

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL  
CURSO DE MESTRADO EM RECURSOS HÍDRICOS

JOSÉ ALEXANDRE MOREIRA FARIAS

MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES MENSAIS E SUAS  
INFLUÊNCIAS SOBRE A CURVA DE GARANTIA *VERSUS*  
VAZÃO REGULARIZADA EM RESERVATÓRIOS DO  
ESTADO DO CEARÁ.

**FORTALEZA – CE  
2003**

JOSÉ ALEXANDRE MOREIRA FARIAS

MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES MENSAIS E SUAS  
INFLUÊNCIAS SOBRE A CURVA DE GARANTIA *VERSUS* VAZÃO  
REGULARIZADA EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ.

Dissertação submetida à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para a obtenção  
do grau de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Walter Martins Ferreira Filho

FORTALEZA – CE  
2003

JOSÉ ALEXANDRE MOREIRA FARIAS

MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES MENSAIS E SUAS  
INFLUÊNCIAS SOBRE A CURVA DE GARANTIA *VERSUS* VAZÃO  
REGULARIZADA EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ.

Dissertação submetida à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para a obtenção  
do grau de Mestre em Recursos Hídricos.

Aprovada em 17 de Maio de 2003

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Walter Martins Ferreira Filho (orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. José Carlos Araújo  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. Arthur Mattos  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Tarcísio e Anunciada, pela lição de vida a mim ensinada desde meus primeiros passos.

A minha noiva, Djane, que sempre me incentivou e apoiou, pacientemente, durante os dois anos e três meses de Mestrado.

De forma especial, a minha tia Irací, falecida em março de 2003, pessoa muito importante durante minha formação escolar média e superior.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela graça alcançada do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Ao CNPQ pela bolsa de estudo que possibilitou minha total dedicação ao curso e à elaboração da presente dissertação.

Ao meu orientador Prof. Walter Martins pelos conselhos, dicas e opiniões valiosas dadas durante o estudo e elaboração da dissertação.

Ao Prof. Eduardo Sávio pelas séries históricas de vazões afluentes fornecidas.

À coordenação do curso, juntamente com seus professores e funcionários, pelo apoio intelectual, material e moral.

Aos colegas do curso pelo incentivo sempre marcante durante a fase de elaboração da presente dissertação.

## RESUMO

Há muito que os estudiosos vêm desenvolvendo técnicas de geração de vazões, umas baseadas em procedimentos matemáticos sofisticados e outras em apenas observações do comportamento do regime de escoamento. Sabe-se hoje que a opção por um modelo de geração de vazões irá interferir de forma significativa no dimensionamento dos reservatórios estudados, pois se pode dimensionar reservatórios fora das reais necessidades, devido a um valor de vazão regularizada obtido pelo emprego de uma metodologia de geração de vazão equivocada. Assim, a presente dissertação gerou séries sintéticas de vazões por três metodologias diferentes – Thomas&Fiering com modificação de Clarke, Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas e Método de Monte Carlo associado ao Método dos Fragmentos de Svanidze – obtendo as curvas de garantia mensal com as séries geradas por essas diferentes metodologias, e comparando-as com as curvas de garantias mensal obtidas mediante emprego das séries históricas de vazões afluentes. Foi realizado, também, um estudo do erros relativos entre as vazões regularizadas com uma garantia mensal de 90%, obtidas mediante o emprego das séries sintéticas, e aquelas obtidas segundo o emprego das séries históricas, a fim de se analisar o efeito da diferença entre as metodologias no principal valor de garantia adotado nos estudos hidrológicos. Por fim, concluiu-se que, dentre os métodos de geração de vazões estudados, aquele que melhor reproduziu a natureza do evento hidrológico em questão – o regime de escoamento das águas para os reservatórios – foi o Método de Monte Carlo associado ao Método dos Fragmentos de Svanidze.

Palavras-chave: Geração de Vazão. Curvas de garantia mensal.

## ABSTRACT

Researchers have developed for years many discharge generation techniques, some based on sophisticated mathematical procedures and others only on observations of the discharge regime behavior. It is known today that the option for one discharge generation model interferes significantly in the reservoirs design and so one can erroneously estimate the reservoirs dimension due to a firm yield evaluated through the use of a mistaken discharge generation methodology. This dissertation generated three synthetic series of flows using three different methodologies – Thomas & Fiering with Clarke modification, Thomas & Fiering with Clarke modification and Matalas transformation and Monte Carlo Method associated with the Svanidze Method of Fragments – getting the firm yield diagrams from the generated series based on the mentioned methodologies and comparing them with the ones made through the use of the historical inflows series. An analysis of the relative error between the firm yield of each methodology as compared with the historical series was also performed, for the case of 90% reliability – the most used reliability level in hydrologic studies. Finally, it was concluded that among the studied methods of discharge generation the one that most reproduced the nature of the hydrologic event in discussion – the regimen of the reservoirs water inflows – was the Monte Carlo Method associated with the Svanidze Method of Fragments.

Keywords: Discharge generation. Monthly reliability curves.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 4.1</b> – Correlograma do Açude Aracoiaba para até 5 Anos Anteriores.....                                  | 45 |
| <b>FIGURA 4.2</b> – Correlograma do Açude Banabuiú para até 5 Anos Anteriores.....                                   | 46 |
| <b>FIGURA 4.3</b> – Correlograma do Açude Cauhipe para até 5 Anos Anteriores.....                                    | 47 |
| <b>FIGURA 4.4</b> – Correlograma do Açude Catu para até 5 Anos Anteriores.....                                       | 48 |
| <b>FIGURA 4.5</b> – Correlograma do Açude Malcozinhado para até 5 Anos Anteriores.....                               | 49 |
| <b>FIGURA 4.6</b> – Correlograma do Açude Orós para até 5 Anos Anteriores.....                                       | 50 |
| <b>FIGURA 4.7</b> – Correlograma do Açude Pacajus para até 5 Anos Anteriores.....                                    | 51 |
| <b>FIGURA 4.8</b> – Correlograma do Açude Pedras Brancas para até 5 Anos Anteriores...                               | 52 |
| <b>FIGURA 4.9</b> – Correlograma do Açude Sítios Novos para até 5 Anos Anteriores.....                               | 53 |
| <b>FIGURA 4.10:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Aracoiaba.....      | 69 |
| <b>FIGURA 4.11:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Banabuiu.....       | 70 |
| <b>FIGURA 4.12:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Cauhipe.....        | 71 |
| <b>FIGURA 4.13:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Catu.....           | 72 |
| <b>FIGURA 4.14:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Malcozinhado.....   | 73 |
| <b>FIGURA 4.15:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Orós.....           | 74 |
| <b>FIGURA 4.16:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Pacajus.....        | 75 |
| <b>FIGURA 4.17:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia mensal do açude Pedras Brancas..... | 76 |
| <b>FIGURA 4.18:</b> Gráficos da vazão regularizada mensal <i>versus</i> garantia do açude Sítios Novos.....          | 77 |
| <b>FIGURA I-1:</b> Fluxograma do Método de Thomas&Fiering / Clarke.....  | 86 |
| <b>FIGURA I-2:</b> Fluxograma do Método de Thomas&Fiering / Clarke / Matalas.....                                    | 87 |

|   |    |
|---|----|
| <b>FIGURA I-3:</b> Fluxograma do Método de Monte Carlo e Desfragmentação de Svanidze..... | 88 |
| <b>FIGURA I-4:</b> Fluxograma do Processo de Simulação dos Reservatórios.....             | 89 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>TABELA 3.1:</b> Relação dos Postos Pluviométricos.....   | 29 |
| <b>TABELA 3.2:</b> Precipitação Média Mensal sobre os Reservatórios, em mm.....   | 30 |
| <b>TABELA 3.3:</b> Evaporação Média Mensal sobre os Reservatórios, em mm.....   | 30 |
| <b>TABELA 3.4:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Aracoiaba.....  | 31 |
| <b>TABELA 3.5:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Banabuiú.....   | 31 |
| <b>TABELA 3.6:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Cauhipe.....  | 32 |
| <b>TABELA 3.7:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Catu.....   | 32 |
| <b>TABELA 3.8:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Malcozinhado.....   | 32 |
| <b>TABELA 3.9:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Orós.....   | 33 |
| <b>TABELA 3.10:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Pacajus.....   | 34 |
| <b>TABELA 3.11:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Pedras Brancas.....  | 34 |
| <b>TABELA 3.12:</b> Cota x Área x Volume do Reservatório Sítios Novos.....  | 35 |
| <b>TABELA 4.1:</b> Teste Qui-Quadrado.....  | 55 |
| <b>TABELA 4.2:</b> Teste Kolmogorov-Smirnov.....  | 56 |
| <b>TABELA 4.3:</b> Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke.....                            | 59 |
| <b>TABELA 4.4:</b> Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke e Transformação de Matalas..... | 62 |
| <b>TABELA 4.5:</b> Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Monte Carlo.....   | 65 |
| <b>TABELA 4.6:</b> Valores do Erro Relativo Referente ao Cálculo da Vazão Regularizada Mensal para as Séries Sintéticas Utilizadas na Simulação, com 90% de Garantia.....                       | 78 |
| <b>TABELA II-1:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Aracoiaba, em $\text{hm}^3/\text{mês}$ .....  | 91 |
| <b>TABELA II-2:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Banabuiú, em $\text{hm}^3/\text{mês}$ .....   | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>TABELA II-3:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Cauhipe, em<br>hm <sup>3</sup> /mês.....        | 97  |
| <b>TABELA II-4:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Catu, em<br>hm <sup>3</sup> /mês.....           | 98  |
| <b>TABELA II-5:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Malcozinhado,<br>em hm <sup>3</sup> /mês.....   | 101 |
| <b>TABELA II-6:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Orós, em<br>hm <sup>3</sup> /mês.....           | 104 |
| <b>TABELA II-7:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pacajus, em<br>hm <sup>3</sup> /mês.....        | 107 |
| <b>TABELA II-8:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pedras Brancas,<br>em hm <sup>3</sup> /mês..... | 110 |
| <b>TABELA II-9:</b> Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Sítios Novos,<br>em hm <sup>3</sup> /mês.....   | 113 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $a$  – parâmetro da distribuição Gamma  
 $b$  – parâmetro da distribuição Gamma  
 $b_j$  – coeficiente de regressão linear de um mês  $j$   
 $D$  – desvio máximo do teste Kolmogorov – Smirnov  
 $E_i$  – frequência esperada  
 $ER_s$  – erro relativo para a série sintética  $s$   
 $f_{i,j}$  – fragmento do mês  $j$  e ano  $i$   
 $g_j$  – estimador do coeficiente de assimetria populacional  
 $L_i$  – limite de confiança inferior  
 $L_s$  – limite de confiança superior  
 $M_j^k$  – momento central  
 $NF$  – número de meses falhados  
 $NM$  – número de meses simulados  
 $O_i$  – frequência observada  
 $P_j$  – probabilidade de ocorrência de vazões não-nulas num mês  $j$   
 $Q_{i,j}$  – vazão observada no ano  $i$  e mês  $j$   
 $\bar{Q}_j$  – vazão média num mês  $j$   
 $r$  – estimador da auto-correlação populacional  
 $r_j$  – coeficiente de correlação entre dois meses consecutivos  
 $s_j$  – desvio padrão das vazões num mês  $j$   
 $s_x^2$  – variância amostral  
 $t_j$  – número pseudo-aleatório  
 $VA_j$  – volume mensal afluyente  
 $VE_j$  – volume mensal evaporado  
 $VP_j$  – volume mensal precipitado  
 $VR_h$  – vazão regularizada com 90% de garantia para a série histórica  $h$ .  
 $VR_j$  – volume mensal regularizado  
 $VR_s$  – vazão regularizada com 90% de garantia para a série sintética  $s$   
 $VS_j$  – volume mensal sangrado  
 $X_c^2$  – estatística Qui Quadrada  
 $\Delta V$  – variação do volume no reservatório entre dois anos consecutivos  
 $\Gamma(a)$  – função Gamma

$\alpha$  – nível de confiança

$\nu$  – graus de liberdade

$\rho$  – auto-correlação populacional

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| RESUMO.....   | VI   |
| ABSTRACT.....   | VII  |
| LISTA DE FIGURAS.....   | VIII |
| LISTA DE TABELAS.....   | X    |
| LISTA DE SÍMBOLOS.....  | XII  |
| <br>  |      |
| 1 – INTRODUÇÃO.....   | 01   |
| <br>  |      |
| 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                  | 04   |
| <br>  |      |
| 3 – METODOLOGIA.....  | 09   |
| <br>  |      |
| 3.1. TESTES ESTATÍSTICOS.....                                   | 09   |
| 3.1.1. INTRODUÇÃO.....  | 09   |
| 3.1.2. TESTE DE ANDERSON.....                                   | 10   |
| 3.1.3. TESTE QUI-QUADRADO, $X_C^2$ .....                        | 11   |
| 3.1.4. TESTE KOLMOGOROV – SMIRNOV.....                          | 13   |
| 3.2. MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES.....                          | 14   |
| 3.2.1. INTRODUÇÃO.....  | 14   |
| 3.2.2. MODELO AUTO-REGRESSIVO DE THOMAS&FIERING.....            | 15   |
| 3.2.2.1. COMPONENTE DETERMINÍSTICA.....                         | 15   |
| 3.2.2.2. COMPONENTE ALEATÓRIA.....                              | 17   |
| 3.2.3. MODIFICAÇÃO DE CLARKE.....                               | 17   |
| 3.2.4. MODIFICAÇÃO DE CLARKE E TRANSFORMAÇÃO DE<br>MATALAS..... | 18   |
| 3.2.5. MÉTODO DE MONTE CARLO.....                               | 22   |
| 3.2.5.1. MÉTODO DOS FRAGMENTOS.....                             | 25   |
| 3.3. SIMULAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....                           | 27   |
| 3.3.1. INTRODUÇÃO.....  | 27   |
| 3.3.2. VOLUME AFLUENTE.....                                     | 28   |
| 3.3.3. VOLUME PRECIPITADO.....                                  | 28   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.4. VOLUME EVAPORADO.....   | 29        |
| 3.3.5. ÁREAS E VOLUMES.....  | 31        |
| 3.3.6. VOLUME SANGRADO.....  | 35        |
| 3.3.7. VOLUME REGULARIZADO.....  | 35        |
| 3.3.8. CRITÉRIO DE GARANTIA.....   | 36        |
| 3.3.9. PASSOS DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....  | 36        |
| 3.3.10. COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS DE GARANTIA.....  | 37        |
| 3.4. APLICAÇÃO DOS MODELOS ESTUDADOS.....  | 38        |
| 3.4.1. INTRODUÇÃO.....   | 38        |
| 3.4.2. AÇUDES SELECIONADOS.....  | 38        |
| <b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>43</b> |
| 4.1. TESTES ESTATÍSTICOS.....  | 43        |
| 4.1.1. TESTE DE ANDERSON.....  | 43        |
| 4.1.2. TESTE QUI-QUADRADO.....   | 54        |
| 4.1.3. TESTE KOLMOGOROV – SMIRNOV.....   | 55        |
| 4.2. GERAÇÃO DAS SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÕES AFLUENTES.....                                  | 56        |
| 4.2.1. MÉTODO DE THOMAS&FIERING COM MODIFICAÇÃO DE<br>CLARKE.....                            | 57        |
| 4.2.2. MÉTODO DE THOMAS&FIERING COM MODIFICAÇÃO DE<br>CLARKE E TRANSFORMAÇÃO DE MATALAS..... | 60        |
| 4.2.3. GERAÇÃO PELO MÉTODO DE MONTE CARLO.....   | 63        |
| 4.3. SIMULAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....  | 66        |
| 4.3.1. COMPARAÇÃO GRÁFICA DAS CURVAS DE GARANTIA.....  | 66        |
| 4.3.2. ANÁLISE DO ERRO RELATIVO.....   | 78        |
| <b>5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>   | <b>80</b> |
| <b>6 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>83</b> |
| <b>ANEXO I – Fluxogramas dos Métodos de Geração e Simulação dos<br/>Reservatórios.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>ANEXO II – Séries Históricas de Vazões Afluentes.....</b>                                 | <b>90</b> |

## 1 – INTRODUÇÃO

Um dos principais dilemas com vistas à construção de um reservatório, trata-se do dimensionamento racional deste, a fim de que não se tenha um reservatório tão pequeno a ponto de não atender às necessidades da região onde irá ser construído, nem grande por demasia, tornando a obra economicamente inviável.

Sabe-se hoje que, para a ocorrência do dimensionamento racional de um reservatório, é fundamental a realização de um estudo bem elaborado da capacidade de regularizar vazão do mesmo, visando adequar esse reservatório à demanda d'água exigida pela região.

Para o dimensionamento racional de um reservatório vêm sendo desenvolvidas técnicas baseadas em processos empíricos, determinísticos e estocásticos.

Dentre esses processos, os mais limitados são os empíricos, uma vez que estão baseados em equações desenvolvidas apenas para algumas regiões e sobre condições específicas.

Os determinísticos baseiam-se na simples utilização das séries históricas, séries estas com poucas informações sobre o comportamento hidrológico predominante ao local.

Essa falta de informações surge devido ao pouco número de anos existentes no que se diz respeito, principalmente, a dados de vazão afluente aos reservatórios, informação de fundamental importância para um dimensionamento racional dos mesmos.

Nesse ponto é que se sobressaem os métodos estocásticos, uma vez que estes possibilitam um grande acréscimo nas quantidades das informações necessárias ao dimensionamento dos reservatórios.

Esses métodos admitem que os deflúvios seguem leis probabilísticas de formação, gerando séries sintéticas de vazões baseadas em parâmetros estatísticos como média, desvio padrão, assimetria, correlação etc., onde esses parâmetros são mantidos entre as séries históricas e sintéticas geradas.

Uma das limitações desses métodos era o esforço computacional requerido, precisando-se gerar séries sintéticas com um grande número de anos (2000 a 5000 anos) e somente a 10 ou 20 anos atrás começou a ocorrer uma evolução acelerada do setor computacional, onde computadores caseiros (PC's) são capazes, hoje em dia, de façanhas inimagináveis quando do surgimento dos métodos experimentais.

Ainda sobre os métodos estocásticos, estes são divididos em duas categorias:

-) Modelagem direta das vazões

-) Processos de desagregação

É obvio que a escolha correta do método empregado estará incidindo direto no resultado final, ou seja, sobre o dimensionamento do reservatório.

No caso da região em estudo – Estado do Ceará – existe um fato muito peculiar no que diz respeito ao regime de escoamento: o regime intermitente dos rios provocado pela maneira como as chuvas se distribuem ao longo do ano e as características do subsolo.

Quanto à distribuição das chuvas, estas ocorrem basicamente em quatro meses – fevereiro, março, abril e maio – dando uma característica bastante assimétrica ao regime de vazões e fazendo com que o abastecimento dos outros oito meses do ano fiquem por conta do que se consegue armazenar na quadra chuvosa citada. Há ainda outro agravante ao regime de chuvas, a aleatoriedade anual das mesmas, pois existem anos bastantes chuvosos e outros onde praticamente não ocorrem precipitações.

Já quanto às características do subsolo, estes são bastante rasos fazendo com que quase toda água que é precipitada num período bem pequeno, seja perdida por escoamento superficial, impossibilitando a existência de aquíferos que abasteçam os rios durante a época da estiagem.

Baseado nas características citadas acima, foram escolhidos três métodos de geração de séries sintéticas, um primeiro (Monte Carlo) baseado no caráter aleatório das vazões anuais onde qualquer vazão gerada é equiprovável de acontecer, um segundo (Thomas& Fiering com

modificação de Clarke) baseado nas características de variabilidade mensal que é levado em conta a ocorrência ou não de escoamento no mês anterior e um terceiro (Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas) onde além de ser levado em conta essa variabilidade mensal, é levado em conta também à assimetria das vazões.

Como se pode observar, são todos métodos de geração direta das vazões, porém, um de geração a nível anual e os outros dois em nível mensal.

Assim, para que se pudesse simular os reservatórios selecionados e obter suas respectivas curvas de garantia mensal *versus* vazão regularizada, foi necessário utilizar um método de desfragmentação (Método dos Fragmentos) nas séries sintéticas geradas por Monte Carlo, a fim de que se pudesse padronizar todas as séries em nível mensal e obter as regularizações na mesma escala de tempo.

Logo, a presente dissertação abrangeu os dois mecanismos de geração de séries sintéticas, ou seja, modelagem direta das vazões e método de desfragmentação.

Como objetivo final, foram simulados, mediante uma regra previamente determinada e comum a todos os reservatórios, nove açudes selecionados em locais e com capacidades diferentes, tanto com o emprego da série histórica de cada um como de suas respectivas séries sintéticas geradas, obtendo-se quatro curvas de garantia mensal *versus* vazão regularizada para cada um desses açudes.

Com essas curvas foi realizada a comparação gráfica das mesmas, bem como uma análise baseada no erro relativo da vazão regularizada com uma garantia mensal de 90% – valor utilizado nos estudos hidrológicos da região – em relação ao valor da vazão regularizada com a mesma garantia, quando da utilização, no processo de simulação, da série histórica de vazões.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema de gerenciamento dos recursos hídricos atua de forma direta no sentido de garantir da melhor maneira possível a distribuição racional da água nas escalas espacial e temporal, de acordo com os interesses de uma comunidade. Pode-se notar que a expressão “no sentido de garantir” é utilizada no lugar de simplesmente “garantir”, uma vez que não se pode ter 100% de certeza que o sistema de gerenciamento aplicado irá alcançar seu objetivo, em face a grande gama de incertezas pertinentes a qualquer ação que venha a ser tomada.

Segundo CAMPOS (1996), um dos principais problemas enfrentados por planejadores de recursos hídricos diz respeito ao entendimento desse processo de transformação temporal e espacial dos deflúvios, providos de maneira irregular pela natureza, para atender aos padrões de consumo de água pela Sociedade. Desde os primórdios da civilização, a técnica de estocagem de água em barragens vem sendo utilizada para essa finalidade. Desta maneira, quanto maior o entendimento desse processo, mais econômicas e eficientes serão as obras hídricas projetadas.

Um reservatório, ou açude, é uma obra hídrica que visa preencher lacunas deixadas nos períodos de estiagem por meio do acúmulo do excedente de água dos períodos chuvosos, tentando garantir da maneira mais racional, o abastecimento das comunidades nesses períodos secos. Assim, há muito vêm sendo desenvolvidas técnicas empíricas, analíticas e experimentais no sentido de se chegar a esse dimensionamento racional.

Em regiões de clima temperado, onde a evaporação é relativamente pequena e o regime chuvoso é bem determinado e com um coeficiente de variação anual pequeno, consegue-se por meio de metodologias bem simples, como o diagrama de Rippl, assegurar com um grau bastante razoável, o dimensionamento de açudes com a utilização apenas da série histórica de vazões existente.

Porém, na região do semi-árido nordestino brasileiro, onde são encontradas localidades com coeficiente de variação na ordem de 1,50, fica quase impossível atingir a meta de se dimensionar um reservatório com o uso apenas das séries históricas existentes, uma vez que são séries com no máximo 90 anos de dados.

Com isso é que desde o início do século estão sendo estudadas técnicas hidrológicas no sentido de simular a estrutura probabilística que comanda todo o processo estocástico natural que caracteriza a formação das séries históricas de vazão.

As origens das tentativas de gerar séries sintéticas de vazão são atribuídas a SUDLER (1927) que, escrevendo em cartões os valores das vazões anuais observadas, embaralhou-os, obtendo assim, diferentes seqüências de vazões. Apesar de processo não preservar a estrutura de auto-correlação intrínseca à série observada, para a época, significou um enorme avanço para gerar as séries sintéticas e as utilizar para o dimensionamento de açudes.

Uma inovadora abordagem nos estudos de dimensionamento de açudes surgiu com o trabalho de MORAN (1954). Moran, baseado em hipóteses que retratavam a natureza dos rios intermitentes do norte da Austrália, desenvolveu a teoria estocástica dos reservatórios. A teoria de Moran admite que o volume estocado por um reservatório segue uma cadeia markoviana para, a partir desse conceito, calcular as probabilidades de esvaziamento dos reservatórios.

