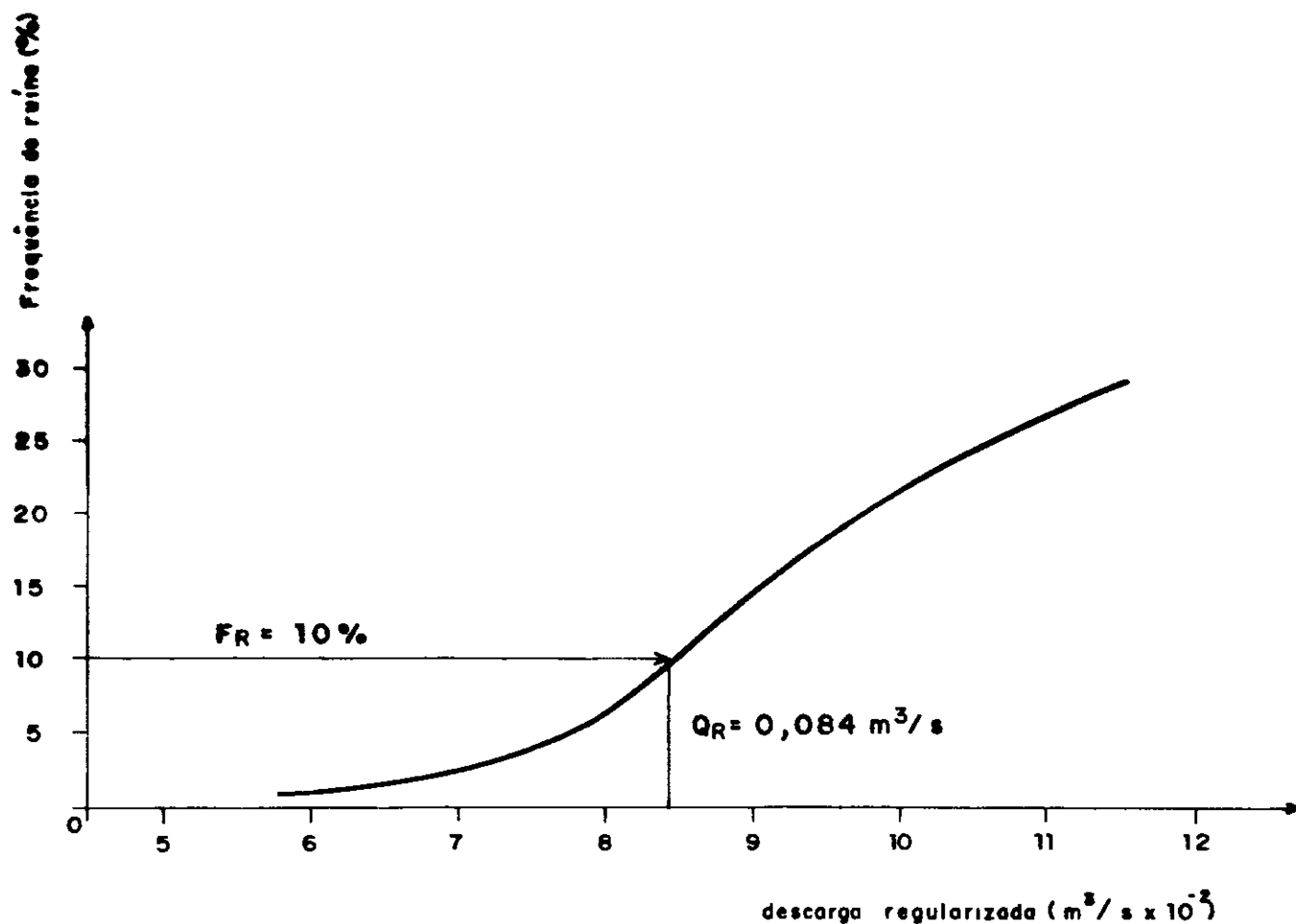
O açude Riacho dos Carneiros, para a mesma garantia, regulariza uma vazão de  $0,084\text{m}^3/\text{s}$  que corresponde a um volume anual de aproximadamente  $2.650.000\text{m}^3$  e permite irrigar uma área de 258 ha.

#### 4.1.2 - Outras Possibilidades de Aproveitamento D'água Superficial.

Analisando o quadro referente à sub-bacia do Carás, apresentado no Capítulo I ítem 1.3, verificamos a possibilidade de 8 (oito) outros possíveis barramentos que permitiriam uma descarga de aproximadamente  $6.670.000\text{m}^3/\text{ano}$  com a consequente irrigação de 650 ha. Os açudes resultantes destes barramentos controlariam, uma área de 15.170 ha da sub-bacia Carás.



Curva - Descarga regularizada ( $m^3/s \times 10^{-2}$ ) versus Frequência de ruína para o Açude UMARI



Curva - Descarga regularizada ( $m^3/s \times 10^{-2}$ ) versus Frequência de ruína para o Açude RIACHO DOS CARNEIROS