Seguindo a mesma linha de Moran, foram desenvolvidas técnicas de geração de vazão. O primeiro modelo na literatura para se gerar essas seqüências sintéticas de vazões surgiu com Thomas & Fiering em 1962, in MAAS et al. (1962). O modelo gera séries sintéticas de vazão mensal, considerando o processo como de natureza markoviana, utilizando parâmetros sazonais e estrutura de correlação que não considera as vazões sazonais observadas como estacionárias. Esse modelo foi concebido para ser utilizado em regiões com rios perenes e regime chuvoso pouco variável.

Na tentativa de expandir a aplicação do modelo a regiões do onde os deflúvios possuem um caráter assimétrico, MATALAS (1967) introduziu modificações logarítmicas na obtenção dos estimadores estatísticos, garantindo assim essa assimetria na componente aleatória do modelo original de Thomas & Fiering.

Havia um problema que impossibilitava o uso do modelo de Thomas & Fiering em regiões semi-áridas, mesmo após as modificações realizadas por Matalas: a intermitência dos rios. Assim, CLARKE (1973) apresentou uma das primeiras contribuições para modelagem

de séries de vazão mensal para rios desse tipo de região. Ele propôs que se assumisse a não correlação entre meses com e sem ocorrência de vazão.

No que concerne especificamente ao nordeste brasileiro, o marco inicial na tentativa de dimensionar açudes, deve-se ao Engenheiro FRANCISCO de AGUIAR (1934) que, segundo CAMPOS (1996), atuou principalmente em três linhas: na estimativa do volume afluente médio anual em uma dada bacia hidrográfica; no desenvolvimento de um método para determinar a capacidade e o volume regularizado por um açude; na determinação da cheia secular que deve ser considerada no dimensionamento do vertedouro de um açude.

SVANIDZE (1964) propôs o primeiro processo de desagregação de vazões anuais em vazões sazonais, o método dos fragmentos. Como característica, esse método gera vazões por um processo não-paramétrico, já que não há inferência sobre a distribuição de probabilidade das vazões sazonais. Ocorre uma padronização da série ano a ano, onde são gerados fragmentos, cuja soma anual, da igual à unidade. O procedimento preserva parâmetros anuais como média e desvio padrão.

Outro grande avanço surgiu com o emprego da técnica de simulação de Monte Carlo (YEVJEVICH, 1972). Esse método surgiu, segundo SOBOL (1983), em 1949 com a publicação do artigo “The Monte Carlo Method” e deve sua existência aos esforços de J. von Neumann e S. Ulam. Convém observar que, como todo método experimental, sua aplicabilidade só ganhou força com o advento do computador eletrônico, uma vez que requer um esforço muito grande na geração das variáveis aleatórias.

Na tentativa de estimar a capacidade do Reservatório Upper Yarra em Vitória, Austrália, BARNES (1954) verificou que as vazões anuais eram independentes e normalmente distribuídas, e gerou 1000 valores de deflúvios anuais utilizando o Método de Monte Carlo.

Estudando a bacia do Rio Nilo, HURST et. al. (1965) desenvolveram técnicas de amostragem para geram séries sintéticas de vazões anuais e que forma utilizadas para simular o comportamento do reservatório Aswuan High.

YEVJEVICH (1972) afirma a importância da aplicação conjunta de métodos experimentais auxiliados por métodos analíticos. A prática mostra exatamente essa afirmação. Vários trabalhos que tem o Método de Monte Carlo como ferramenta básica vêm sendo publicados desde então.

Segundo CAMPOS (1996), o método consiste, em resumo, em admitir que os deflúvios seguem uma determinada lei de probabilidade, e a partir daí gerar traços sintéticos de vazões e simular a operação do reservatório. A análise do desempenho do reservatório na simulação é que fornecerá os elementos necessários à tomada de decisão sobre sua capacidade de projeto. A grande vantagem dessa linha é a extrema versatilidade da técnica de simulação que permite ensaiar quase que qualquer regra que se possa imaginar para operação de um reservatório.

Outro fato que possibilita à aplicação do método de Monte Carlo em regiões semi-áridas, segundo CAMPOS (1996), é a independência anual das vazões, o que torna o processo de geração das séries sintéticas, um processo totalmente aleatório, onde qualquer vazão anual é equiprovável de acontecer.

Pode-se verificar que o método de Monte Carlo associado ao método dos fragmentos, constituem-se em ferramentas poderosas para o dimensionamento de reservatórios.

Em 1980, SRIKANTHAN & McMAHON apresentaram um estudo comparativo onde foram utilizadas seis técnicas de geração de vazões mensais aplicadas a rios intermitentes australianos, com características semelhantes aos rios do semi-árido nordestino. Naquele estudo, recomendou-se o método dos fragmentos como o melhor para geração de vazões mensais em rios com tais características de intermitência.

SARMENTO (1989) realizou um estudo de diversos modelos de geração de vazões e os aplicaram a dois rios intermitentes no Estado do Ceará, rio Acaraú e rio Bastiões. A comparação entre as séries sintéticas geradas ocorreu mediante o emprego dos parâmetros estatísticos: média, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de correlação e coeficiente de auto-correlação. O método dos fragmentos foi considerado como o único que preservou todos os parâmetros estatísticos, com exceção do coeficiente de auto-correlação.

ARAÚJO (1991) estudou a operação de reservatórios utilizando séries sintéticas de vazões com 50 anos de dados, onde vazões mensais foram geradas pelo método dos fragmentos, a partir de séries históricas de igual dimensão. Para tanto, realizou-se a escolha de períodos com 5 e 10 anos que serviam de entrada para a desfragmentação e os demais anos eram obtidos por meio da utilização dos 45 ou 40 anos restantes como vazões anuais geradas.

FREITAS (1996) realizou um estudo de geração de vazões em rios de regiões semi-áridas, no qual foram aplicados modelos auto-regressivos de geração a nível anual e mensal, bem como modelos de desagregação. No trabalho concluiu-se que os modelos de desagregação utilizados obtiveram os melhores resultados.

CAMPOS, em 1996, propôs a construção de diagramas triangular de regularização, desenvolvidos por meio do método de Monte Carlo, onde traços sintéticos de vazões com dois mil valores foram obtidos, seguindo a hipótese de independência anual dos deflúvios e aplicando uma distribuição de probabilidade assintótica ( $\text{Gamma} \sim 2P$ ) ao valores aleatórios gerados. Foram obtidos onze diagramas triangulares de regularização, diferenciando-se entre si pelo coeficiente de variação das vazões anuais para os quais foram gerados, diagramas estes que permitem saber que vazão anual será regularizada por um determinado açude com uma garantia mensal de 90%.

Recentemente, TICIANA STURDART (2000) propôs o uso do método de Monte Carlo associado ao método dos fragmentos a fim de avaliar por meio da simulação estocástica do sistema, o efeito do volume inicial, do coeficiente de variação das vazões naturais, do fator adimensional de capacidade e do nível de garantia nas avaliações e nos erros das estimativas do fator adimensional de retirada. Identifica, ainda, o melhor estimador para a vazão adimensional de equilíbrio, considerando as propriedades de um bom estimador, quais sejam, as de não tendenciosidade e eficiência. Nesse estudo, STURDART concluiu que se pode considerar como uma boa estimativa das reais disponibilidades de um dado reservatório, o fator adimensional de retirada obtido pela simulação do mesmo, tendo como dados de entrada uma série sintética com cinco mil anos de extensão. Neste caso, o fator adimensional de retirada é denominado de vazão adimensional de equilíbrio.

## 3 – METODOLOGIA

### 3.1 – Testes Estatísticos

#### 3.1.1 – Introdução

As séries históricas anuais de vazões da região do semi-árido nordestino possuem particularidades em relação ao restante do País, um caráter aleatório e independente do escoamento de um ano para o outro, ou seja, o advento de um ano com um nível elevado de precipitações não trazer influência no volume escoado no ano seguinte.

Essa é uma importante característica que possibilita a aplicação de metodologias de geração de vazão baseadas na aleatoriedade das vazões anuais, como a técnica de Monte Carlo, a qual considera que quaisquer valores anuais de vazão são equiprováveis de ocorrerem e que estes podem ser representados por funções probabilísticas.

Porém, é de praxe que se realizem testes para se checar esta independência anual e se realmente a série histórica obedece à função probabilística selecionada.

Quanto à independência anual, existe o teste de Anderson que, baseado no coeficiente de auto-correlação, é capaz de dizer dentro de um limite de confiança pré-determinado, se as vazões anuais são realmente independentes entre si.

Já no que diz respeito às funções probabilísticas, testes conhecidos como o Qui-Quadrado e o teste Kolmogorov – Smirnov são capazes de determinar, também dentro de um limite de confiança, se a série histórica ajustam-se a funções probabilísticas do tipo Gamma , Log-Normal, Beta etc.

### 3.1.2 – Teste de Anderson

A independência anual das vazões pode ser determinada por meio da função de auto-correlação populacional  $\rho(\tau)$  de um processo estocástico contínuo  $X(t)$ , em que  $\tau$  e  $t$  são o “lag” de tempo. Essa função é expressa por:

$$\mathbf{r}(\mathbf{t}) = \frac{\text{Cov}[X(t), X(t + \mathbf{t})]}{\text{Var}[X(t)]} \quad (01)$$

em que a covariância,  $\text{Cov}[X(t), X(t + \tau)]$ , é obtido pela equação (02) e a variância,  $\text{Var}[X(t)]$ , para  $X(t)$  discreto, no número de intervalos,  $n$ , definidos pelo intervalo de tempo  $\Delta t$ , é obtido pela mesma equação (02), tomando-se  $\tau = \Delta t = 0$ .

$$\text{Cov}[X_i(t), X_i(t + \Delta t)] = \sum_{j=1}^n [X_i(t_j) - \bar{X}_i] \cdot [X_i(t + \Delta t) - \bar{X}_i] / (n - 1) \quad (02)$$

A função auto-correlação, geralmente referenciada a uma dependência, serve como indicativo do grau de influência dos valores passados sobre a magnitude do valor da ocorrência presente.

Na prática, a função auto-correlação populacional  $\rho(\tau)$  é estimada em um processo discreto, por  $r(k)$ , com  $k$  relacionado com  $\tau$  por:

$$k = \frac{\mathbf{t}}{\Delta t} \quad (03)$$

O valor  $r(k)$  é calculado pela equação (04) com variância amostral  $s_x^2$  dada por (05). Fazendo-se o gráfico de  $r(k)$  versus  $k$ , tem-se o correlograma que seve de indicativo do modelo de geração das séries sintéticas anuais idênticas às séries históricas.

$$r(k) = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} [(X_i - \bar{X}) \cdot (X_{i+k} - \bar{X})]}{(n - k) \cdot s_x^2} \quad (04)$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n [X(t_i) - \bar{X}]^2 \quad (05)$$

Num processo estocástico discreto, a função de auto-correlação populacional  $\rho(\tau)$  terá valor zero para todo  $\tau \neq 0$  se o fenômeno for de origem puramente aleatório, ou seja, não ocorrer influência dos acontecimentos passados no acontecimento presente. Caso contrário, significa a existência de uma série não estacionária e caso o correlograma possua a configuração típica de uma função periódica, os parâmetros da série estarão evoluindo no tempo, baseados em uma componente determinística periódica.

A hipótese  $\rho(\tau) = 0$  é testada por meio do estimador  $r(k)$  admitindo-se que o mesmo segue uma distribuição Normal, para  $n \gg k$ . Assim, as hipóteses formuladas são:

$$H_0 : \rho(\tau) = 0$$

$$H_1 : \rho(\tau) \neq 0$$

Os limites de confiança, inferior e superior, são calculados, respectivamente, pelas equações (06) e (07) e  $Z_{1-\alpha/2}$  para o nível de confiança desejado, retirado de uma tabela da função de densidade de probabilidade da distribuição Normal Padrão. Ocorrendo de o estimador  $r(k)$  exceder os limites de confiança, a hipótese  $H_0$  será rejeitada, indicando a dependência do ano presente em relação aos anteriores, para o nível de confiança considerado (no geral, adota-se  $\alpha = 0,05$ ).

$$Li = \left[ -1 - Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{n-2} \right] / (n-1) \quad (06)$$

$$Ls = \left[ -1 + Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{n-2} \right] / (n-1) \quad (07)$$

### 3.1.3 – Teste Qui-Quadrado, $X_c^2$

É um dos testes estatísticos mais comumente utilizados quando se deseja verificar se um conjunto de dados segue uma determinada função de probabilidade (HAAN, 1977). O teste consiste em comparar a frequência observada,  $O_i$ , dos dados existentes com a frequência esperada,  $E_i$ , segundo a distribuição de probabilidade escolhida, mediante ordenação dos dados em intervalos de classes.

Assim, estando de posse dessas frequências, a estatística  $X_c^2$  é calculada por:

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (08)$$

em que  $k$  é o número de intervalos de classes, com o teste possuindo  $v = k - 1 - m$  graus de liberdade, sendo  $m$  o número de parâmetros populacionais a serem testados, mediante emprego de estatísticas amostrais.

A frequência esperada é calculada multiplicando-se a frequência relativa esperada pelo número de observações.

A distribuição de frequência é obtida da seguinte maneira:

1. Ordenam-se os valores em ordem crescente, determinando-se o maior e o menor do conjunto de dados, calculando-se a amplitude total do rol (diferença entre o maior e o menor daqueles dados).
2. Divide-se a amplitude total em um número conveniente de intervalos de classe que tenham a mesma amplitude. Se isso não for possível, usam-se intervalos de classe de amplitudes diferentes ou abertos. O número de intervalo de classe é comumente tomado entre 5 e 20, dependendo dos dados analisados. Os intervalos de classe podem ser escolhidos, também, de maneira que seus pontos médios coincidam com dados realmente observados. Isso tende a diminuir o erro de agrupamento. Entretanto, os limites reais de classe não coincidiriam com dados realmente observados.
3. Determina-se o número de observações que caem dentro de cada intervalo de classe, isto é, calculam-se as frequências de classe.

Assim, as hipóteses a serem testadas, para um determinado nível de significância,  $\alpha$  são:

$H_0$  : Os dados seguem a distribuição de probabilidade escolhida.

$H_1$  : Os dados não seguem a distribuição de probabilidade escolhida.

Se  $X_c^2 < X_{1-\alpha, k-1-m}^2$ , aceita-se a hipótese  $H_0$ , caso contrário, aceita-se a hipótese  $H_1$ .

Na presente dissertação, o teste  $X_c^2$  foi realizado mediante o emprego do *software* StatGraf, o qual, após terem-se fornecidos os dados de entrada e escolhida a distribuição de probabilidade a ser testada, dá como saída o valor  $X_c^2$  com um determinado grau de liberdade. Em seguida, mediante comparação deste valor com o de uma tabela de Qui-Quadrado, a qual fornece  $X_{1-\alpha, k-1-m}^2$  para um determinado nível de confiança (aqui adotado de 5%), pode-se inferir sobre qual hipótese acima será aceita.

### 3.1.4 – Teste Kolmogorov-Smirnov

O teste Kolmogorov-Smirnov – teste não paramétrico – é uma alternativa para o teste Qui-Quadrado (HAAN, 1977). As etapas para condução do teste são as seguintes:

1) Escolhe-se a função de probabilidade  $P_x(x)$  como sendo a distribuição à qual os dados de ajustam.

2) Determina-se a função  $S_n(x)$  como sendo a distribuição baseada nos  $n$  valores observados. Para um valor observado  $x$ ,  $S_n(x) = k/n$ , em que  $k$  é o número de observações menores ou iguais a  $x$ .

3) Determina-se o máximo desvio,  $D$ , definido por:

$$D = \max |P_x(x) - S_n(x)| \quad (09)$$

4) Formulam-se as hipóteses:

$H_0$  : Os dados observados seguem a função de probabilidade  $P_x(x)$ .

$H_1$  : Os dados observados não seguem a função de probabilidade  $P_x(x)$ .

5) Se o valor de  $D$  for menor que o valor tabelado e definido pelo número de valores –  $n$  – observados, para o nível de significância escolhido,  $\alpha$ , a hipótese  $H_0$  é aceita, caso contrário, a hipótese  $H_1$  é aceita.

O teste Komogorov-Smirnov foi realizado nesta dissertação mediante o emprego do mesmo *software* – StatGarf – utilizado no teste Qui-Quadrado, que dá como saída os valores  $X_c^2$  e  $D$  para os dois testes (Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov), a fim de que se possa comparar esses valores com os valores das respectivas tabelas.

A fim de se ter um critério mais eficiente na escolha da função de probabilidade melhor adequada aos dados de vazões afluentes aos reservatórios em estudo, considerou-se como sendo uma boa função de probabilidade aquela que, necessariamente, passe nos dois testes estatísticos descritos acima.

## 3.2 – Métodos de Geração de Vazões

### 3.2.1 – Introdução

Na tentativa de melhor entender o processo de afluência de vazões aos reservatórios de regiões semi-áridas, várias metodologias de geração dessas vazões foram desenvolvidas ao longo dos anos.

Os processos de geração de vazões mensais baseiam-se na independência entre os meses com ocorrência de vazão e os meses com vazão nula. Essa consideração foi adotada a princípio por CLARKE (1973) dando como resultado um dos primeiros trabalhos dirigidos para a modelagem de séries sintéticas de vazões em rios intermitentes.

Nessa dissertação utilizaram-se três processos de geração de séries sintéticas de vazões: método de Thomas&Fiering com modificação de Clarke, método de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas, e método de Monte Carlo em conjunto com o método dos fragmentos de Svanidze.

Visando melhor entender os processos de geração autorregressivos de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e depois com a transformação de Matalas, faz-se necessário o entendimento do processo original de Thomas&Fiering que será explicado a seguir.

### 3.2.2 – Modelo Autoregressivo de Thomas&Fiering.

O modelo proposto por Thomas&Fiering considerou uma série de vazões como sendo um processo composto pela soma de duas componentes: uma determinística e outra aleatória.

#### 3.2.2.1 – Componente Determinística

Essa componente considera a dependência dos dados de vazões entre meses consecutivos e tal dependência é considerada linear. A obtenção dos parâmetros estatísticos necessários à obtenção da componente determinística é realizada mediante o emprego da função geradora de momentos centrais e em relação a origem, dada por:

$$M_j^k = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (Q_{i,j} - Q_0)^k \quad (10)$$

em que:

$M_j^k$  – momento de ordem k, relativo ao mês j.

$Q_{i,j}$  – vazão observada no ano i (i=1,2,3,...,n), mês j (j=1,2,...,12).

n – número de anos de vazões observadas.

k – ordem do momento.

$Q_0$  – centralização do momento.

Tomando-se  $Q_0 = 0$  e  $k = 1$  na equação (10) e sendo  $j = 1$  tem-se, nesse caso, a média das vazões no mês de janeiro. No exemplo citado, diz-se que o momento foi centralizado na origem.

A covariância entre as vazões para dois meses consecutivos é estimada por:

$$Cov(Q_{j-1}, Q_j) = \frac{1}{(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^n Q_{j-1} Q_j - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{j-1} \sum_{i=1}^n Q_j \right] \quad (11)$$

em que  $Q_{j-1}$  e  $Q_j$  são, respectivamente, as vazões observadas nos meses  $j-1$  e  $j$ .

O coeficiente de correlação entre dois meses consecutivos é calculado pela seguinte equação:

$$r_j = \frac{Cov(Q_{j-1}, Q_j)}{[Var(Q_{j-1})Var(Q_j)]^{1/2}} \quad (12)$$

$$Var(Q_j) = \frac{n \sum_{i=1}^n Q_{i,j}^2 - \left( \sum_{i=1}^n Q_{i,j} \right)^2}{n(n-1)} \quad (13)$$

A dependência linear entre dois meses consecutivos é representada pelo coeficiente de regressão linear  $b_j$  obtido através de:

$$b_j = \frac{s_j}{s_{j-1}} r_j \quad (14)$$

em que  $s_j$  e  $s_{j-1}$  são os desvios padrão das vazões dos meses  $j$  e  $j-1$ , calculados através da equação (13), elevando a mesma a  $1/2$

Assim, a componente determinística é obtida por meio da seguinte equação:

$$Q_{i,j}^D = \bar{Q}_j + b_j (Q_{i,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) \quad (15)$$

em que:

$Q_{i,j}^D$  – componente determinística da vazão  $Q_{i,j}$ .

$Q_{i,j-1}$  – vazão no ano  $i$  e mês  $j-1$ .

$\bar{Q}_{j-1}$  e  $\bar{Q}_j$  - médias mensais das vazões no mês j-1 e j.

$b_j$  – coeficiente de regressão linear entre as vazões dos meses j-1 e j.

### 3.2.2.2 – Componente Aleatória

A componente aleatória é calculada por meio da equação a seguir:

$$Q_{i,j}^A = t_j s_j (1 - r_j^2)^{1/2} \quad (16)$$

em que  $t_j$  é um número pseudo-aleatório gerado através da distribuição  $N(0,1)$ ,  $s_j$  é o desvio padrão e  $r_j$  é o coeficiente de correlação entre dois meses consecutivos.

Assim, a equação completa do modelo auto-regressivo de Thomas&Fiering fica a seguinte:

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + b_j (Q_{i,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) + t_j s_j (1 - r_j^2)^{1/2} \quad (17)$$

### 3.2.3 – Modificação de CLARKE

O modelo original proposto por Thomas&Fiering considera uma total dependência linear entre todos os meses consecutivos, sem atentar ao fato desses meses possuírem vazões nulas ou não. Tal fato torna a aplicação do modelo inconsistente à realidade dos rios do semi-árido nordestino do Brasil, pois é evidente que um mês com vazão maior que zero, não terá influência sobre um mês com vazão nula.

O método proposto por CLARKE (1973) leva em conta a independência entre os meses com vazões diferentes de zero e os meses de vazões nulas, sendo uma modificação na metodologia desenvolvida por Thomas&Fiering. A seguir, o processo será explicado.

Considere  $n'$  o número de valores de vazões diferentes de zero em um dado mês j que possua um total de  $n$  observações. A probabilidade  $P_j$  que ocorra valores não nulos no mês j pode ser estimada por:

$$P_j = \frac{n'}{n} \quad (18)$$

Na geração dos valores de vazões mensais, o valor de  $P_j$  é calculado para cada mês pela equação (18). Também, para cada mês  $j$ , é gerado um número pseudo-aleatório  $U_j$  com distribuição uniforme (0,1). Caso  $U_j$  seja maior que  $P_j$ , a vazão  $Q_{i,j}$  é considerada igual a zero, caso contrário, considera-se  $Q_{i,j} > 0$ . Estando então estabelecido que  $Q_{i,j}$  é maior que zero, este valor será calculado mediante o emprego da equação (17), caso no mês  $j+1$  tenha ocorrido vazão não nula, caso tenha ocorrido vazão nula,  $Q_{i,j}$  é calculada pela equação a seguir:

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + s_j t_j \quad (19)$$

em que  $\bar{Q}_j$  e  $s_j$  são, respectivamente, a média e o desvio padrão das vazões no mês  $j$  e  $t$  é um número pseudo-aleatório com distribuição  $N(0,1)$ .

No Anexo I encontra-se um fluxograma apresentando a metodologia.

### 3.2.4 – Modificação de CLARKE e Transformação de MATALAS

Como relatado anteriormente, durante o processo de geração das séries sintéticas de vazões, a componente aleatória da equação (17) é função de um número pseudo-aleatório o qual deve ser gerado mediante o emprego de uma distribuição assimétrica de probabilidade, uma vez que as vazões possuem o mesmo caráter de ocorrência. Frise-se que a equação (19) utilizada por CLARKE (1973) é aplicada mediante o emprego de um número pseudo-aleatório com distribuição Normal  $N(0,1)$ .

A adoção de distribuições de probabilidades assimétricas com parâmetros obtidos em função do coeficiente de assimetria da amostra pode não ser satisfatório, uma vez que as séries históricas de vazões afluentes são geralmente muito curtas em relação à alta variabilidade das mesmas, o que impossibilita ter-se um estimador representativo do parâmetro populacional de assimetria.

Uma alternativa para resolver esse problema é fazer o uso da distribuição Log-Normal cuja função densidade de probabilidade com dois parâmetros é:

$$P(x) = \frac{1}{x s' \sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \left[ \frac{\ln(x) - \mu'}{s'} \right]^2} \quad 0 < x \leq \infty \quad (20)$$

em que  $\mu'$  e  $\sigma'$  são, respectivamente, a média e o desvio padrão populacionais da variável aleatória  $x$  estimados em função das  $n$  observações ( $X_i$ ) por:

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) \quad (21)$$

$$s' = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(X_i) - \bar{X}']^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

Segundo HAAN (1977), uma maneira de se gerar vazões mensais com distribuição Log-Normal em modelos autorregressivos de primeira ordem, seria tomar os logaritmos neperianos das vazões observadas, passando-se a trabalhar a partir desse ponto, com a série transformada. Todavia, tal processo preserva apenas os parâmetros estatísticos dos logaritmos das vazões e não dos dados originais. Outro problema surge, também, quando se aplica simplesmente a transformação logaritmo diretamente à série de vazões histórica de rios intermitentes, o fato desta função não ser definida para valores nulos, muito comuns nesses tipos de rios quando se trabalha em nível mensal, requerendo assim, um tratamento especial dos dados.

Agora será explicado o modelo de MATALAS (1967) proposto com o objetivo de sanar os inconvenientes citados acima. O modelo consiste em um “*by-pass*” da transformação logaritmo, ou seja, uma maneira de estimar os parâmetros da série histórica no domínio logarítmico sem modificar a série em si, baseando-se na seguinte transformação:

$$Q'_{i,j} = \ln(Q_{i,j} - \mathbf{a}_j) \quad (23)$$

em que o parâmetro  $\alpha_j$  é obtido em função dos parâmetros estatísticos da série histórica ( $Q_{i,j}$ ) como:

$$\mathbf{m}_j = \mathbf{a}_j + \exp(\mathbf{s}_j'^2/2 + \mathbf{m}_j) \quad (24)$$

$$\mathbf{s}_j'^2 = \exp[2(\mathbf{s}_j'^2 + \mathbf{m}_j)] - \exp(\mathbf{s}_j'^2 + 2\mathbf{m}_j) \quad (25)$$

$$\mathbf{g}_j = \frac{\exp(3\mathbf{s}_j'^2) - 3\exp(\mathbf{s}_j'^2) + 2}{[\exp(\mathbf{s}_j'^2) - 1]^{3/2}} \quad (26)$$

$$\mathbf{r}_j = \frac{\exp(\mathbf{s}_j'^2 \mathbf{r}_j) - 1}{\exp(\mathbf{s}_j'^2) - 1} \quad (27)$$

em que  $\mu_j$ ,  $\sigma_j^2$ ,  $\gamma_j$  e  $\rho_j$  são, respectivamente, a média, a variância, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de correlação populacionais da série, estimados por  $\bar{Q}_j$ ,  $s_j^2$ ,  $g_j$  e  $r_j$ , respectivamente.

O valor de  $\bar{Q}_j$  pode ser obtido mediante o emprego da equação (21) desprezando-se o operador  $\ln$ , o valor de  $s_j^2$  pode ser calculado aplicando-se a equação (22) desprezando-se, também, o operador  $\ln$  e elevando a mesma equação ao quadrado, o valor  $r_j$  pode ser obtido com o emprego direto da equação (12).

O valor  $g_j$ , correspondente ao coeficiente de assimetria, pode ser calculado por meio da equação (30) a partir dos estimadores dos momentos de segunda ( $M_j^2$ ) e terceira ( $M_j^3$ ) ordens dados pelas equações (28) e (29).

$$M_j^2 = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{i,j}^2 \right) - \bar{Q}_j^2 \quad (28)$$

$$M_j^3 = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{i,j}^3 \right) - \left( \frac{3}{n} \bar{Q}_j \sum_{i=1}^n Q_{i,j}^2 \right) + 2\bar{Q}_j^3 \quad (29)$$

com  $j = 1, 2, \dots, 12$ .

$$g_j = \frac{M_j^3}{(M_j^2)^{3/2}} \quad (30)$$

Os estimadores para  $\mu'_j$ ,  $\sigma'^2_j$  e  $\rho'_j$  podem ser obtidos tomando-se na equação (26)  $Z_j = \exp(\sigma'^2_j)$ .

$$g_j = \frac{Z_j^3 - 3Z_j + 2}{(Z_j - 1)^{3/2}} \quad \text{com } Z_j > 1 \quad (31)$$

fazendo  $f(Z) = Z_j^3 - 3Z_j + 2 - \gamma_j(Z_j - 1)^{3/2}$ , fica simples de se encontrar as raízes de  $f(Z)$  por um processo iterativo, determinando-se, assim, um estimador para  $\sigma'^2_j$  e, conseqüentemente, os estimadores dos demais parâmetros.

Na geração das séries sintéticas de vazões afluentes pelo procedimento de CLARKE (1973) em conjunto com o de MATALAS (1967), o processo se realiza de forma semelhante à exposta na seção anterior (3.2.3 – Modificação de CLARKE), substituindo-se os parâmetros estatísticos da série histórica pelos correspondentes parâmetros no domínio logarítmico obtidos com o uso das equações de (24) até (27).

A vazão num ano  $i$  e mês  $j$  é obtida por meio da inversa da equação (23), ficando assim:

$$Q_{i,j} = \exp(Q'_{i,j}) + a_j \quad (32)$$

em que  $Q'_{i,j}$  é a vazão calculada mediante o emprego da equação (17) ou (19), conforme antes explicado.

No Anexo I encontra-se um fluxograma apresentando a metodologia.

### 3.2.5 – Método de MONTE CARLO

É um método de solução numérica que se baseia essencialmente na geração e simulação de variáveis aleatórias.

Sua origem remonta a 1949 com a publicação do artigo “*The Monte Carlo method*” – J. von Neumann e S. Ulam – mas, apesar de se já ter conhecimento do mesmo há algumas décadas, deve-se ressaltar que sua utilização só foi possibilitada com o surgimento dos computadores eletrônicos, pelo volume considerável de cálculos implicado na geração e simulação das variáveis aleatórias.

O Método de Monte Carlo pode ser utilizado para simular e obter resultados de eventos que tenham sua origem associados ao acaso, ou seja, que possam ser tratados mediante o emprego de variáveis aleatórias. Sua aplicação pode ser associada às telecomunicações, ao controle industrial, à física nuclear e, como não poderia deixar de ser, ao estudo de dimensionamento de reservatórios, uma vez que as vazões afluentes anuais ao mesmo podem ser consideradas de natureza aleatória se levado em conta algumas premissas.

As séries históricas de vazões anuais, principalmente da região semi-árida nordestina, podem ser consideradas como de natureza aleatória, ou seja, como se fossem um sorteio ao acaso de um bloco de dados retirados do tempo. Isto equivale dizer que se outra série fosse gerada mediante alguns parâmetros estatísticos pertinentes à série histórica, essa nova série seria equiprovável de ocorrência com a histórica.

A importância do método para a região nordestina, em especial ao Estado do Ceará, advém do fato de as vazões anuais possuírem um caráter interanual independente, ou seja, o que ocorreu em um ano  $i+1$ , não influencia no ano  $i$ , que por sua vez não influenciará sobre o ano  $i+1$ . Este caráter de independência interanual foi testado através do Teste de Anderson como ficou descrito no item 3.1.2.

Após verificada a independência anual das vazões afluentes, o Método de Monte Carlo prossegue escolhendo-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajuste a esse valores. Segundo CAMPOS (1996), as distribuições de probabilidade que melhor se ajustam às séries

de vazões da região possuidora de rios intermitentes, são as distribuições Log-Normal e Gamma de dois parâmetros, devido ao caráter assimétrico que as duas possuem. Nessa dissertação optou-se pelo uso da distribuição Gamma bi-paramétrica, porém, realizou-se o teste para se verificar se o dados de vazões afluentes utilizados realmente seguiam esse tipo de função. O teste foi realizado mediante o emprego das metodologias explicadas nos itens 3.1.3 ( Teste Qui-Quadrado,  $\chi^2$  ) e 3.1.4 ( Teste Komogorov-Smirnov ), sendo a série histórica de vazões considerada ajustada a uma distribuição Gamma~2P se os valores passassem em ambos os testes com um nível de significância,  $\alpha$ , de 5 %.

Continuando o Método de Monte Carlo, tendo sido verificada a adequação das séries históricas de vazões afluentes a distribuição Gamma~2P, prosseguiu-se com a geração das séries sintéticas de vazões anuais como descrito a seguir.

Primeiramente, são gerados números pseudo-aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1 (  $U \sim (0;1)$  ) os quais são tratados como sendo a probabilidade de ocorrência de uma determinada vazão anual, vazão esta que segue a distribuição Gamma~2P cuja equação é:

$$P(x) = \frac{b^a x^{a-1} e^{-bx}}{\Gamma(a)} \quad (33)$$

em que  $\Gamma(a)$  é a função Gamma e  $a$  e  $b$  são parâmetros da distribuição, calculados a partir das seguintes equações:

$$\mathbf{m} = \frac{a}{b} \quad (34)$$

$$\mathbf{s}^2 = \frac{a}{b^2} \quad (35)$$

com  $\mu$  e  $\sigma^2$  sendo a média e a variância populacionais, respectivamente, estimados por  $\bar{Q}$  e  $s^2$  sobre os valores de vazões afluentes anuais da série histórica.

Conseqüentemente, invertendo-se a equação (33), em que  $P(x) = U(0;1)$ , obtém-se o valor  $x$  que nada mais é que uma vazão afluyente anual que segue a distribuição  $\text{Gamma}(a,b)$ , como descrito acima.

Assim, para gerar a série sintética anual, basta gerar uma seqüência de números pseudo-aleatórios com distribuição  $U(0;1)$ , calcular os parâmetros  $a$  e  $b$  através da estatística da série histórica e aplicar a equação (33) de forma inversa para obter a série sintética de vazões afluentes anuais.

No que concerne à quantidade de valores a serem gerados na série sintética, STUART (2000) realizou um estudo de análises de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos, e concluiu que, sendo geradas séries sintéticas de vazões afluentes com 5.000 valores, o estado inicial do reservatório não traz influência sobre o valor da vazão regularizada. Por esse motivo, todas as séries sintéticas geradas nessa dissertação, seja por Thomas&Fiering modificada por Clarke, como por Thomas&Fiering modificada por Clarke e transformada por Matalas, como ainda pelo Método de Monte Carlo foram geradas com o número de anos mencionado acima, uma vez que o objetivo é avaliar a influência que diferentes processos de geração de vazões afluentes têm na modificação da garantia mensal de retirada d'água de um reservatório.

Porém, como se pode notar, as metodologias de Thomas&Fiering modificada por Clarke e de Thomas&Fiering modificada por Clarke e transformada por Matalas geram séries sintéticas de vazões afluentes em nível mensal, enquanto que o Método de Monte Carlo gera em nível anual, logo existe a necessidade de adequação da escala de tempo.

Essa adequação foi realizada mediante o emprego de uma técnica de desagregação – o Método dos Fragmentos de SVANIDZE (1964), o qual produz vazões mensais por desagregação de vazões anuais pré-geradas por um modelo apropriado, no caso em questão, uma distribuição  $\text{Gamma II}$ . Este método produz bons resultados para os rios intermitentes do Semi-Árido Nordeste (ARAÚJO,1991).

### 3.2.5.1 – Método dos Fragmentos

O método começa pelo cálculo dos fragmentos ( $f_{i,j}$ ) para cada mês  $j$  em todos os anos  $i$  da série de vazões mensais históricas afluentes, como se segue:

$$f_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{\sum_{j=1}^n Q_{i,j}} \quad \text{com } n = 12 \quad (36)$$

em que  $Q_{i,j}$  é a vazão mensal histórica afluente no ano  $i$  e mês  $j$ . Os valores de  $f_{i,j}$  representam os percentuais de contribuição da vazão  $Q_{i,j}$  para o volume total escoado no ano  $i$ , representado pelo denominador da equação (36). Como consequência do exposto, verifica-se facilmente que:

$$\sum_{j=1}^n f_{i,j} = 1 \quad (37)$$

Prosseguindo-se com o método, a série anual histórica de vazões afluentes é ordenada de forma crescente para determinação de tantos intervalos de classe quanto seja o número de anos dessa série. A determinação dos limites das classes ocorre assim: o primeiro intervalo tem como limite inferior o valor zero e como limite superior o valor médio entre a primeira e a segunda vazões ordenadas; o segundo intervalo passa a possuir como limite inferior o limite superior da primeira classe, ou seja, da classe anterior, e fica com o limite superior determinado pelo valor médio entre a segunda e a terceira vazões ordenadas; o terceiro intervalo é formado da mesma maneira que o segundo e assim sucessivamente até o último intervalo, que terá  $+\infty$  como limite superior. A cada intervalo de classe ficam associados os doze fragmentos correspondentes.

Então, de posse da série sintética de vazões anuais geradas, cada um desses valores é distribuído no intervalo de classe a que pertence e desagregado pelos fragmentos correspondentes. As vazões sintéticas mensais ( $Q_{i,j}$ ) para cada anos são obtidas com a aplicação da seguinte equação:

$$Q_{i,j} = f_j^k Q_j^k \quad (38)$$

em que  $Q_j^k$  é o total anual gerado anteriormente e classificado no intervalo  $k$  e  $f_j^k$  é uma componente de  $f_{i,j}$  para a fragmentação no mês  $j$  associado ao intervalo de classe  $k$ .

Como se observa, o método preserva apenas a estatística anual das vazões, uma vez que gera vazões mensais baseadas na porcentagem com que a vazão histórica distribuiu-se ao longo do intervalo a que pertence, ou seja, é um método de procedimento não-paramétrico visto que nenhum parâmetro ou distribuição é avaliado para ajustamento às vazões históricas mensais.

A escolha do Método dos Fragmentos de SVANIDZE para tornar as séries sintéticas anuais obtidas pelo Método de Monte Carlo em séries mensais deu-se exatamente por essa sua característica não-paramétrica, sendo o contrário dos métodos de geração de vazões de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas, que tem seus processos baseados na obtenção e utilização de vários parâmetros estatísticos mensais, como já explicado. Isto ocorreu com o intuito de se retirar o máximo proveito na comparação das curvas de garantia mensal obtidas.

O Método de Monte Carlo, após as séries sintéticas terem sido geradas e desagregadas pelo Método dos Fragmentos de Svanidze, chega a sua fase final que é a simulação da operação do reservatório, ou seja, por meio de uma solução numérica de uma equação que descreva o balanço hídrico do mesmo, a este serão ofertadas as vazões mensais geradas e verificado com que constância se pode retirar um determinado volume de água no tempo (vazão regularizada), mediante o emprego de algumas regras pré-estabelecidas.

Esse processo de simulação será explicado no item seguinte e sua aplicação se dará mediante emprego de todas as séries sintéticas geradas pelos três processos expostos anteriormente, como também com a aplicação, simplesmente, da série histórica, obtendo-se assim para cada reservatório ensaiado, quatro curvas de garantia de retirada de água em nível mensal, a fim de que seja realizada a comparação entre essas curvas obtidas.

No Anexo I encontra-se um fluxograma apresentando a metodologia.

### 3.3 – Simulação dos Reservatórios

#### 3.3.1 - Introdução

Durante a fase de simulação dos reservatórios, estes foram simulados a fim de se ter como resposta ao final do processo, a garantia, em percentual, de que será possível retirar uma certa quantidade fixa de água todos os meses nos quais a falha nessa retirada é conhecida.

A simulação consiste em aplicar o balanço hídrico na reserva, usando uma série de vazões conhecidas e estabelecendo uma regra de retirada mensal, analisando a partir daí o comportamento de reservatório caso aquela regra fosse estabelecida.

O balanço hídrico foi feito mediante o emprego da seguinte equação:

$$\Delta V = VA_j + VP_j - VS_j - VE_j - VR_j \quad (39)$$

$$\Delta V = V_{j+1} - V_j \quad (40)$$

em que :

- )  $\Delta V$  é a variação do volume acumulado no reservatório entre dois meses  $j$  e  $j+1$ ;
- )  $VA_j$  é o volume mensal gerado pelas metodologias explicadas anteriormente que aflui ao reservatório durante o mês  $j$ ;
- )  $VP_j$  é o volume mensal precipitado sobre o lago do reservatório durante o mês  $j$ ;
- )  $VS_j$  é o volume mensal sangrado do reservatório durante o mês  $j$ ;
- )  $VE_j$  é o volume mensal evaporado do reservatório durante o mês  $j$ ;
- )  $VR_j$  é o volume mensal que se deseja retirar do reservatório e que obedece à regra de retirada.

### 3.3.2 – Volume Afluente

O volume afluente mensal é parte da água que se precipita sobre a bacia hidrográfica, sendo escoada para dentro do reservatório.

Em regiões que possuem um baixo coeficiente de variação das vazões escoadas, ou seja, de um ano para o outro o volume que escoa para os reservatórios é relativamente constante, a série histórica é suficiente para garantir uma simulação com resultados satisfatórios.

Porém, na região semi-árida nordestina, onde os rios possuem um caráter intermitente aliado a anos intercalados entre períodos chuvosos e secos, ou seja, com um coeficiente variacional bastante elevado, é de extrema importância o emprego de técnicas de geração de vazões a fim de que se tenha um dimensionamento dos reservatórios satisfatório. Para gerar essas séries, faz-se necessária a utilização das séries históricas existentes, séries estas geralmente curtas.

As séries históricas foram conseguidas junto ao Professor Doutor Eduardo Sávio Martins, visitante do curso de Mestrado em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará e também funcionário da FUNCEME e obtidas mediante utilização, por parte do mesmo, do modelo Chuva – Deflúvio denominado MODHAC.

As tabelas com essas séries estão apresentadas no Anexo II.

### 3.3.3 – Volume Precipitado

Os volumes mensais precipitados sobre o lago dos reservatórios são utilizados como dados de entrada no modelo de simulação.

Os dados de precipitação sobre o lago dos reservatórios foram conseguidos utilizando-se o posto pluviométrico da SRH - CE mais próximo dos mesmos e obtendo-se a média dos meses como uma série constante de doze valores, correspondente aos meses de janeiro a dezembro, utilizada na simulação.

Na **TABELA 3.1** encontra-se a relação dos postos selecionados para cada reservatório, com suas respectivas localização e coordenadas.

Os valores médios mensais de precipitação sobre os reservatórios estudados encontram-se na **TABELA 3.2**.

**TABELA 3.1** - Relação dos Postos Pluviométricos

| RESERVATÓRIO   | POSTO                | CIDADE    | LATITUDE | LONGITUDE |
|----------------|----------------------|-----------|----------|-----------|
| Aracoiaba      | Vazantes             | Aracoiaba | 04°25'   | 38°42'    |
| Banabuiú       | Açude Banabuiú       | Quixadá   | 05°20'   | 38°56'    |
| Cauhipe        | Açude Salão          | Canindé   | 04°25'   | 39°19'    |
| Catu           | Aquiraz              | Aquiraz   | 03°54'   | 38°23'    |
| Malcozinhado   | Cascavel             | Cascavel  | 04°08'   | 38°14'    |
| Orós           | Açude Orós           | Orós      | 06°16'   | 38°55'    |
| Pacajus        | Angicos              | Cascavel  | 04°13'   | 38°20'    |
| Pedras Brancas | Boqueirão P. Brancas | Quixadá   | 05°10'   | 38°52'    |
| Sítios Novos   | Sítios Novos         | Caucáia   | 03°44'   | 38°58'    |

### 3.3.4 – Volume Evaporado

O volume mensal evaporado sobre a bacia hidráulica dos reservatórios é utilizado também como dado de entrada no modelo. Da mesma maneira que acontece com as precipitações, a evaporação é medida em lâmina evaporada, precisando-se multiplicar essa lâmina por uma área para se obter o volume evaporado.

Os dados de evaporação mensal utilizados foram os das normais climatológicas do INMET, considerando-se a estação climatológica mais próxima dos reservatórios.

Na **TABELA 3.3** encontram-se a relação dos reservatórios com sua respectivas estações e valores de evaporações médias mensais.

**TABELA 3.2 - Precipitação Média Mensal sobre os Reservatórios, em mm**

| RESERVATÓRIO   | MESES |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
|                | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ   |
| Aracoiaba      | 131,8 | 235,7 | 208,8 | 134,8 | 59,8  | 25,7  | 5,5  | 3,0  | 6,8  | 7,6  | 23,0 | 131,8 |
| Banabuiu       | 119,2 | 105,7 | 226,6 | 231,2 | 113,7 | 48,5  | 44,3 | 10,0 | 1,4  | 1,1  | 2,9  | 22,2  |
| Cauhipe        | 58,2  | 115,3 | 179,9 | 162,9 | 82,1  | 29,8  | 13,8 | 2,3  | 1,1  | 3,2  | 3,9  | 16,9  |
| Catu           | 100,2 | 201,9 | 338,9 | 351,4 | 245,2 | 132,9 | 68,9 | 24,0 | 20,0 | 12,5 | 13,7 | 34,2  |
| Malcozinhado   | 101,4 | 205,3 | 330,5 | 305,1 | 199,5 | 90,6  | 39,2 | 12,7 | 11,9 | 12,3 | 19,1 | 42,7  |
| Orós           | 86,7  | 132,9 | 235,5 | 199,9 | 94,8  | 30,3  | 15,7 | 4,2  | 5,4  | 10,8 | 9,0  | 39,9  |
| Pacajus        | 81,8  | 123,2 | 230,3 | 214,7 | 128,2 | 68,8  | 25,2 | 3,3  | 7,6  | 5,7  | 6,1  | 30,0  |
| Pedras Brancas | 64,6  | 118,1 | 193,0 | 188,3 | 110,5 | 47,9  | 24,8 | 3,4  | 0,8  | 1,7  | 4,8  | 16,3  |
| Sítios Novos   | 83,2  | 139,0 | 217,8 | 220,3 | 158,0 | 60,3  | 47,0 | 6,2  | 7,0  | 2,6  | 6,0  | 26,4  |

FONTE: SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ – SRH - CE

**TABELA 3.3 - Evaporação Média Mensal sobre os Reservatórios, em mm**

| RESERVATÓRIO   | ESTAÇÃO      | MESES |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                |              | JAN   | FEV   | MAR   | ABR  | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |
| Aracoiaba      | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |
| Banabuiu       | Quixeramobim | 189,0 | 136,9 | 102,9 | 81,8 | 83,6  | 108,2 | 149,0 | 206,8 | 245,9 | 282,3 | 241,3 | 241,8 |
| Cauhipe        | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |
| Catu           | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |
| Malcozinhado   | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |
| Orós           | Iguatu       | 161,4 | 113,6 | 89,5  | 86,4 | 100,9 | 147,1 | 188,1 | 217,8 | 218,9 | 236,6 | 214,9 | 212,8 |
| Pacajus        | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |
| Pedras Brancas | Morada Nova  | 207,7 | 149,8 | 87,7  | 90,1 | 112,4 | 128,7 | 179,6 | 243,8 | 246,7 | 279,3 | 259,9 | 249,5 |
| Sítios Novos   | Fortaleza    | 120,1 | 95,5  | 72,4  | 68,1 | 84,6  | 94,7  | 118,3 | 151,8 | 167,8 | 173,5 | 168,1 | 154,3 |

FONTE: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET

### 3.3.5 – Áreas e Volumes

Os valores de volumes e áreas são funções da cota ou nível de água em que se encontram os reservatórios. Esses dados são obtidos mediante a utilização da tabela de Cota x Área x Volume conseguida para cada reservatório junto à COGERH.

**TABELA 3.4 - Cota x Área x Volume do Reservatório Aracoiaba**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 66,65    | 0,00                    | 0,00                      |
| 70,00    | 0,75                    | 2,50                      |
| 75,00    | 2,08                    | 7,39                      |
| 80,00    | 3,90                    | 20,73                     |
| 85,00    | 6,63                    | 48,78                     |
| 90,00    | 11,13                   | 98,78                     |
| 95,00    | 17,32                   | 175,00                    |
| 100,00   | 25,31                   | 279,70                    |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.5 - Cota x Área x Volume do Reservatório Banabuiú**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 89,00    | 0,00                    | 0,00                      |
| 91,00    | 0,01                    | 0,01                      |
| 92,00    | 0,02                    | 0,02                      |
| 93,00    | 0,06                    | 0,06                      |
| 94,00    | 0,15                    | 0,16                      |
| 95,00    | 0,25                    | 0,36                      |
| 96,00    | 0,40                    | 0,67                      |
| 97,00    | 0,62                    | 1,18                      |
| 98,00    | 0,88                    | 1,93                      |
| 99,00    | 1,23                    | 2,98                      |
| 100,00   | 1,73                    | 4,44                      |
| 101,00   | 2,33                    | 6,48                      |
| 102,00   | 2,98                    | 9,12                      |
| 103,00   | 3,71                    | 12,47                     |
| 104,00   | 4,39                    | 16,52                     |
| 105,00   | 4,97                    | 21,21                     |
| 106,00   | 5,37                    | 26,40                     |
| 106,71   | 5,62                    | 30,30                     |
| 107,50   | 6,14                    | 41,50                     |
| 112,50   | 10,10                   | 111,50                    |
| 117,50   | 17,01                   | 201,50                    |
| 122,50   | 31,11                   | 321,50                    |
| 127,50   | 41,54                   | 521,50                    |
| 132,50   | 65,16                   | 751,50                    |
| 137,50   | 90,34                   | 1141,50                   |
| 142,50   | 144,87                  | 1601,00                   |
| 143,50   | 154,66                  | 1676,50                   |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.6 - Cota x Área x Volume do Reservatório Cauhipe**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 29,00    | 0,00                    | 0,00                      |
| 30,00    | 0,50                    | 0,12                      |
| 31,00    | 1,60                    | 0,48                      |
| 32,00    | 2,70                    | 1,21                      |
| 33,00    | 3,95                    | 2,30                      |
| 34,00    | 5,75                    | 3,99                      |
| 35,00    | 7,20                    | 5,87                      |
| 36,00    | 10,00                   | 8,90                      |
| 36,89    | 11,10                   | 12,19                     |
| 37,00    | 11,80                   | 12,60                     |
| 38,00    | 13,50                   | 16,66                     |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.7 - Cota x Área x Volume do Reservatório Catu**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 33,00    | 0,00                    | 0,00                      |
| 34,00    | 0,05                    | 1,38                      |
| 35,00    | 0,10                    | 2,30                      |
| 36,00    | 0,25                    | 4,10                      |
| 37,00    | 0,40                    | 6,30                      |
| 38,00    | 0,62                    | 8,00                      |
| 39,00    | 0,97                    | 10,10                     |
| 40,00    | 1,35                    | 12,70                     |
| 41,00    | 1,88                    | 15,50                     |
| 42,00    | 2,48                    | 19,40                     |
| 43,00    | 3,23                    | 22,80                     |
| 44,00    | 4,12                    | 26,70                     |
| 45,00    | 5,07                    | 30,00                     |
| 46,00    | 6,22                    | 34,35                     |
| 47,00    | 7,53                    | 39,60                     |
| 48,00    | 8,83                    | 41,90                     |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.8 - Cota x Área x Volume do Reservatório Malcozinhado**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 9,00     | 0,00                    | 0,00                      |
| 10,00    | 0,02                    | 0,01                      |
| 11,00    | 0,09                    | 0,06                      |
| 12,00    | 0,24                    | 0,21                      |
| 13,00    | 0,37                    | 0,52                      |
| 14,00    | 0,83                    | 1,09                      |
| 15,00    | 1,15                    | 2,08                      |
| 16,00    | 1,67                    | 3,48                      |
| 17,00    | 2,32                    | 5,47                      |
| 18,00    | 2,92                    | 8,09                      |
| 19,00    | 3,56                    | 11,32                     |
| 20,00    | 4,36                    | 15,27                     |
| 21,00    | 4,98                    | 19,94                     |
| 22,00    | 5,68                    | 25,27                     |
| 23,00    | 6,29                    | 31,25                     |
| 24,00    | 6,89                    | 37,84                     |
| 25,00    | 7,44                    | 45,00                     |
| 26,00    | 8,14                    | 52,79                     |
| 27,00    | 9,10                    | 61,41                     |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.9 - Cota x Área x Volume do Reservatório Orós**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 160,00   | 0,00                    | 0,00                      |
| 161,00   | 0,27                    | 0,27                      |
| 162,00   | 0,43                    | 0,28                      |
| 163,00   | 0,69                    | 0,71                      |
| 164,00   | 1,10                    | 1,74                      |
| 165,00   | 1,64                    | 3,41                      |
| 166,00   | 2,28                    | 5,68                      |
| 167,00   | 3,03                    | 8,61                      |
| 168,00   | 3,88                    | 12,29                     |
| 169,00   | 4,86                    | 16,87                     |
| 170,00   | 6,01                    | 22,54                     |
| 171,00   | 7,32                    | 29,48                     |
| 172,00   | 8,82                    | 37,88                     |
| 173,00   | 10,49                   | 47,88                     |
| 174,00   | 12,31                   | 59,62                     |
| 175,00   | 14,26                   | 73,22                     |
| 176,00   | 16,33                   | 88,79                     |
| 177,00   | 18,51                   | 106,48                    |
| 178,00   | 20,82                   | 126,41                    |
| 179,00   | 23,30                   | 148,78                    |
| 180,00   | 25,98                   | 173,84                    |
| 181,00   | 28,94                   | 201,88                    |
| 182,00   | 32,25                   | 233,21                    |
| 183,00   | 35,99                   | 268,27                    |
| 184,00   | 40,21                   | 307,48                    |
| 185,00   | 45,00                   | 351,34                    |
| 186,00   | 50,40                   | 400,37                    |
| 187,00   | 56,43                   | 455,15                    |
| 188,00   | 63,12                   | 516,28                    |
| 189,00   | 70,49                   | 584,40                    |
| 190,00   | 78,54                   | 660,22                    |
| 191,00   | 87,30                   | 744,46                    |
| 192,00   | 96,81                   | 837,97                    |
| 193,00   | 107,14                  | 941,61                    |
| 194,00   | 118,38                  | 1056,37                   |
| 195,00   | 130,67                  | 1183,27                   |
| 196,00   | 144,14                  | 1323,41                   |
| 197,00   | 158,92                  | 1477,94                   |
| 198,00   | 175,10                  | 1647,99                   |
| 199,00   | 192,68                  | 1834,63                   |
| 199,50   | 202,11                  | 1940,00                   |
| 200,00   | 211,54                  | 2038,81                   |
| 205,00   | 310,05                  | 3342,81                   |
| 206,00   | 330,00                  | 4000,00                   |

**FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.**

**TABELA 3.10 - Cota x Área x Volume do Reservatório Pacajus**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 22,00    | 0,00                    | 0,00                      |
| 23,00    | 0,03                    | 0,01                      |
| 24,00    | 0,32                    | 0,16                      |
| 25,00    | 1,16                    | 0,81                      |
| 26,00    | 3,10                    | 2,87                      |
| 27,00    | 5,40                    | 7,10                      |
| 28,00    | 7,66                    | 13,64                     |
| 29,00    | 10,43                   | 22,60                     |
| 30,00    | 13,76                   | 34,71                     |
| 31,00    | 16,98                   | 50,11                     |
| 32,00    | 20,72                   | 68,90                     |
| 33,00    | 24,24                   | 91,44                     |
| 34,00    | 27,12                   | 117,23                    |
| 35,00    | 29,08                   | 145,38                    |
| 36,00    | 30,88                   | 175,37                    |
| 37,00    | 32,71                   | 207,17                    |
| 38,00    | 35,56                   | 240,00                    |
| 39,00    | 40,96                   | 278,30                    |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.11 - Cota x Área x Volume do Reservatório Pedras Brancas**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 100,00   | 0,00                    | 0,00                      |
| 101,00   | 0,02                    | 0,01                      |
| 102,00   | 0,05                    | 0,05                      |
| 103,00   | 0,11                    | 0,12                      |
| 104,00   | 0,23                    | 0,28                      |
| 105,00   | 0,45                    | 0,61                      |
| 106,00   | 0,81                    | 1,23                      |
| 107,00   | 1,33                    | 2,29                      |
| 108,00   | 2,08                    | 3,97                      |
| 109,00   | 3,12                    | 6,56                      |
| 110,00   | 4,28                    | 10,25                     |
| 111,00   | 5,45                    | 15,14                     |
| 112,00   | 5,92                    | 20,86                     |
| 113,00   | 6,04                    | 22,53                     |
| 114,00   | 7,77                    | 24,83                     |
| 116,00   | 11,84                   | 44,45                     |
| 118,00   | 19,69                   | 75,00                     |
| 120,00   | 25,60                   | 119,28                    |
| 122,00   | 33,16                   | 178,04                    |
| 124,00   | 41,98                   | 259,17                    |
| 125,00   | 58,01                   | 303,16                    |
| 127,00   | 72,88                   | 434,05                    |
| 129,00   | 104,70                  | 609,01                    |
| 131,00   | 143,32                  | 855,30                    |

FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.

**TABELA 3.12 - Cota x Área x Volume do Reservatório Sítios Novos**

| COTA (m) | ÁREA (km <sup>2</sup> ) | VOLUME (hm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| 27,60    | 0,00                    | 0,00                      |
| 29,00    | 0,05                    | 0,03                      |
| 30,00    | 0,30                    | 0,18                      |
| 31,00    | 0,87                    | 0,62                      |
| 32,00    | 1,89                    | 1,57                      |
| 33,00    | 3,50                    | 3,32                      |
| 34,00    | 5,42                    | 6,03                      |
| 35,00    | 7,38                    | 9,73                      |
| 36,00    | 9,43                    | 14,44                     |
| 37,00    | 11,73                   | 20,32                     |
| 38,00    | 14,32                   | 27,47                     |
| 39,00    | 17,11                   | 36,04                     |
| 40,00    | 20,01                   | 46,04                     |
| 41,00    | 23,39                   | 57,74                     |
| 42,00    | 26,93                   | 71,20                     |
| 43,00    | 30,59                   | 86,51                     |
| 44,00    | 34,33                   | 103,67                    |
| 45,00    | 38,11                   | 123,24                    |
| 46,00    | 42,22                   | 144,34                    |
| 47,00    | 46,41                   | 167,56                    |
| 48,00    | 50,23                   | 192,67                    |
| 49,00    | 53,83                   | 219,59                    |
| 50,00    | 57,39                   | 248,28                    |

**FONTE: COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, do Ceará.**

### 3.3.6 – Volume Sangrado

O volume mensal sangrado é a parte da água que entra no reservatório sobre a qual não se tem nenhum controle, devido a mesma exceder a capacidade de armazenamento.

Assim, sempre que durante o processo de simulação dos reservatórios o volume ultrapassar um determinado valor estipulado como o volume máximo, a diferença entre esses volumes será o volume sangrado.

### 3.3.7 – Volume Regularizado

O volume regularizado é o valor que se deseja retirar todos os meses. Esse valor pode obedecer determinadas regras de retirada, como variar ao longo do ano, diminuir se um determinado volume do reservatório for atingido, dentre outras.

Como o intuito é verificar que resultados o emprego de diferentes técnicas de geração de vazões afluentes podem vir a causar nesse volume regularizado, utilizou-se uma regra simples: retira-se um volume constante todos os meses até que o volume do reservatório atinja um determinado nível mínimo pré-estabelecido (Volume Morto), atingido esse volume, não se pode retirar nada.

### 3.3.8 – Critério de Garantia

A garantia mensal foi obtida segundo a equação abaixo:

$$Garantia(\%) = \frac{NM - Nf}{NM} \times 100 \quad (41)$$

em que NM é o número total de meses simulados e NF é o número total de meses falhados.

NF é obtido mediante o somatório do número de meses nos quais não se pode retirar o volume regularizado, uma vez que o reservatório se encontrava em seu volume morto.

### 3.3.9 – Passos do Processo de Simulação

Um artifício foi realizado para a obtenção do volume mensal precipitado e evaporado. Em vez de se obter um volume, trabalhou-se com a própria altura de chuva e de evaporação da seguinte forma: de posse do volume que o reservatório tinha em um dado instante da simulação, entrou-se com esse volume na tabela Cota x Área x Volume e obteve-se a cota do reservatório correspondente, voltando-se da tabela com uma altura e não mais com um volume. Em seguida, somou-se à referida cota a altura de chuva e subtraiu-se a lâmina evaporada, ambos sobre o açude, obtendo-se assim mais uma altura da água dentro do reservatório, retornando-se então à tabela Cota x Área x Volume e voltando com o respectivo volume ao qual se poderá prosseguir com o processo de simulação.

Então, o processo de simulação ocorreu da seguinte forma: para um mês  $j$ , ao volume inicial do reservatório é somado o respectivo volume afluente mensal gerado, essa soma é então interpolada na tabela Cota x Área x Volume obtendo-se a altura d'água na qual o reservatório encontra-se nesse ponto. Em seguida, a essa altura é somada e subtraída,

respectivamente, a lâmina precipitada e a lâmina evaporada sobre o lago, após o que, interpola-se novamente na mesma tabela a nova altura obtida, retornando-se com o volume equivalente.

A esse volume é retirado o volume regularizado onde, se após a retirada o volume restante no reservatório for menor que o volume morto, será considerado uma falha e essa diferença será devolvido para que o mês seguinte possa ser simulado, caso contrário, verifica-se se o volume restante é maior que a capacidade do açude, se positivo, o excedente será o volume sangrado, não ocorrendo falha.

Caso o volume apresentado pelo reservatório após a retirada do volume regularizado não seja nem inferior ao morto e nem superior ao máximo, não ocorrendo, também, falha. No final da simulação de todos os meses, ter-se-á o total de meses onde ocorreram falhas, podendo-se calcular a garantia mensal com que o volume regularizado poderá ser retirado.

No Anexo I encontra-se um fluxograma apresentando o método de simulação.

### 3.3.10 – Comparação entre as Curvas de Garantia

Após obtidas as quatro curvas de garantia mensal – três com o uso das séries sintéticas e outra com o uso da série histórica – para cada um dos reservatórios estudados, foi realizada a comparação dessas curvas e, com o intuito de melhor interpretar os resultados, calculou-se o erro relativo referente ao valor da garantia mensal de 90%, por ser esse o adotado na maioria dos projetos realizados na região onde os açudes estudados encontram-se. O erro relativo foi determinado como se encontra explicado abaixo.

O erro relativo é a diferença, em percentual positivo ou negativo, entre o valor das vazões regularizadas obtidas com 90% de garantia mensal, após o processo de simulação dos reservatórios, para as séries sintéticas geradas e os mesmos valores obtidos usando-se as séries históricas.

Assim, o erro relativo foi calculado pelo emprego da seguinte equação:

$$ER_s = \frac{VR_s - VR_h}{VR_h} \times 100 \quad (42)$$

em que :

$ER_s$  – erro relativo para a série sintética s;

$VR_s$  – vazão regularizada com 90% de garantia mensal e obtida utilizando-se a série sintética s;

$VR_h$  – vazão regularizada com 90% de garantia mensal e obtida utilizando-se a série histórica h.

### 3.4 – Aplicação dos Modelos Estudados

#### 3.4.1 – Introdução

Com o objetivo de analisar a influência dos procedimentos de geração de vazões afluentes mensais descritos anteriormente, durante o processo de simulação, obtendo-se para comparação curvas de vazão regularizada *versus* garantia mensal, na região do semi-árido nordestino brasileiro, escolheram-se nove reservatórios do Estado do Ceará distribuídos nas bacias do Jaguaribe, Banabuiú e Metropolitana.

#### 3.4.2 – Açudes Seleccionados

Os dados a seguir foram conseguidos junto à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH ([www.cogerh.com.br](http://www.cogerh.com.br)).

Os açudes seleccionados para estudo foram os seguintes:

- Açude Aracoiaba

Açude em construção localizado no município de Aracoiaba, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 04°24' LONGITUDE : 38°41'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Rio Aracoiaba, com uma área hidrográfica de 588,60 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 175,0 hm<sup>3</sup> (cota 95,00 m), tendo como volume morto 7,39 hm<sup>3</sup> (cota 75,00 m).

- Açude Banabuiú

Açude concluído em 1966 localizado no município de Banabuiú, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 05°20' LONGITUDE : 38°56'

O açude pertence a bacia do Banabuiú, barrando o Rio Banabuiú, com uma área hidrográfica de 14.244,00 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 1.601,0 hm<sup>3</sup> (cota 142,50 m), tendo como volume morto 0,1856 hm<sup>3</sup> (cota 94,13 m).

- Açude Cauhipe

Açude concluído em 1999 localizado no município de Caucaia, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 04°23' LONGITUDE : 39°18'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Riacho Cauhipe, com uma área hidrográfica de 88,44 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 12,192 hm<sup>3</sup> (cota 36,89 m), tendo como volume morto 0,845 hm<sup>3</sup> (cota 31,50 m).

- Açude Catu

Açude concluído em 2002 localizado no município de Aquiraz, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 04°01' LONGITUDE : 38°26'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Riacho Catu, com uma área hidrográfica de 64,50 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 30,0 hm<sup>3</sup> (cota 45,00 m) tendo como volume morto 1,5 hm<sup>3</sup> (cota 34,13 m).

- Açude Malcozinhado

Açude em construção localizado no município de Cascavel, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 04°06' LONGITUDE : 38°19'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Riacho Malcozinhado, com uma área hidrográfica de 240,00 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 37,84 hm<sup>3</sup> (cota 24,00 m) tendo como volume morto 1,731 hm<sup>3</sup> (cota 14,65 m).

- Açude Orós

Açude concluído em 1962 localizado no município de Orós, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 06°16' LONGITUDE : 38°55'

O açude pertence a bacia do Alto Jaguaribe, barrando o Rio Jaguaribe, com uma área hidrográfica de 24.209,00 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 1.940,00 hm<sup>3</sup> (cota 199,50 m) tendo como volume morto 16,87 hm<sup>3</sup> (cota 169,00 m).

- Açude Pacajus

Açude concluído em 1960 localizado no município de Pacajus, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 04°14' LONGITUDE : 38°23'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Rio Choró, com uma área hidrográfica de 4.486,10 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 240,00 hm<sup>3</sup> (cota 38,00 m), tendo como volume morto 34,71 hm<sup>3</sup> (cota 30,00 m).

- Açude Pedras Brancas

Açude concluído em 1978 localizado no município de Quixadá, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 05°10' LONGITUDE : 38°52'

O açude pertence à bacia do Banabuiú, barrando o Rio Sitiá, com uma área hidrográfica de 1.987,70 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 434,04 hm<sup>3</sup> (cota 127,00 m), tendo como volume morto 0,607 hm<sup>3</sup> (cota 105,00 m).

- Açude Sítios Novos

Açude concluído em 1999 localizado no município de Caucaía, sendo o eixo da barragem localizado nas seguintes coordenadas:

LATITUDE : 03°46' LONGITUDE : 38°55'

O açude pertence à bacia Metropolitana, barrando o Rio São Gonçalo, com uma área hidrográfica de 441,71 km<sup>2</sup>. A capacidade máxima de armazenamento de água do reservatório é de 123,23 hm<sup>3</sup> (cota 45,00 m), tendo como volume morto 18,432 hm<sup>3</sup> (cota 36,68 m).

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – Testes Estatísticos

Visando gerar as séries sintéticas de vazões anuais por meio da metodologia de Monte Carlo, houve a necessidade da realização dos testes estatísticos descritos no item 3.1.

O teste de Anderson verificou a independência interanual das vazões históricas, enquanto o teste Qui-Quadrado e o teste Kolmogorov-Smirnov verificaram a adequação da distribuição Gamma~2P.

#### 4.1.1 – Teste de Anderson

Como descrito, o teste avalia a hipótese,  $H_0$ , de o coeficiente de auto-correlação populacional  $\rho(\tau)$ , estimado por  $r(k)$  através da equação (04), ser igual a zero.

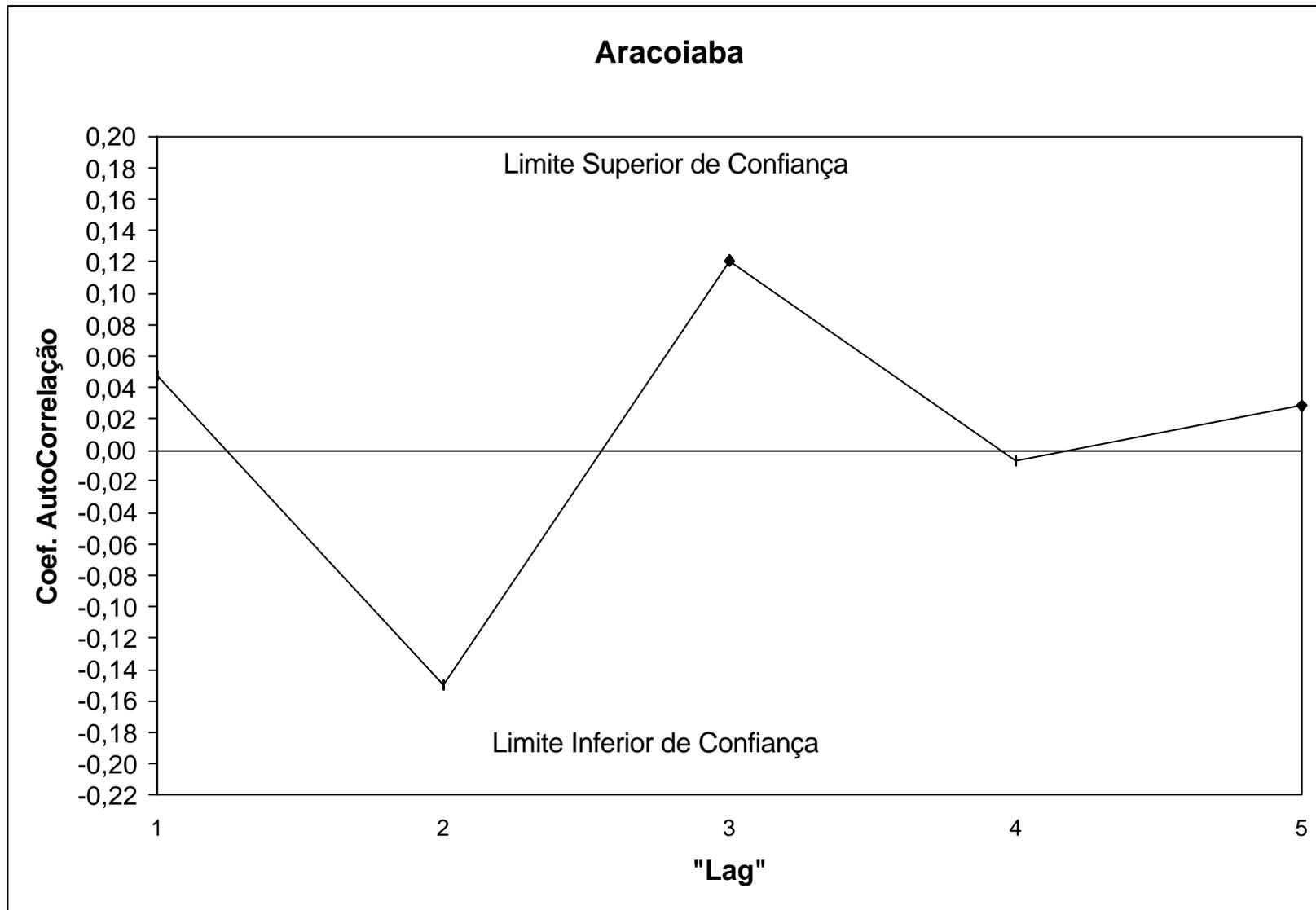
Caso o estimador  $r(k)$  exceda os limites de confiança calculados por meio das equações (06) e (07), a hipótese  $H_0$  é rejeitada, mostrando que as vazões anuais possuem dependência interanual.

O estimador  $r(k)$  pode ser calculado para testar a independência interanual não somente em relação ao ano anterior, mas para quantos anos antes desejem-se testar.

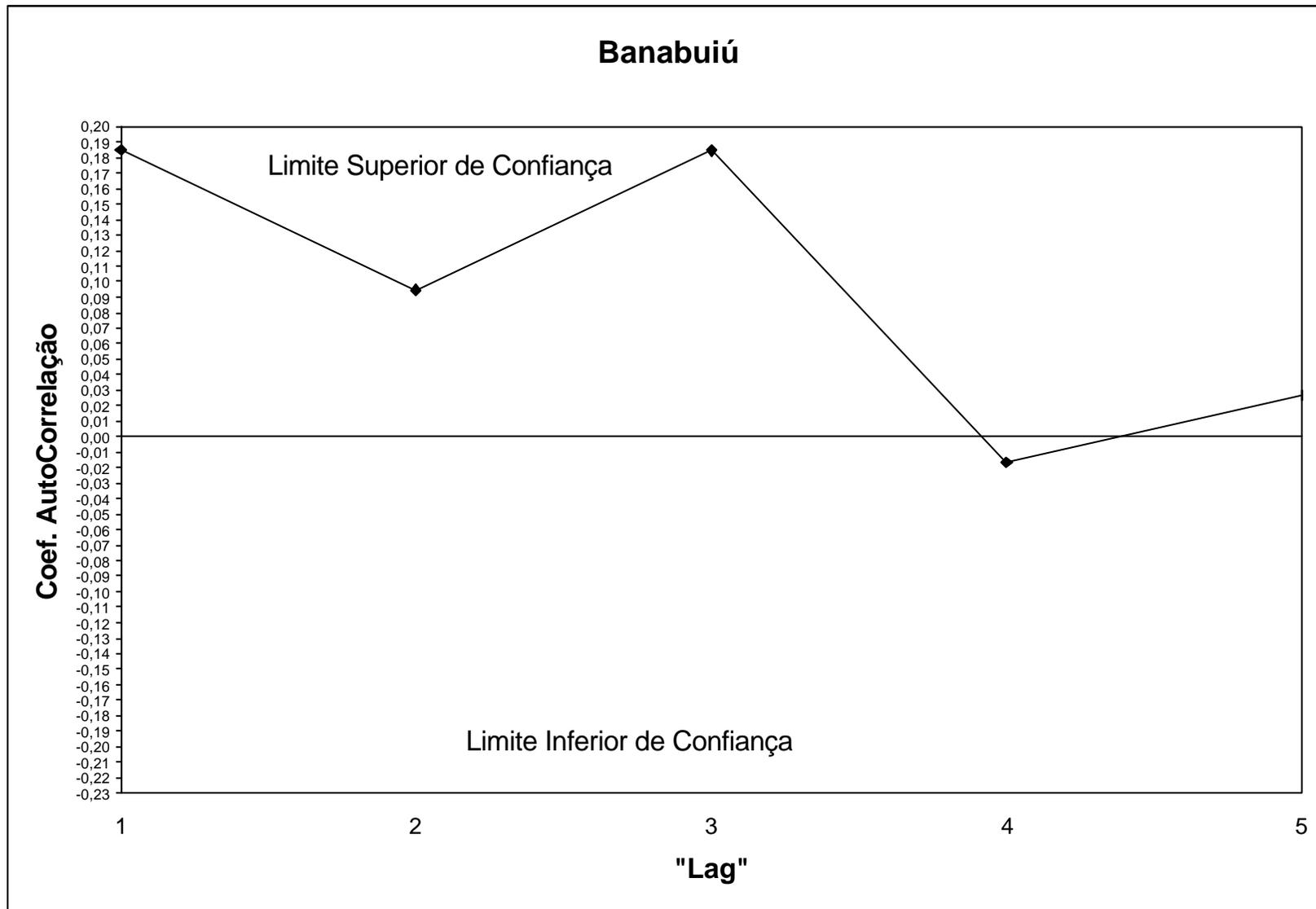
Foi testada a independência interanual para até cinco anos. Fazendo-se o gráfico dos valores  $r(1)$ ,  $r(2)$ ,  $r(3)$ ,  $r(4)$  e  $r(5)$  *versus* o número de anos, tem-se o correlograma, onde se inserindo no mesmo os limites de confiança inferior e superior, pode-se facilmente verificar se a hipótese  $H_0$  é aceita.

A seguir são apresentados os correlogramas para as séries históricas de vazões anuais dos reservatórios estudados juntamente com os respectivos limites de confiança, calculados para um nível de confiança,  $\alpha$ , de 5%, o qual implica no valor  $Z_{1-\alpha/2} = Z_{0,975} = 1,96$ , retirado de uma tabela da distribuição Normal Padrão.

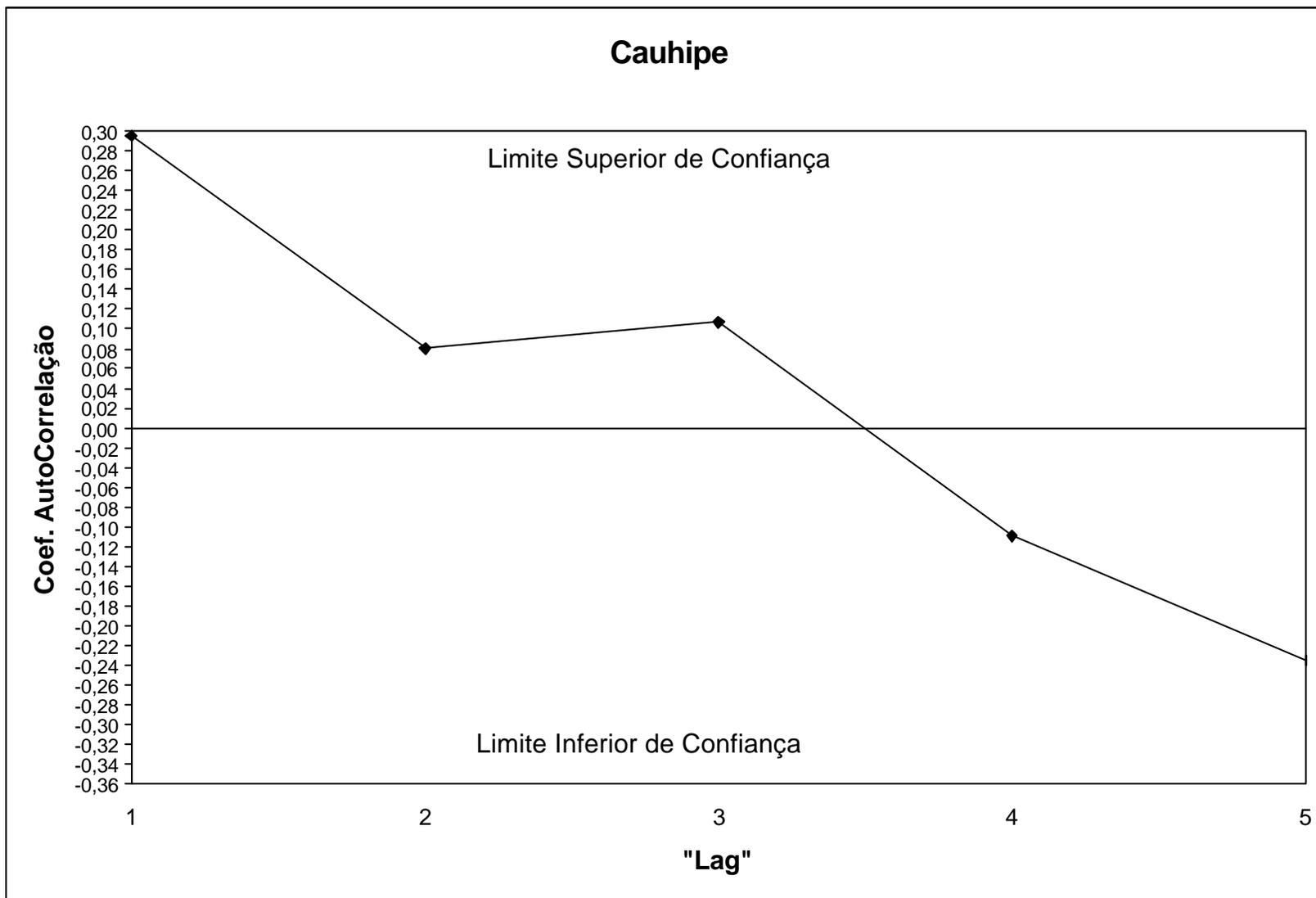
Analisando-se os nove correlogramas, verifica-se que todas as séries históricas de vazões anuais tiveram o estimador  $r(k)$ , para  $k = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ , dentro dos respectivos limites inferiores e superiores de confiança, podendo a hipótese  $H_0$  ser aceita, o que assegura a total independência interanual entre essas vazões num intervalo de tempo de até cinco anos.



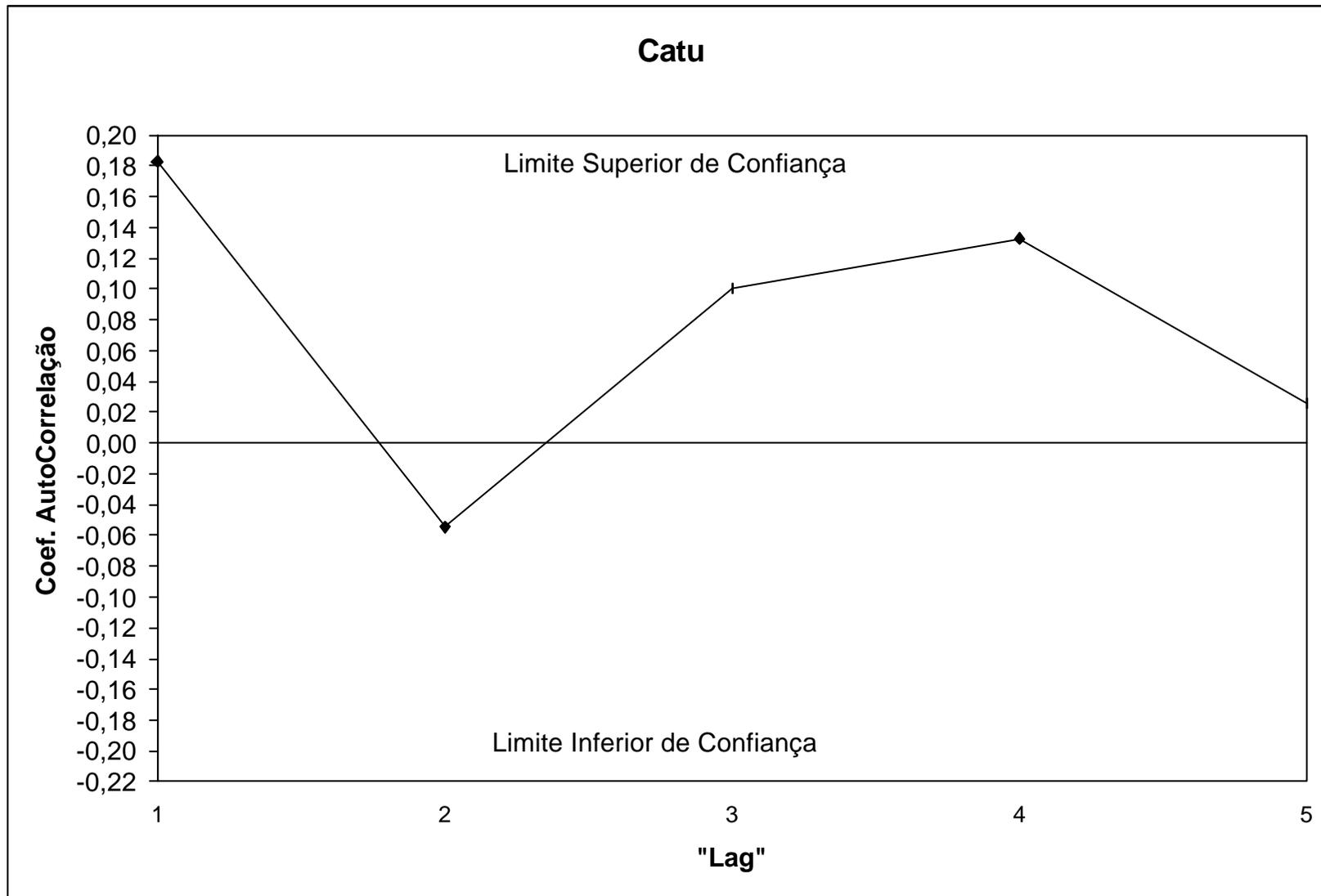
**FIGURA 4.1** – Correlograma do Açúcar Aracoiaba para até 5 Anos Anteriores.



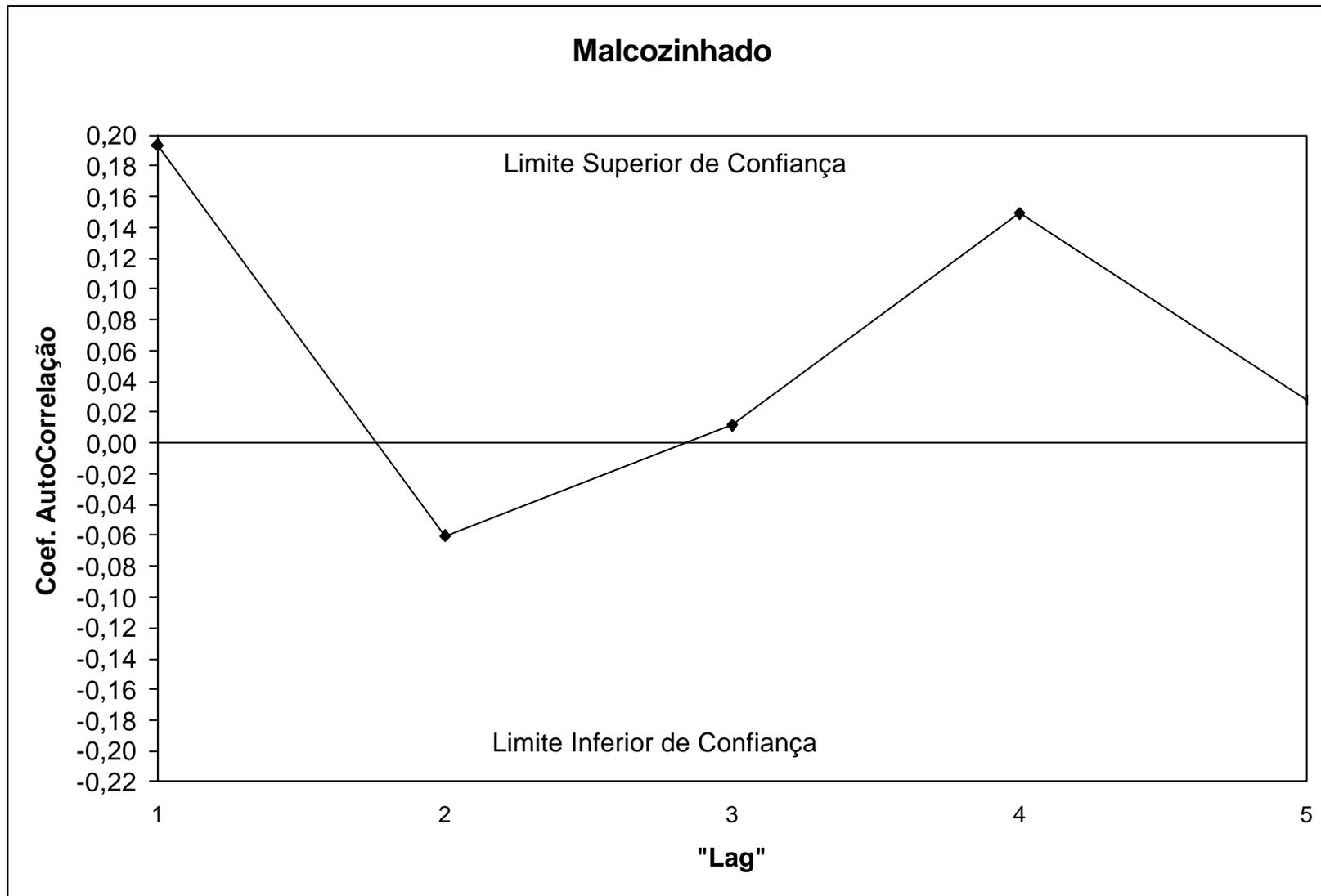
**FIGURA 4.2** – Correlograma do Açude Banabuiú para até 5 Anos Anteriores.



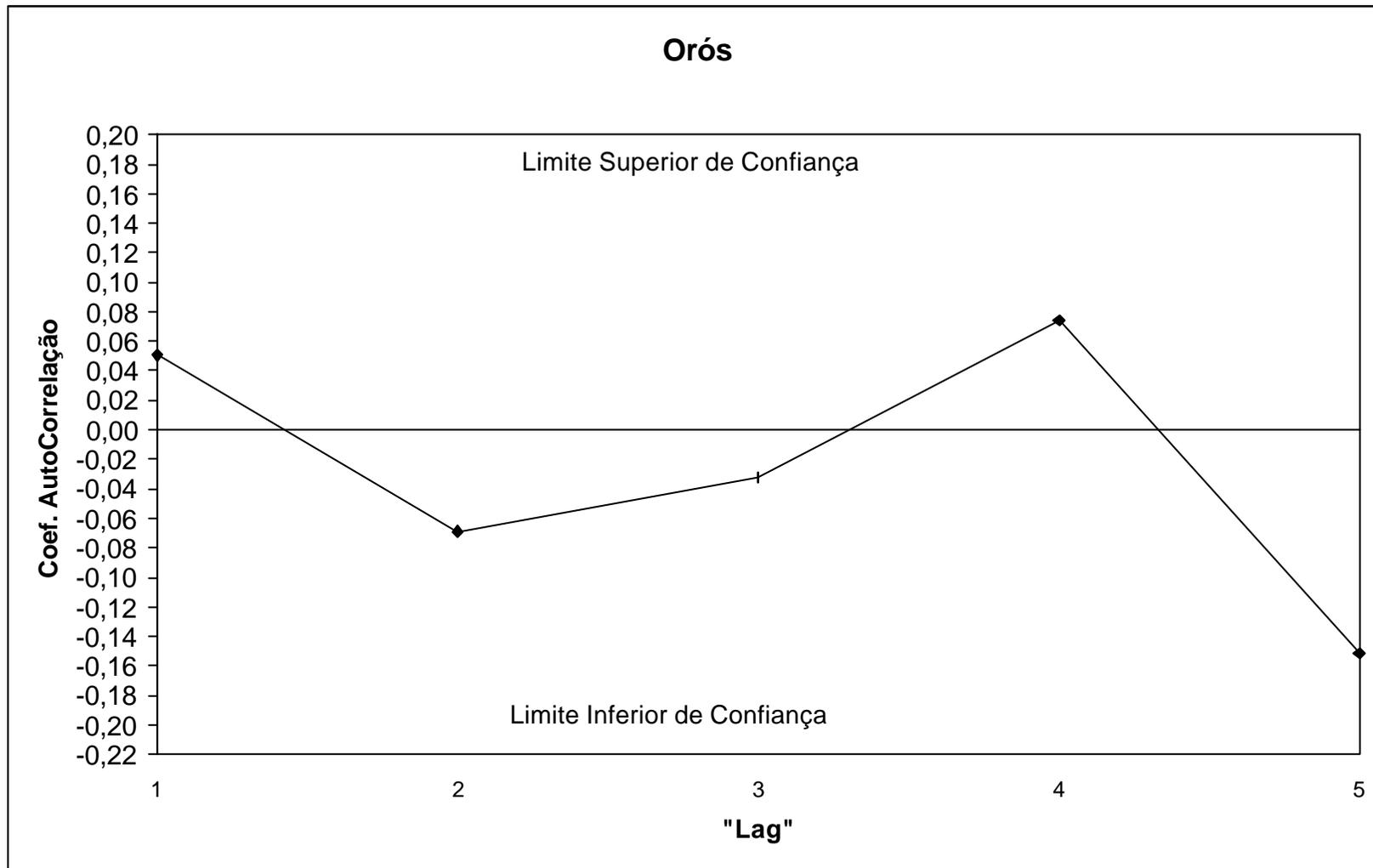
**FIGURA 4.3** – Correlograma do Açude Cauhipe para até 5 Anos Anteriores.



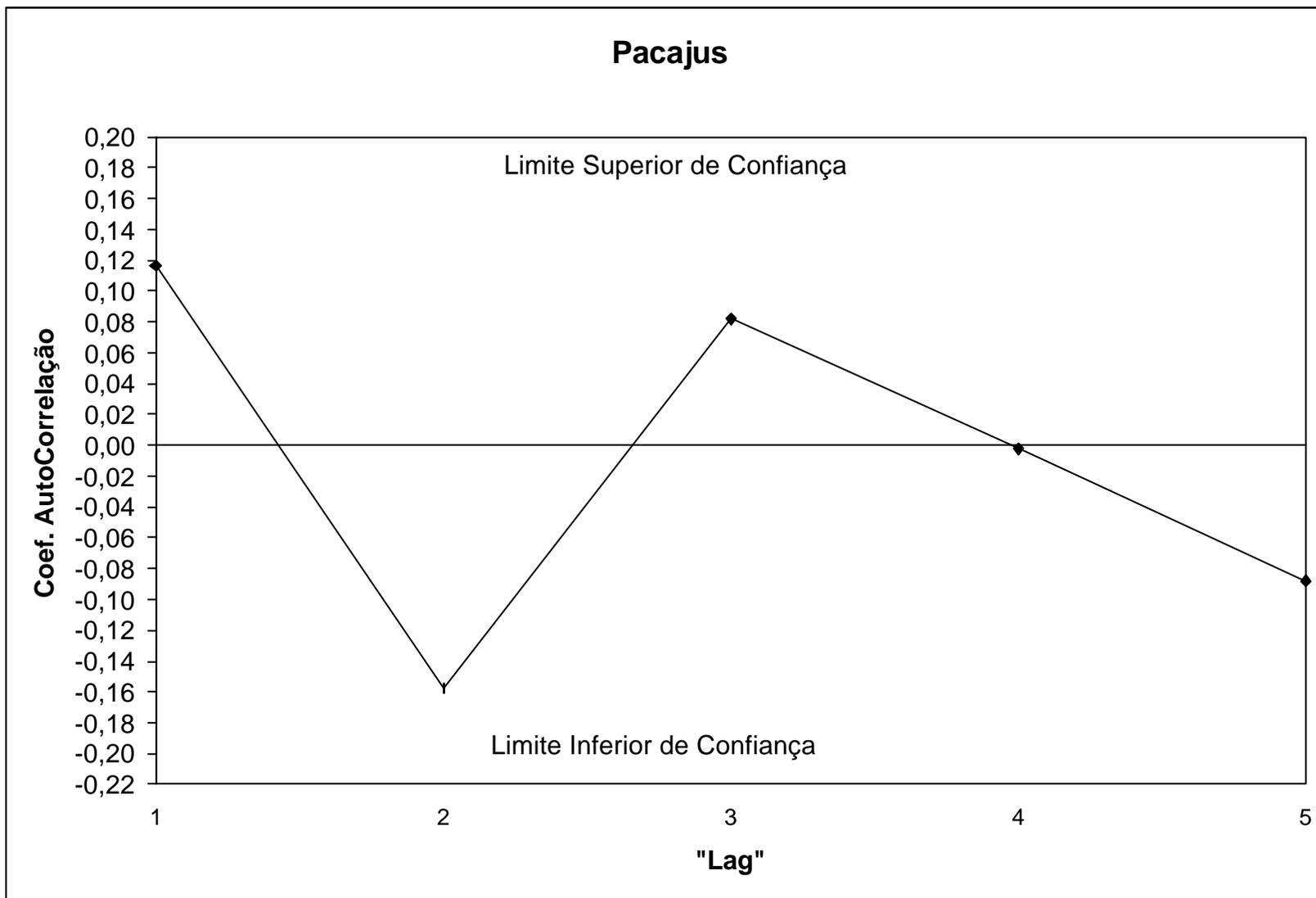
**FIGURA 4.4** – Correlograma do Açude Catu para até 5 Anos Anteriores.



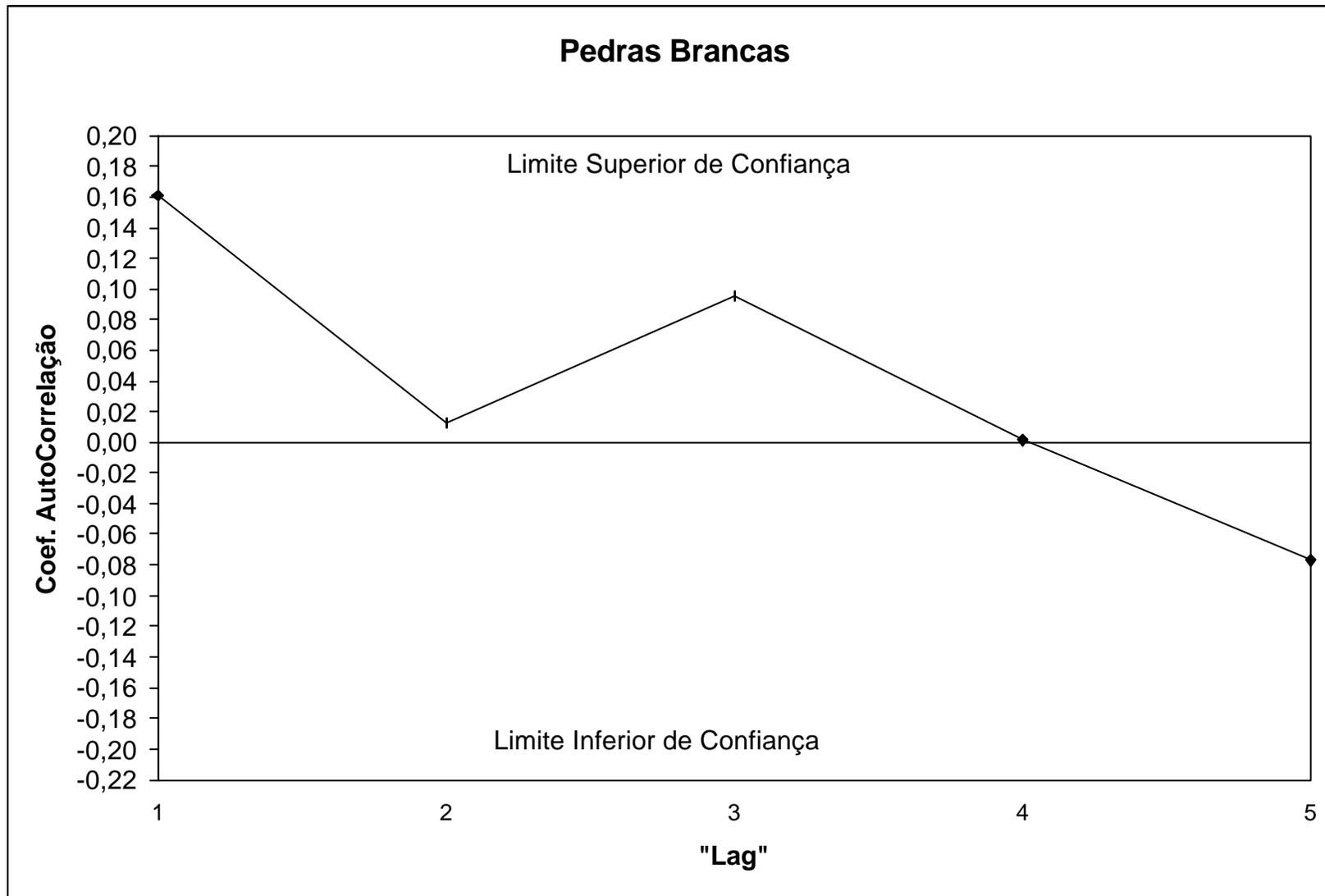
**FIGURA 4.5** – Correlograma do Açude Malcozinhado para até 5 Anos Anteriores.



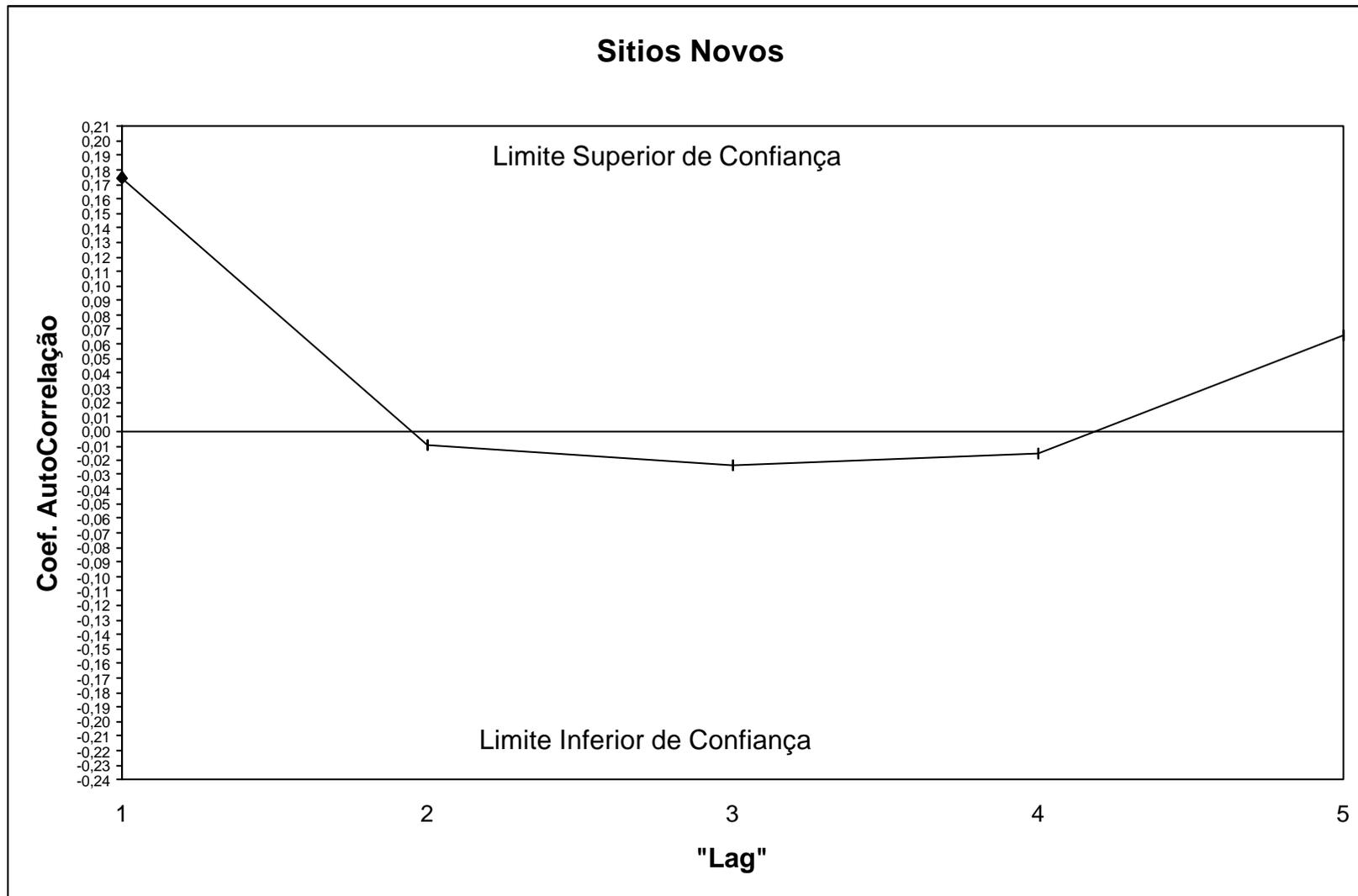
**FIGURA 4.6** – Correlograma do Açúcar Orós para até 5 Anos Anteriores.



**FIGURA 4.7** – Correlograma do Açude Pacajus para até 5 Anos Anteriores.



**FIGURA 4.8** – Correlograma do Açude Pedras Brancas para até 5 Anos Anteriores.



**FIGURA 4.9** – Correlograma do Açude Sítios Novos para até 5 Anos Anteriores.

#### 4.1.2 – Teste Qui-Quadrado

Devido à grande utilização desse teste para se verificar a adequação de um conjunto de dados a uma certa distribuição de probabilidade, utilizou-se esse teste para se comprovar a hipótese de as séries históricas de vazões anuais em estudo seguirem a distribuição Gamma de dois parâmetros, como proposto por CAMPOS (1996).

Como descrito no item 3.1.3, o teste consiste em comparar as frequências observadas com as esperadas, obtendo-se assim, um valor de  $X_c^2$  o qual é comparado com o valor  $X_{1-\alpha, k-1-m}^2$  tabelado, formulando-se a hipótese,  $H_0$ , de que os valores testados seguem uma determinada distribuição de probabilidade se  $X_c^2 < X_{1-\alpha, k-1-m}^2$ .

Foi considerado um valor de significância,  $\alpha$ , de 5% e como está sendo testada uma distribuição de probabilidade definida por dois parâmetros (Gamma~2P), o valor  $m$  é igual a 2, porquanto referente à quantidade de parâmetros da referida distribuição.

Como dito, o teste Qui-Quadrado foi realizado mediante o emprego do *Software* StatGraf, obtendo-se como resultado final, o valor  $X_c^2$  para a distribuição testada aos dados de entrada (série histórica de vazões anuais).

Na **TABELA 4.1** encontram-se os valores  $X_c^2$  para os reservatórios em estudo juntamente com os respectivos valores  $X_{1-\alpha, k-1-m}^2$  tabelados para  $v$  graus de liberdade.

Como se observa na **TABELA 4.1**, a hipótese  $H_0$ , dos valores ajustarem-se a distribuição testada, pode ser aceita para todas as séries históricas de vazões anuais afluentes, uma vez que os valores  $X_c^2$  dessas séries para os reservatórios estudados foram todos menores que os respectivos valores  $X_{1-\alpha, v}^2$  tabelados. Assim sendo, conclui-se que essas séries ajustam-se à distribuição Gamma~2P.

**TABELA 4.1** - Teste Qui-Quadrado

| Reservatório   | Distribuição Testada | Parâmetros da Gamma |            | $X_c^2$ | $\alpha$ | v | $X^2_{1-\alpha,v}$<br>(tabelado) |
|----------------|----------------------|---------------------|------------|---------|----------|---|----------------------------------|
|                |                      | a                   | b          |         |          |   |                                  |
| Aracoiaba      | Gamma                | 0,63742             | 0,00868820 | 7,5129  | 5%       | 3 | 7,815                            |
| Banabuiú       | Gamma                | 0,67132             | 0,00083603 | 2,1013  | 5%       | 3 | 7,815                            |
| Cauhipe        | Gamma                | 1,42450             | 0,06817200 | 1,6883  | 5%       | 1 | 3,841                            |
| Catu           | Gamma                | 1,07300             | 0,05460500 | 3,8761  | 5%       | 5 | 11,070                           |
| Malcozinhado   | Gamma                | 1,17170             | 0,01439000 | 4,6893  | 5%       | 5 | 11,070                           |
| Orós           | Gamma                | 0,61765             | 0,00056773 | 2,4462  | 5%       | 3 | 7,815                            |
| Pacajus        | Gamma                | 0,69294             | 0,00092234 | 1,7432  | 5%       | 3 | 7,815                            |
| Pedras Brancas | Gamma                | 0,41457             | 0,00270210 | 1,2171  | 5%       | 2 | 5,991                            |
| Sítios Novos   | Gamma                | 1,07410             | 0,01582600 | 3,4246  | 5%       | 3 | 7,815                            |

#### 4.1.3 – Teste Kolmogorov-Smirnov

Por se tratar de um teste não paramétrico, é bastante utilizado em conjunto com o teste Qui-Quadrado, a fim de se ter maior firmeza na aceitação dos dados analisados seguirem a distribuição de probabilidade testada.

Como descrito no item 3.1.4, o teste baseia-se na comparação entre o máximo desvio, D, definido pela equação (09), onde se formula a hipótese,  $H_0$ , dos dados se ajustarem a uma determinada distribuição de probabilidade. Se esse valor D for menor que o tabelado, aceita-se  $H_0$ , com os dados ajustando-se a distribuição escolhida.

Na **TABELA 4.2** encontram-se os valores de D para os reservatórios estudados e obtidos com o uso, também, do *Software* Statgraf o qual fornece ao mesmo tempo os resultados tanto do teste Qui-Quadrado como do teste Kolmogorov-Smirnov, juntamente com os respectivos valores tabelados, retirados de HAAN (1977), segundo o número de anos, i, das séries históricas de vazões afluentes.

**TABELA 4.2 - Teste Kolmogorov-Smirnov**

| Reservatório   | Distribuição Testada | D        | Nº anos | Valor Tabelaado HAAN(1977) |
|----------------|----------------------|----------|---------|----------------------------|
| Aracoiaba      | Gamma                | 0,12749  | 85      | 0,1475127                  |
| Banabuiú       | Gamma                | 0,071733 | 84      | 0,1483882                  |
| Cauhipe        | Gamma                | 0,10645  | 35      | 0,229882                   |
| Catu           | Gamma                | 0,09727  | 85      | 0,1475127                  |
| Malcozinhado   | Gamma                | 0,10545  | 85      | 0,1475127                  |
| Orós           | Gamma                | 0,08678  | 85      | 0,1475127                  |
| Pacajus        | Gamma                | 0,14556  | 85      | 0,1475127                  |
| Pedras Brancas | Gamma                | 0,10369  | 86      | 0,1466526                  |
| Sítios Novos   | Gamma                | 0,11023  | 75      | 0,1570393                  |

Como se pode observar, ocorreu a aceitação da hipótese  $H_0$  para todas as séries de vazões afluentes anuais, uma vez que os máximos desvios, D, foram todos menores que seus respectivos valores tabelados.

Conclui-se assim que, mediante a realização do teste Kolmogorov-Smirnov, as séries de vazões afluentes anuais seguem a distribuição de probabilidade Gamma~2P.

Então, como proposto, uma vez tendo as séries históricas de vazões anuais se ajustado à distribuição Gamma~2P tanto pelo teste Qui-Quadrado como pelo teste Kolmogorov-Smirnov, as séries sintéticas anuais geradas pelo método de Monte Carlo foram obtidas com o emprego da referida distribuição.

#### 4.2 – Geração das Séries Sintéticas de Vazões Afluentes

Devido à grande quantidade de dados envolvidos nos três processos de geração das séries sintéticas de vazões (Thomas&Fiering com Modificação de Clarke, Thomas&Fiering com Modificação de Clarke e Transformação de Matalas e Método de Monte Carlo), 5 mil anos de dados para cada método, o que dá um total de 15 mil anos para cada um dos nove reservatórios estudados, não houve a possibilidade de apresentação das tabelas contendo essas séries geradas.

Assim, serão apresentadas tabelas contendo parâmetros estatísticos das séries sintéticas geradas para comparações com os mesmos parâmetros, da séries histórica.

#### 4.2.1 – Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke

Como descrito, o método consiste em gerar vazões mensais baseado tanto na probabilidade,  $P_j$ , da ocorrência de vazões não nulas no mês  $j$ , como na dependência, ou não, linear entre os meses, ou seja, um mês com vazão não nula influenciará o mês seguinte, mas um mês com vazão nula não irá influenciar a ocorrência de vazão no mês seguinte e *vice versa*.

Na **TABELA 4.3** estão apresentados os parâmetros estatísticos média, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria e auto-correlação para os valores anuais das séries históricas e sintéticas referentes ao reservatórios estudados.

Analisando-se a **TABELA 4.3**, verifica-se que o valor médio anual das vazões geradas pelo processo de Thomas &Fiering com a modificação de Clarke foi sempre superior àqueles da série histórica.

Esse fato, somado ao baixo coeficiente de variação que ocorreu, também, em todas as séries sintéticas, provavelmente ocasionará vazões regularizadas para uma certa garantia mensal bem maiores às obtidas utilizando-se apenas as séries históricas, uma vez que quanto menor esse coeficiente de variação, menor será o desvio padrão dos valores de vazões afluente utilizados no processo de simulação.

Assim, como as vazões geradas que estão afluindo aos reservatórios em estudo variam bem menos, em relação às suas médias, que as históricas, poder-se-á retirar com mais constância um volume de água maior dos mesmos, sem que haja perda do percentual de garantia mensal.

Analisando o coeficiente de assimetria, constata-se facilmente que o fato de se ter utilizado uma distribuição simétrica,  $N(0,1)$ , na geração dos números pseudo-aleatórios que compuseram a parte aleatória da vazão, equações (16) e (19), ocasionou uma assimetria bem inferior à da série histórica, mostrando assim, a importância de, ou substituir a distribuição  $N(0,1)$  por uma de caráter assimétrico, ou dar um tratamento matemático que garanta essa característica (transformação de Matalas).

No que diz respeito à independência interanual, analisada através do coeficiente de auto-correlação, verifica-se que, apesar de o processo de geração das vazões ocorrer na escala de tempo mensal, os valores anuais das séries sintéticas obtidos pela somas dos respectivos meses têm a mesma característica das séries históricas, ou seja, a vazão do ano anterior não influencia no ano seguinte. Através dessa análise, constata-se o peso da modificação proposta por Clarke no processo de Thomas&Fiering, mostrando que para a região do semi-árido, onde o regime dos rios, em sua grande maioria, é intermitente, não se pode considerar uma total dependência linear entre todos os meses consecutivos.

**TABELA 4.3 -** Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke

| Reservatório   | Série     | Parâmetros Estatísticos |              |                |            |                 | Limites da Auto-Correlação |          |
|----------------|-----------|-------------------------|--------------|----------------|------------|-----------------|----------------------------|----------|
|                |           | Média                   | Desv. Padrão | Coef. Variação | Assimetria | Auto-Correlação | Inferior                   | Superior |
| Aracoiaba      | Histórica | 69,05                   | 90,79        | 1,31           | 1,72       | 0,047           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 85,63                   | 64,37        | 0,75           | 0,87       | -0,019          | -0,03                      | 0,03     |
| Banabuiú       | Histórica | 802,99                  | 980,04       | 1,22           | 1,85       | 0,185           | -0,23                      | 0,20     |
|                | Sintética | 1023,25                 | 682,61       | 0,67           | 0,75       | -0,015          | -0,03                      | 0,03     |
| Cauhipe        | Histórica | 20,90                   | 17,51        | 0,84           | 1,04       | 0,295           | -0,36                      | 0,30     |
|                | Sintética | 23,41                   | 13,85        | 0,59           | 0,53       | -0,023          | -0,03                      | 0,03     |
| Catu           | Histórica | 19,65                   | 18,97        | 0,97           | 1,45       | 0,183           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 24,08                   | 14,29        | 0,59           | 0,57       | -0,007          | -0,03                      | 0,03     |
| Malcozinhado   | Histórica | 81,42                   | 75,22        | 0,92           | 1,19       | 0,193           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 92,61                   | 55,44        | 0,60           | 0,56       | -0,004          | -0,03                      | 0,03     |
| Orós           | Histórica | 1087,93                 | 1384,29      | 1,27           | 2,49       | 0,051           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 1242,34                 | 932,29       | 0,75           | 0,82       | -0,012          | -0,03                      | 0,03     |
| Pacajus        | Histórica | 751,29                  | 902,52       | 1,20           | 2,13       | 0,116           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 898,20                  | 647,06       | 0,72           | 0,72       | 0,009           | -0,03                      | 0,03     |
| Pedras Brancas | Histórica | 153,43                  | 238,29       | 1,55           | 3,03       | 0,161           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 162,67                  | 149,29       | 0,92           | 1,19       | -0,005          | -0,03                      | 0,03     |
| Sítios Novos   | Histórica | 67,87                   | 65,49        | 0,96           | 1,40       | 0,175           | -0,24                      | 0,21     |
|                | Sintética | 77,87                   | 51,35        | 0,66           | 0,61       | -0,026          | -0,03                      | 0,03     |

#### 4.2.2 – Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke e Transformação de Matalas.

Como descrito, a transformação proposta por Matalas consiste em dar um tratamento matemático aos parâmetros estatísticos envolvidos no processo de geração das vazões modificadas por Clarke, a fim de que se garanta um caráter assimétrico a essas vazões geradas, minimizando o erro induzido pela utilização da distribuição  $N(0,1)$  na componente aleatória da vazão.

Na **TABELA 4.4** estão apresentados os parâmetros estatísticos média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e auto-correlação para os valores anuais das séries históricas e sintéticas referentes ao reservatórios estudados.

Analisando-se a **TABELA 4.4**, observa-se que o valor médio da vazão anual das séries sintéticas continua sendo maior que o das séries históricas, porém, mais próximo da vazão anual destas, se comparado ao valor das séries sintéticas geradas pelo processo do item 4.2.1. Isso provavelmente garantirá a obtenção de vazões regularizadas menores para uma mesma garantia.

Constata-se, também, um aumento no valor do coeficiente de variação, mostrando que o tratamento matemático dado ao conjunto de dados, aproxima os parâmetros estatísticos utilizados no processo de geração, dos parâmetros obtidos quando da utilização da série histórica em si. Esse fato assegura a obtenção de vazões regularizadas, segundo a transformação de Matalas, mais satisfatórios que simplesmente empregando a modificação de Clarke, mostrando que não basta apenas considerar uma dependência não-linear entre os meses no processo de geração.

Quanto ao coeficiente de assimetria, o valor obtido para cada série sintética demonstra nitidamente que, apenas dando um caráter exponencial aos parâmetros utilizados durante o processo de geração das vazões mensais, tira-se por completo a simetria introduzida pelo emprego da função  $N(0,1)$ . A força da transformação de Matalas pode ser constatada quando, verificando os dados, observa-se que o valor da assimetria obtido das séries sintéticas foi superior ao das séries históricas em sete dos reservatórios estudados, mostrando que a metodologia deve ser aplicada quando se deseja gerar séries sintéticas de vazões com forte

característica assimétrica, utilizando-se um processo simples de geração de números pseudo-aleatórios ( $N(0,1)$ ).

Já quanto ao coeficiente de auto-correlação, pode-se constatar que a transformação introduzida por Matalas no processo modificado de Clarke não afeta à independência interanual das vazões geradas, uma vez que esse coeficiente permaneceu dentro dos limites de confiança em todas as séries geradas, mesmo com a escala de tempo sendo mensal.

**TABELA 4.4 -** Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Thomas&Fiering com Modificação de Clarke e Transformação de Matalas

| Reservatório   | Série     | Parâmetros Estatísticos |              |                |            |                 | Limites da Auto-Correlação |          |
|----------------|-----------|-------------------------|--------------|----------------|------------|-----------------|----------------------------|----------|
|                |           | Média                   | Desv. Padrão | Coef. Variação | Assimetria | Auto-Correlação | Inferior                   | Superior |
| Aracoiaba      | Histórica | 69,05                   | 90,79        | 1,31           | 1,72       | 0,047           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 73,21                   | 78,87        | 1,08           | 2,33       | -0,011          | -0,03                      | 0,03     |
| Banabuiú       | Histórica | 802,99                  | 980,04       | 1,22           | 1,85       | 0,185           | -0,23                      | 0,20     |
|                | Sintética | 854,84                  | 841,75       | 0,98           | 2,18       | -0,010          | -0,03                      | 0,03     |
| Cauhipe        | Histórica | 20,90                   | 17,51        | 0,84           | 1,04       | 0,295           | -0,36                      | 0,30     |
|                | Sintética | 22,12                   | 15,64        | 0,71           | 1,18       | 0,003           | -0,03                      | 0,03     |
| Catu           | Histórica | 19,65                   | 18,97        | 0,97           | 1,45       | 0,183           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 20,78                   | 16,22        | 0,78           | 1,54       | -0,030          | -0,03                      | 0,03     |
| Malcozinhado   | Histórica | 81,42                   | 75,22        | 0,92           | 1,19       | 0,193           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 87,49                   | 64,52        | 0,74           | 1,34       | -0,011          | -0,03                      | 0,03     |
| Orós           | Histórica | 1087,93                 | 1384,29      | 1,27           | 2,49       | 0,051           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 1053,33                 | 1143,25      | 1,09           | 2,63       | -0,011          | -0,03                      | 0,03     |
| Pacajus        | Histórica | 751,29                  | 902,52       | 1,20           | 2,13       | 0,116           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 799,27                  | 806,62       | 1,01           | 2,24       | 0,030           | -0,03                      | 0,03     |
| Pedras Brancas | Histórica | 153,43                  | 238,29       | 1,55           | 3,03       | 0,161           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 136,36                  | 181,93       | 1,33           | 2,99       | 0,009           | -0,03                      | 0,03     |
| Sítios Novos   | Histórica | 67,87                   | 65,49        | 0,96           | 1,40       | 0,175           | -0,24                      | 0,21     |
|                | Sintética | 71,36                   | 58,33        | 0,82           | 1,32       | 0,018           | -0,03                      | 0,03     |

#### 4.2.3 – Geração pelo Método de Monte Carlo

Como explicado, o processo de geração envolvido no método de simulação de Monte Carlo consiste em tratar as vazões anuais como eventos aleatórios, ou seja, quaisquer séries sintéticas anuais geradas possuem a mesma probabilidade de ocorrência.

Assim, tendo-se selecionada a distribuição de probabilidade que se ajuste às vazões anuais da série histórica, basta gerar números pseudo-aleatórios  $U(0,1)$ , os quais serão as probabilidades de ocorrência das vazões anuais e, por meio da inversa da distribuição de probabilidade, obter a série sintética dessa vazões.

Na **TABELA 4.5** estão apresentados os parâmetros estatísticos média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e auto-correlação para os valores anuais das séries históricas e sintéticas referentes ao reservatórios estudados.

Fazendo-se a análise da **TABELA 4.5**, constata-se a adequação dos parâmetros obtidos através das séries sintéticas com os obtidos das séries históricas, ou seja, a média anual, o desvio padrão anual e, principalmente, o coeficiente de variação anual, ficando todos dentro da mesma ordem de grandeza.

Isso mostra a força da metodologia de Monte Carlo desde que constatada a independência interanual das vazões afluentes da série histórica, a simples adequação de uma distribuição de probabilidade aos dados históricos produz resultados bem mais satisfatórios que a sofisticação matemática envolvida no processo de Thomas&Fiering, modificado por Clarke e transformado por Matalas.

Assim, é de se esperar que os valores de vazões regularizadas obtidos mediante o emprego das séries sintéticas geradas pelo processo de Monte Carlo, sejam os mais próximos dos obtidos com o emprego das séries históricas, para uma mesma garantia.

É importante ressaltar que o método conserva muito bem os parâmetros anuais, em especial o coeficiente de variação que, com exceção do reservatório Aracoíaba, coincidiu sempre na primeira casa decimal e, no reservatório Pacajus, chegou a coincidir com uma precisão de duas casas decimais.

Quanto ao coeficiente de assimetria, constata-se que o método gera resultados semelhantes em relação aos obtidos pela transformação de Matalas, uma vez que esse valores continuaram sendo maiores que aqueles das séries históricas, com exceção do reservatório Orós. Assim, constata-se que o método além de preservar os parâmetros descritos anteriormente, propicia às séries sintéticas geradas a assimetria desejada de maneira bem mais simples que a imposta por Matalas.

No que concerne ao coeficiente de auto-correlação, constata-se que este continua assegurando o caráter de independência interanual às vazões geradas, o que já era esperado, visto que o processo está respaldado exatamente nessa característica de aleatoriedade das séries.

Os resultados do uso conjunto do método de Monte Carlo com o método dos fragmentos de Svanidze poderá ser verificado quando da apresentação dos gráficos das curvas de garantia, uma vez que esse método de desfragmentação é não-paramétrico e apenas distribui a vazão anual gerada de forma proporcional em intervalos de classe, como descrito anteriormente. Assim, espera-se que o método não venha a influenciar nos valores de vazões regularizadas obtidos para uma mesma garantia mensal, quando da aplicação das séries sintéticas obtidas pelo método de Monte Carlo durante o processo de simulação dos reservatórios, ou seja, esses valores de vazões regularizadas deverão ficar bem próximos daqueles obtidos com o emprego das séries históricas de vazões.

**TABELA 4.5 -** Parâmetros Estatísticos das Vazões Anuais das Séries Históricas e Sintéticas Geradas pelo Método de Monte Carlo

| Reservatório   | Série     | Parâmetros Estatísticos |              |                |            |                 | Limites da Auto-Correlação |          |
|----------------|-----------|-------------------------|--------------|----------------|------------|-----------------|----------------------------|----------|
|                |           | Média                   | Desv. Padrão | Coef. Variação | Assimetria | Auto-Correlação | Inferior                   | Superior |
| Aracoiaba      | Histórica | 69,05                   | 90,79        | 1,31           | 1,72       | 0,047           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 67,86                   | 86,07        | 1,27           | 2,33       | 0,002           | -0,03                      | 0,03     |
| Banabuiú       | Histórica | 802,99                  | 980,04       | 1,22           | 1,85       | 0,185           | -0,23                      | 0,20     |
|                | Sintética | 818,40                  | 990,40       | 1,21           | 2,29       | 0,024           | -0,03                      | 0,03     |
| Cauhipe        | Histórica | 20,90                   | 17,51        | 0,84           | 1,04       | 0,295           | -0,36                      | 0,30     |
|                | Sintética | 20,96                   | 17,48        | 0,83           | 1,59       | 0,001           | -0,03                      | 0,03     |
| Catu           | Histórica | 19,65                   | 18,97        | 0,97           | 1,45       | 0,183           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 19,66                   | 18,81        | 0,96           | 1,83       | -0,015          | -0,03                      | 0,03     |
| Malcozinhado   | Histórica | 81,42                   | 75,22        | 0,92           | 1,19       | 0,193           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 82,77                   | 78,18        | 0,94           | 1,98       | -0,002          | -0,03                      | 0,03     |
| Orós           | Histórica | 1087,93                 | 1384,29      | 1,27           | 2,49       | 0,051           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 1098,85                 | 1341,68      | 1,22           | 2,24       | 0,001           | -0,03                      | 0,03     |
| Pacajus        | Histórica | 751,29                  | 902,52       | 1,20           | 2,13       | 0,116           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 746,75                  | 895,85       | 1,20           | 2,32       | 0,006           | -0,03                      | 0,03     |
| Pedras Brancas | Histórica | 153,43                  | 238,29       | 1,55           | 3,03       | 0,161           | -0,22                      | 0,20     |
|                | Sintética | 152,94                  | 242,08       | 1,58           | 3,89       | 0,006           | -0,03                      | 0,03     |
| Sítios Novos   | Histórica | 67,87                   | 65,49        | 0,96           | 1,40       | 0,175           | -0,24                      | 0,21     |
|                | Sintética | 67,53                   | 65,83        | 0,97           | 1,97       | 0,021           | -0,03                      | 0,03     |

### 4.3 – Simulação dos Reservatórios

Como descrito, o processo de simulação dos reservatórios consistiu em resolver numericamente a equação (39) do balanço hídrico dos mesmos, envolvendo todos os passos e variáveis mencionados.

Assim, após simular os reservatórios para cada uma das séries sintéticas de vazões geradas e para a série histórica, obtiveram-se quatro curvas, para cada um dos reservatórios, que mostram a garantia com a qual se poderá retirar um determinado volume de água todos os meses, ou seja, a vazão regularizada mensal.

Após obtidas as curvas de garantia mensal, foram calculados os erros relativos entre as vazões regularizadas mensais obtidas com o uso das séries sintéticas e a obtida com o uso da série histórica, todas elas com uma garantia mensal de 90%, para cada um dos reservatórios estudados, mediante o emprego da equação (42).

#### 4.3.1 – Comparação Gráfica das Curvas de Garantias

A seguir são apresentados os gráficos das curvas de garantia mensal para os reservatórios aqui estudados.

Foi realizada uma comparação gráfica (visual) das curvas obtidas para cada reservatório mediante o emprego de cada uma das metodologias de geração de séries sintéticas de vazões, como já explicado, e com o uso da série histórica em si.

Por meio dessa comparação verificou-se que:

Analisando-se as **FIGURAS 4.10 a 4.18**, constata-se que, como já tinha sido suposto, os valores das vazões regularizadas mensais obtidos com o emprego no processo de simulação da série sintética gerada pelo método de Thomas&Fiering modificado por Clarke, deu como resultados os valores mais elevados dessas vazões, se comparado aos outros métodos, independentemente de qual fosse a capacidade de acumulação do reservatório simulado.

Assim, pode-se definitivamente constatar que, apesar da modificação introduzida por Clarke no método original de Thomas&Fiering, não é suficiente o fato de se considerar a não-linearidade entre as vazões de meses consecutivos, uma vez que as vazões geradas passam a ter um caráter simétrico, o qual é totalmente alheio as características das vazões observadas no semi-árido nordestino.

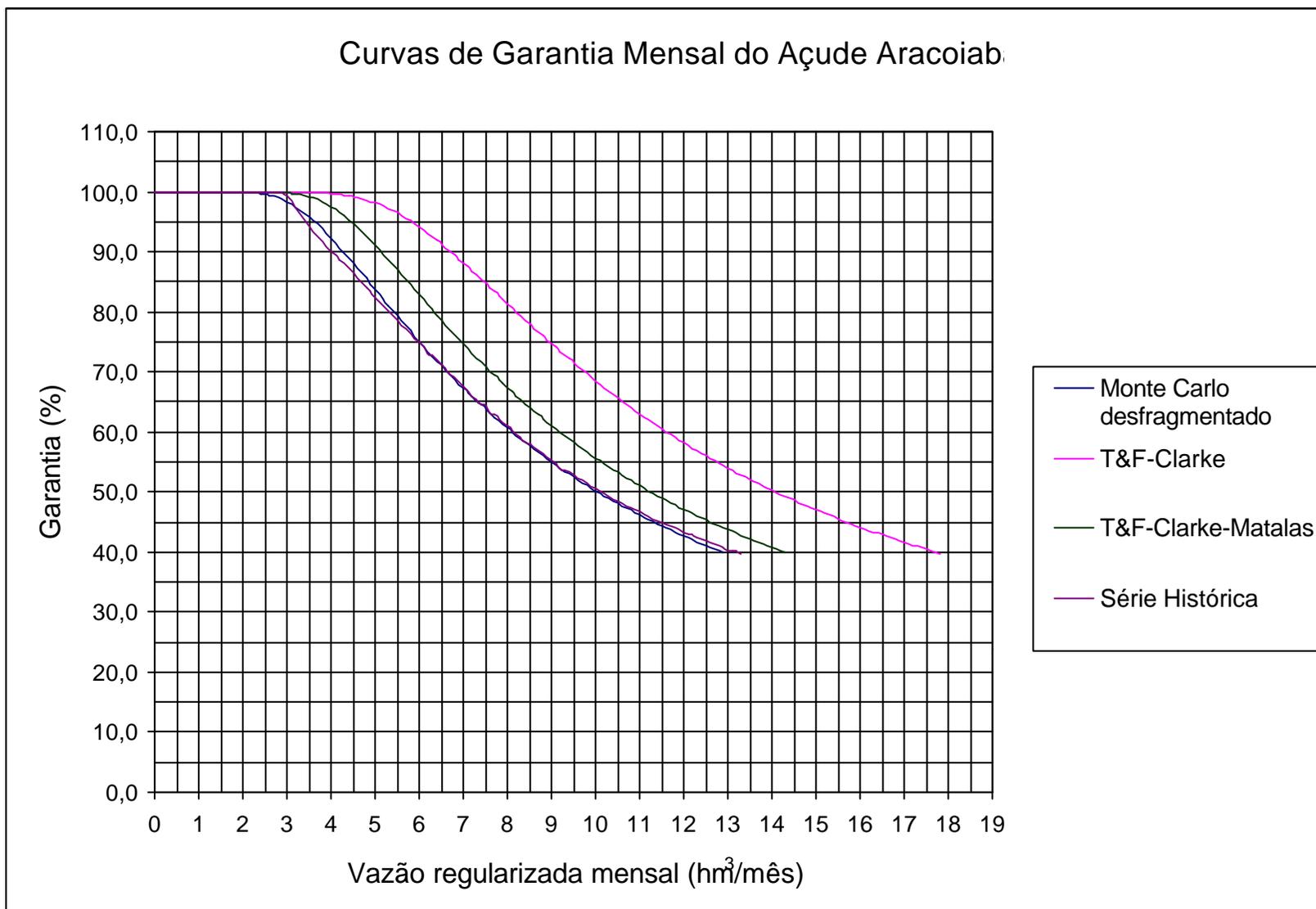
Quanto à transformação proposta por Matalas no modelo empregado por Clarke, nota-se com facilidade que ao se dar um caráter exponencial aos parâmetros estatísticos utilizados no processo de geração das vazões, aproxima-se bastante os valores das vazões regularizadas mensais obtidos com o uso das séries sintéticas geradas pela metodologia de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas, daquelas obtidas com o uso das séries históricas.

Verifica-se assim, a importância do caráter assimétrico introduzido as séries sintéticas geradas por esse modelo, pois em dois reservatórios – Orós e Pedras Brancas – praticamente não houve diferenças entre a curva de garantia das vazões regularizadas mensais obtidos pela metodologia transformada por Matalas, da curva obtida pela série histórica.

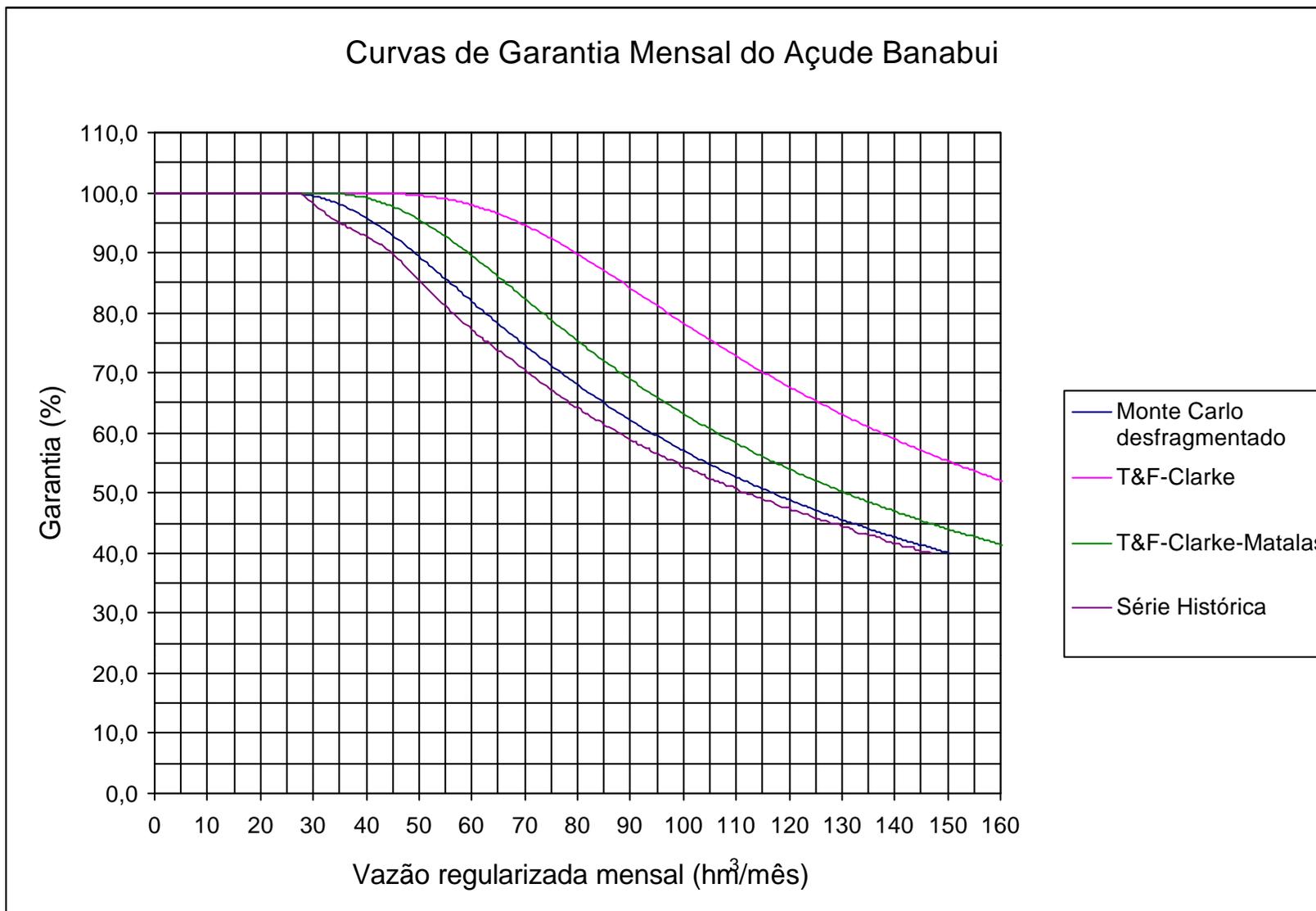
No que diz respeito ao método de Monte Carlo em conjunto com o método dos fragmentos de Svanidze, fica evidente que a simplicidade do método gerou resultados muito superiores que a sofisticação matemática empregada nos outros dois métodos de geração de vazões.

Preferiu-se começar a simulação dos reservatórios com metade de suas capacidades, a fim de não ser induzido o seguinte erro: quando se planeja um reservatório, não se espera que este atinja sua capacidade máxima para que comece a regularizar água, uma vez que, dependendo das condições de precipitação, este poderá passar anos até que alcance o volume máximo. O mais comum é que no término da obra, este esteja com um volume aproximado do meio de sua capacidade, uma vez que a construção de barragens leva tempo suficiente para o acúmulo desse volume, preferindo-se assim, simular a operação dos reservatórios com estes possuindo a metade de seus volumes máximos ocupados por água.

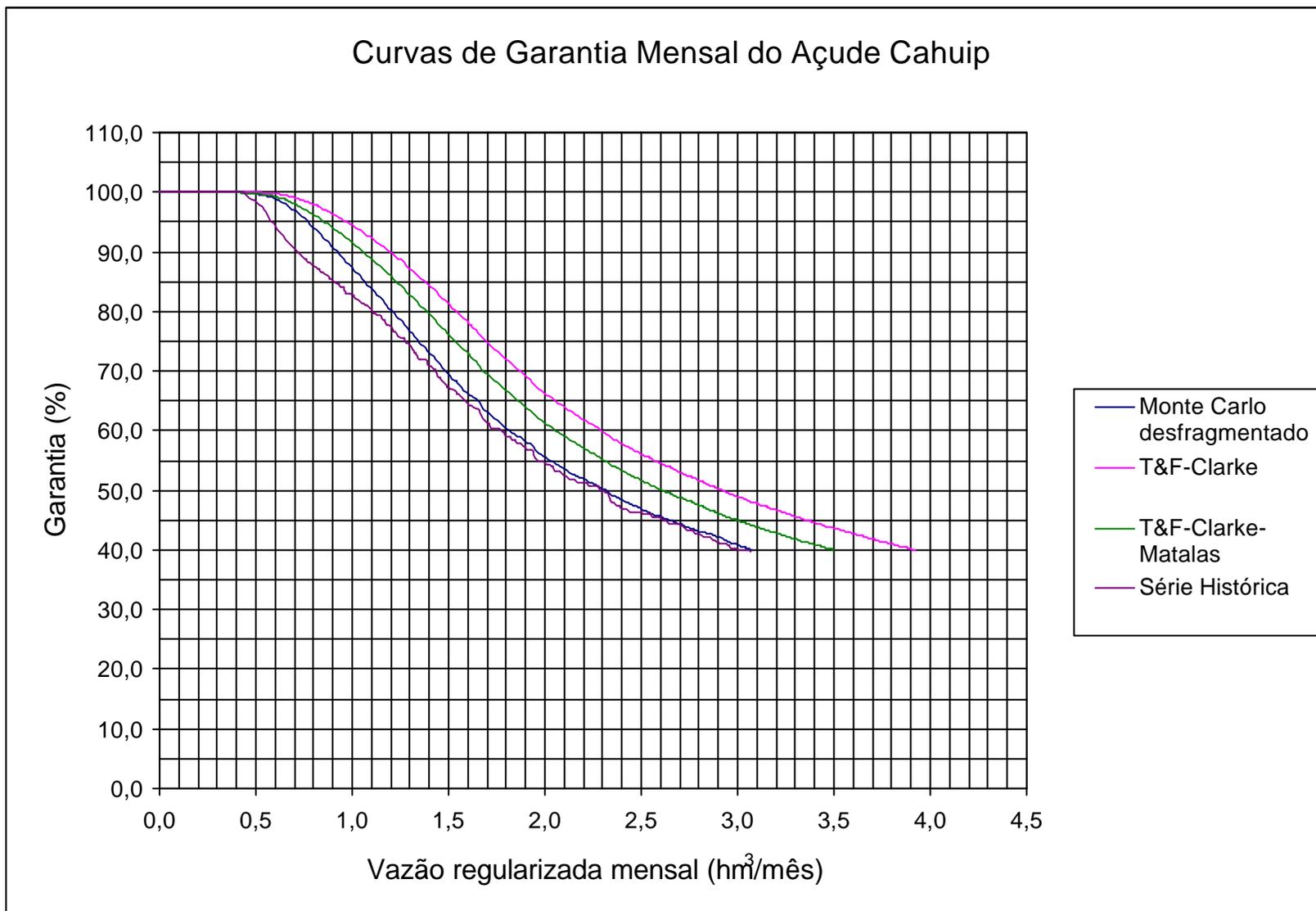
Assim, quando somente se dispuser da série histórica das vazões afluentes, pode-se considerar uma boa solução para superar o problema do estado inicial dos reservatórios, começar o processo de simulação com esses possuindo metade de suas capacidades.



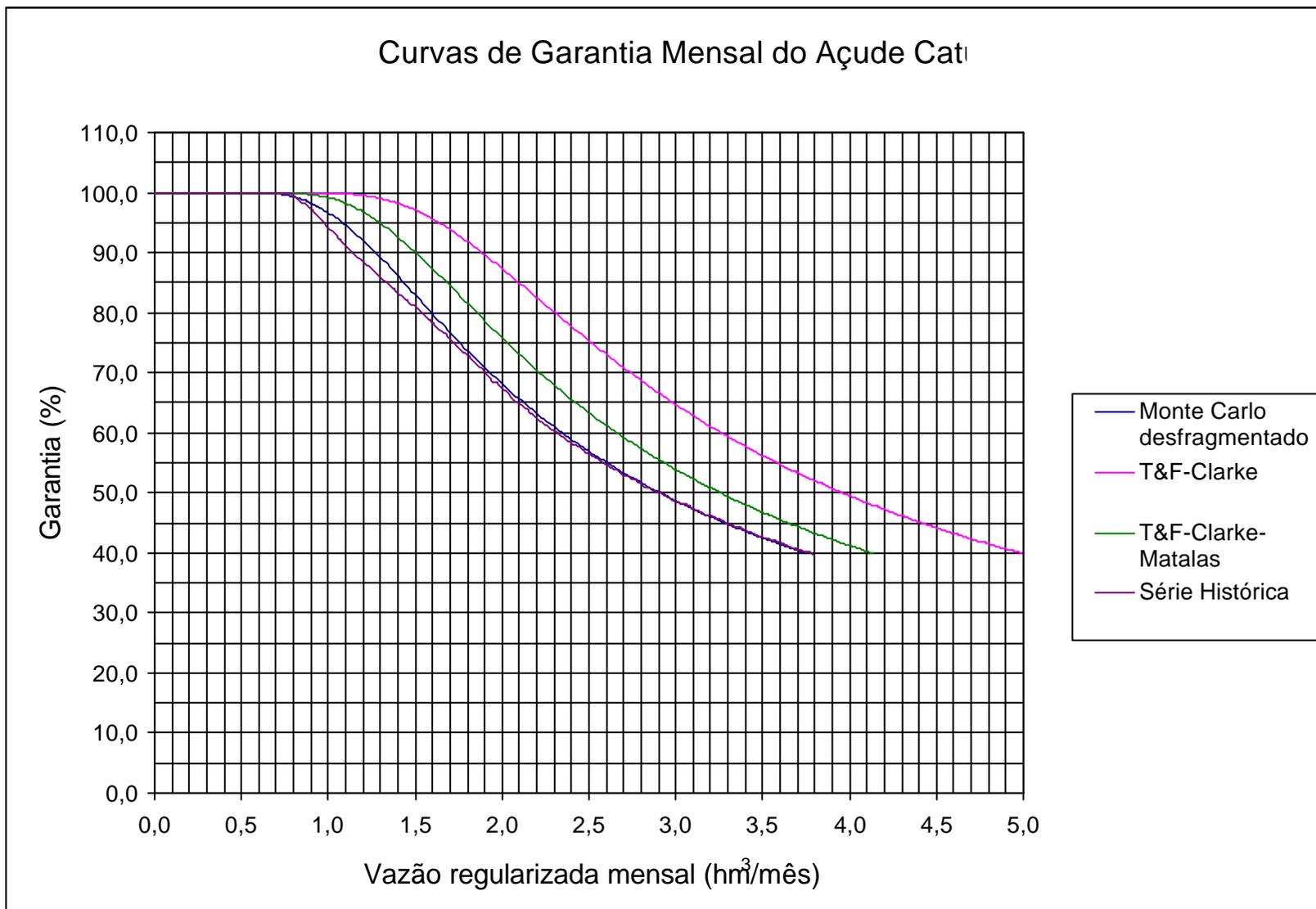
**FIGURA 4.10** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Aracoiaba.



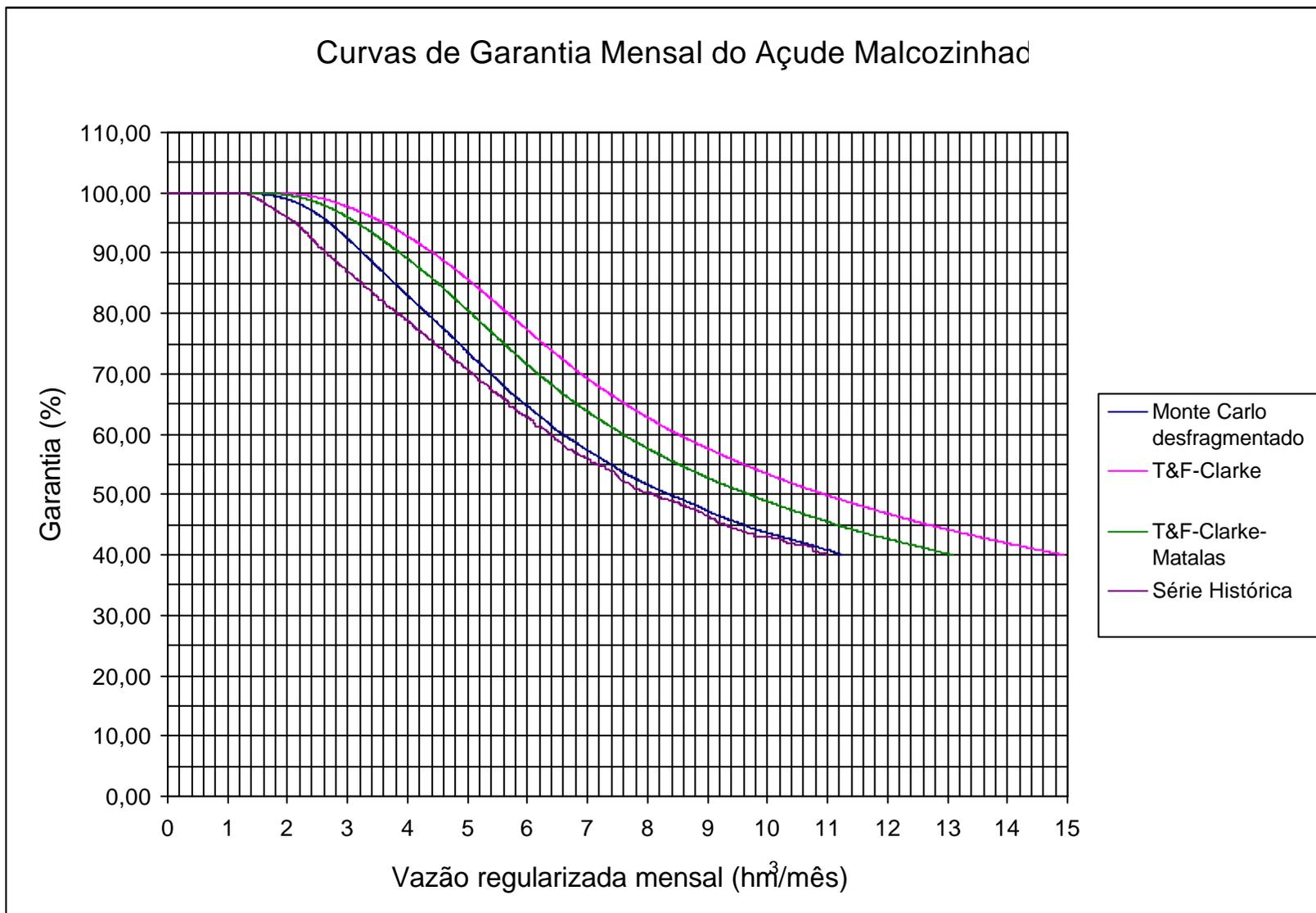
**FIGURA 4.11** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Banabui.



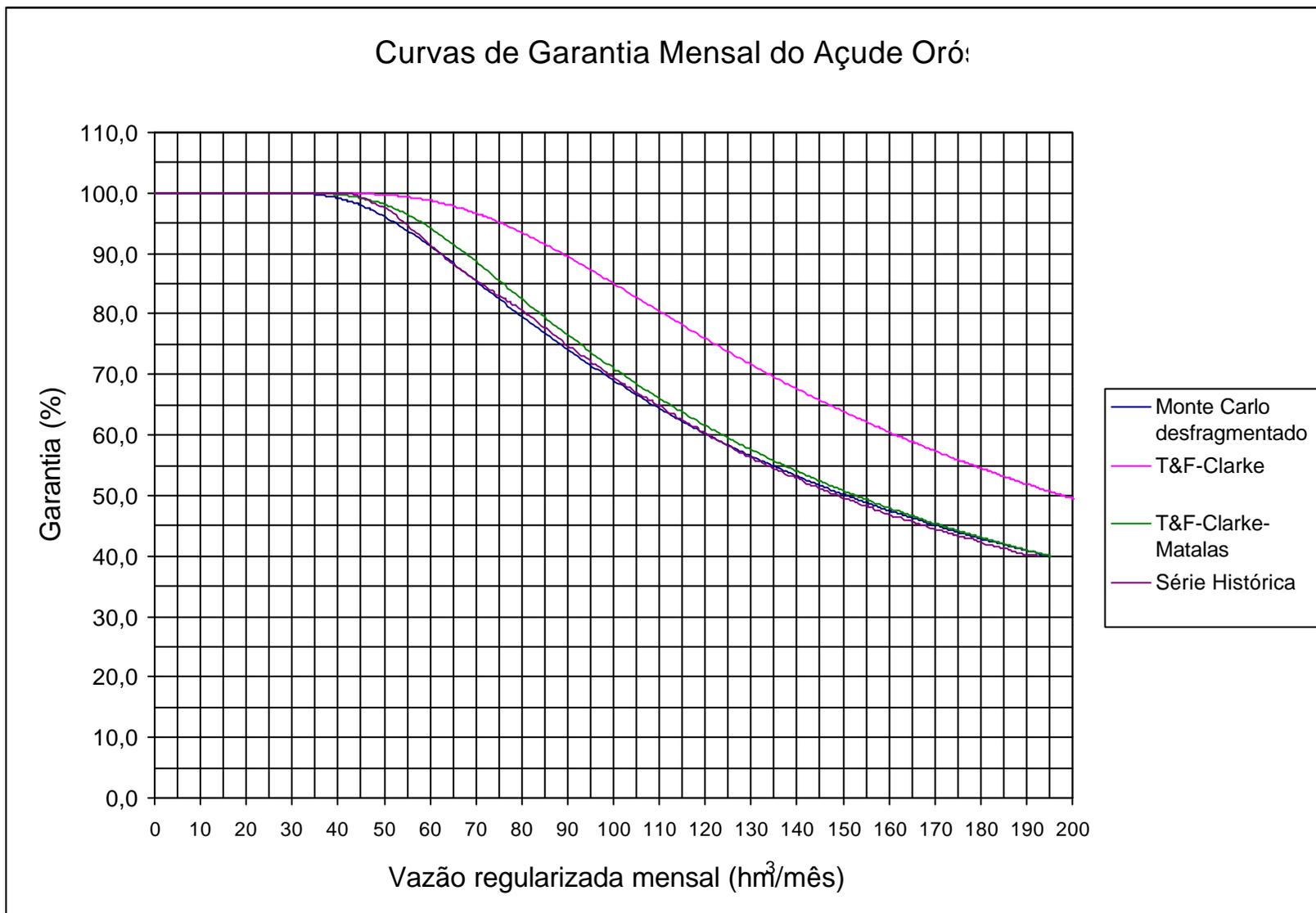
**FIGURA 4.12** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Cauhiipe.



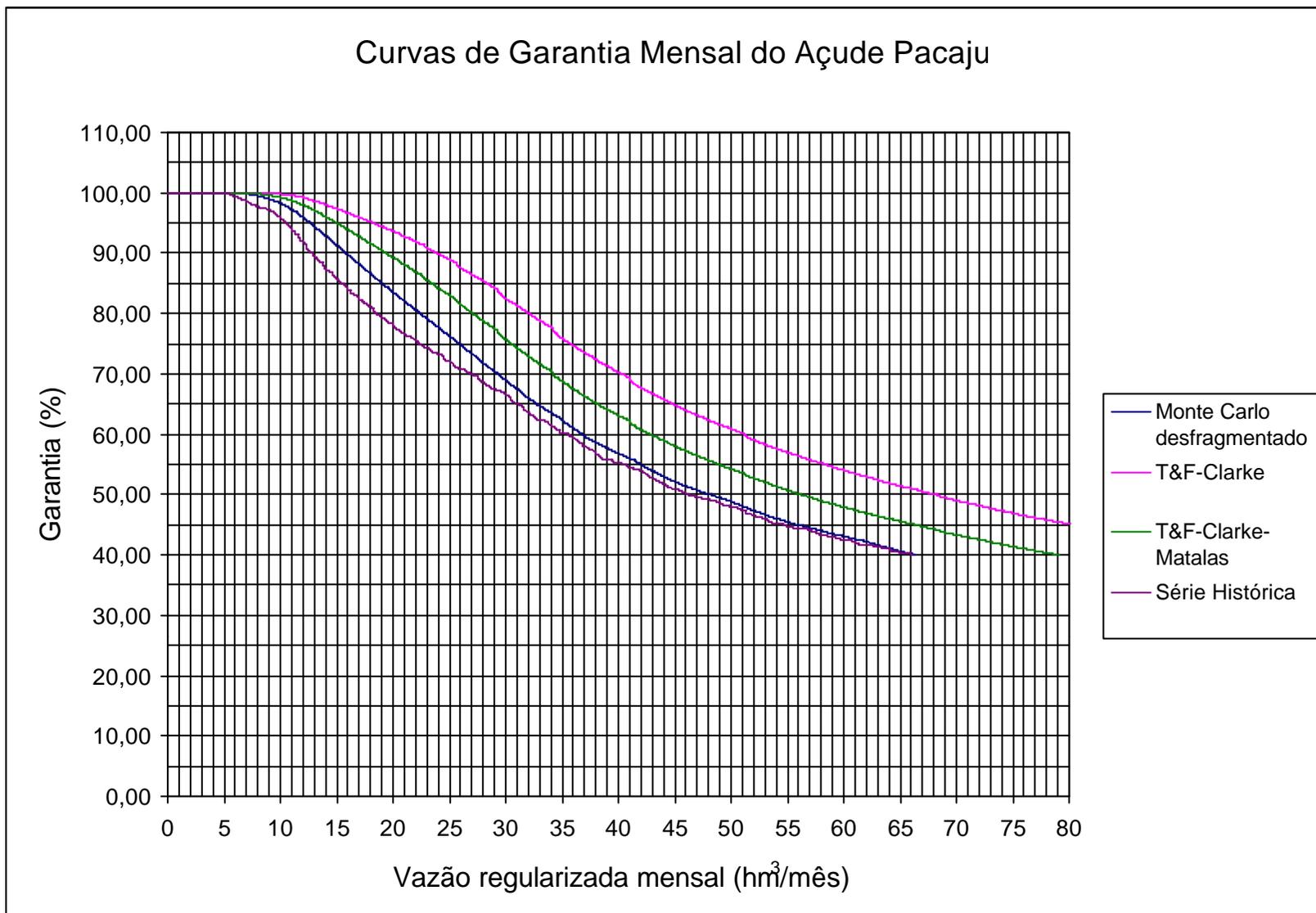
**FIGURA 4.13** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Catu.



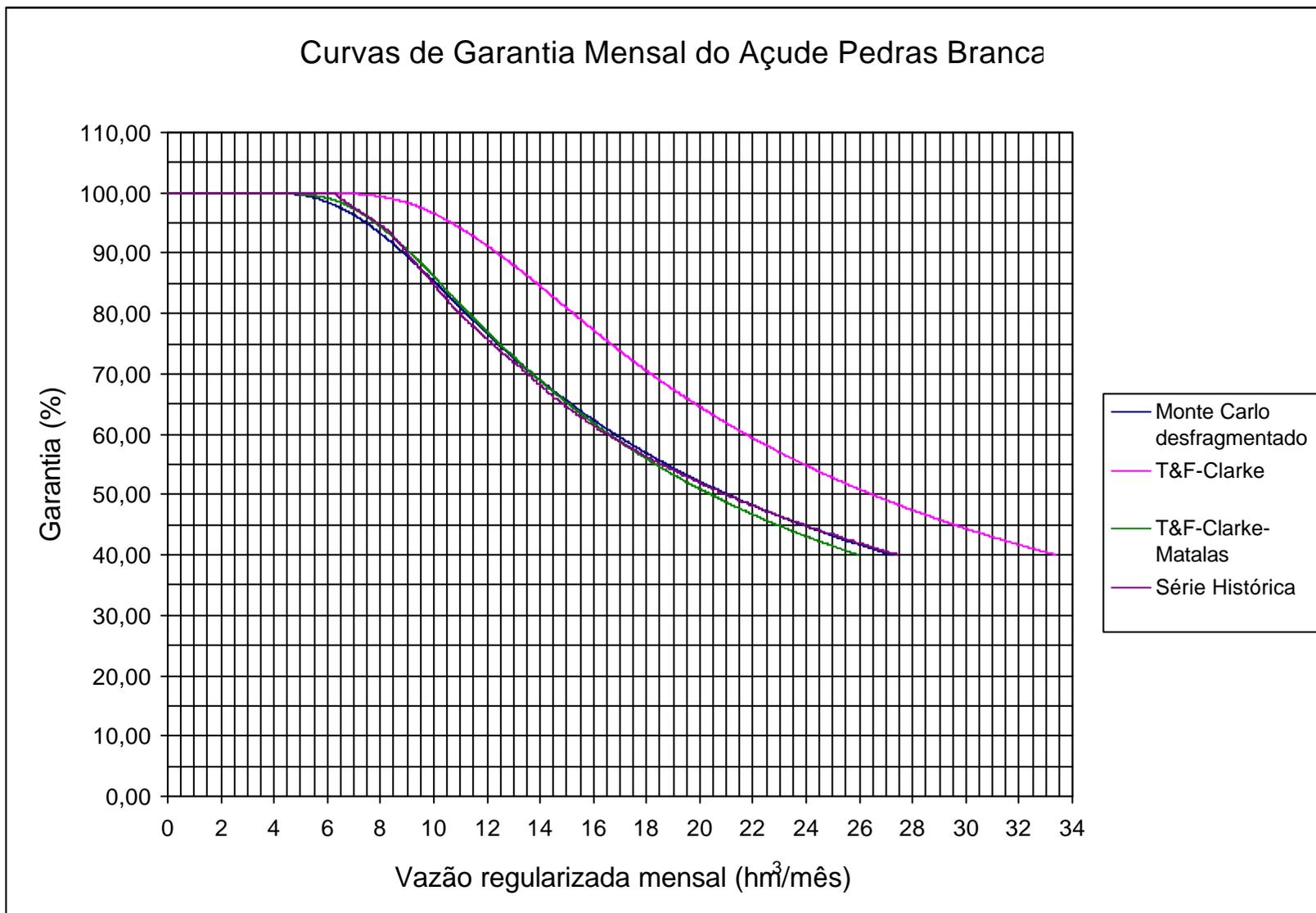
**FIGURA 4.14** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Malcozinhado.



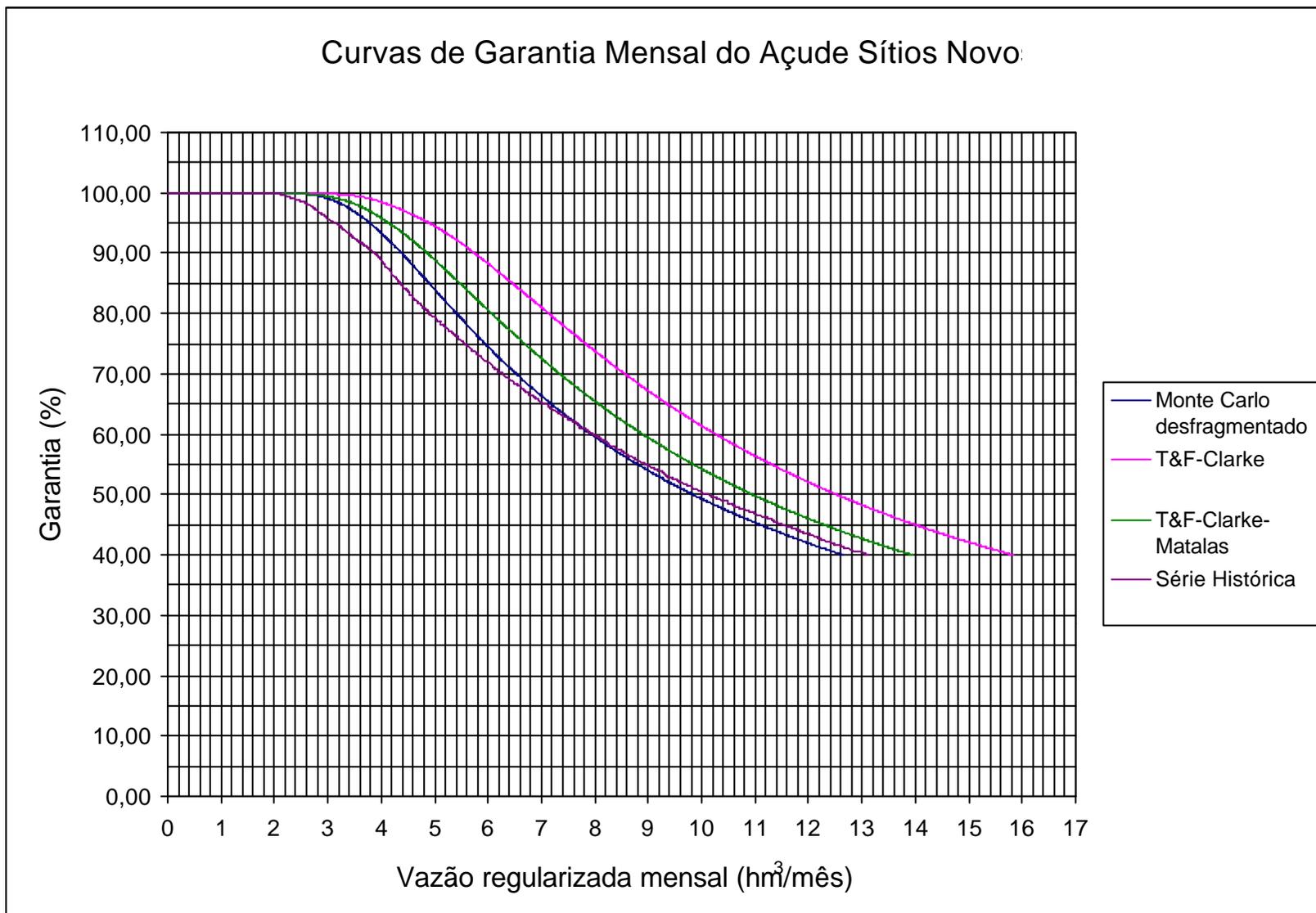
**FIGURA 4.15** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Orós.



**FIGURA 4.16** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Pacajus.



**FIGURA 4.17** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Pedras Brancas.



**FIGURA 4.18** - Gráficos da vazão regularizada mensal *versus* garantia mensal do açude Sítios Novos.

#### 4.3.2 – Análise do Erro Relativo

O erro relativo visa determinar a diferença percentual existente entre os valores da vazão regularizada mensal com 90% de garantia obtida por intermédio da aplicação da série histórica no processo de simulação, com os valores das vazões regularizadas mensais para a mesma garantia obtidas nos diversos processos de simulação.

Na **TABELA 4.6** encontram-se os erros relativos calculados através da equação (42) para a vazão regularizada mensal com 90% de garantia, dos reservatórios estudados.

**TABELA 4.6** - Valores do Erro Relativo Referente ao Cálculo da Vazão Regularizada Mensal para as Séries Sintéticas Utilizadas na Simulação, com 90% de Garantia

| Reservatório   | Vazão Regularizada Mensal (hm <sup>3</sup> /mês) |            |                    |                         | Erro Relativo (%) |                    |                         |
|----------------|--|------------|--------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
|                | Histórica  | T&F-Clarke | T&F-Clarke-Matalas | Monte Carlo Fragmentada | T&F-Clarke        | T&F-Clarke-Matalas | Monte Carlo Fragmentada |
| Aracoiaba      | 4,00   | 6,70       | 5,10               | 4,30                    | 67,5              | 27,5               | 7,5                     |
| Banabuiú       | 44,50  | 79,50      | 59,00              | 49,00                   | 78,7              | 32,6               | 10,1                    |
| Cauhipe        | 0,72   | 1,19       | 1,05               | 0,92                    | 65,3              | 45,8               | 27,8                    |
| Catu           | 1,14   | 1,88       | 1,50               | 1,27                    | 64,9              | 31,6               | 11,4                    |
| Malcozinhado   | 2,65   | 4,43       | 3,88               | 3,26                    | 67,2              | 46,4               | 23,0                    |
| Orós           | 62,00  | 88,50      | 68,00              | 62,00                   | 42,7              | 9,7                | 0,0                     |
| Pacajus        | 12,89  | 23,90      | 19,39              | 15,83                   | 85,4              | 50,4               | 22,8                    |
| Pedras Brancas | 9,02   | 12,39      | 9,12               | 8,87                    | 37,4              | 1,1                | -1,7                    |
| Sítios Novos   | 3,88   | 5,74       | 4,86               | 4,38                    | 47,9              | 25,3               | 12,9                    |

Como se pode verificar, os erros relativos das vazões regularizadas mensais, com 90% de garantia, obtidas pelas séries sintéticas geradas no método de Monte Carlo, foram os menores obtidos, constatando que esta metodologia de geração de vazões é a que reproduz melhores resultados no estudo de dimensionamento de reservatórios no Estado do Ceará.

No que concerne à metodologia de geração de vazões desenvolvida por Thomas&Fiering com modificação de Clarke, fica descartado o seu uso em regiões que, apesar de possuírem um regime de intermitência em seus rios, ou seja, a não dependência linear entre os meses consecutivos (característica abordada pelo método), exista uma forte

tendência assimétrica das vazões observadas, uma vez que foi essa metodologia a que produziu os maiores erros relativos das vazões regularizadas com 90% de garantia mensal.

Quanto aos erros relativos calculados quando da aplicação das séries sintéticas obtidas pela metodologia transformada por Matalas, contatam-se, também, resultados não satisfatórios, uma vez que, apesar de os reservatórios Pedras Brancas e Orós terem apresentado erros relativos pequenos, foram obtidos valores bastante elevados para os demais reservatórios, mesmo com a característica assimétrica a qual foi introduzida nas vazões mensais geradas, com o tratamento exponencial dado aos parâmetros estatísticos envolvidos no processo.

Vale ressaltar o fato de como que se encontravam os reservatórios no início da simulação, quando da utilização das séries históricas. Tendo essas séries um pequeno número de anos, o começo da simulação com os açudes na metade de suas capacidades mostrou-se bastante satisfatório, uma vez que os erros relativos obtidos quando da utilização da metodologia de Monte Carlo e desfragmentação de Svanidze foram desprezíveis.

## 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Concluiu-se que, dentre os métodos utilizados no processo de geração das séries sintéticas de vazões afluentes no Estado do Ceará, o que fornece melhores resultados na curva de garantia mensal *versus* vazão regularizada é o Método de Monte Carlo associado ao Método dos Fragmentos de Svanidze.

Concluiu-se que nem sempre a escolha da metodologia com maior sofisticação matemática significa uma melhor reprodução da realidade dos fatos estudados.

Observou-se que todas as séries históricas de vazões afluentes apresentaram, no total escoado anualmente, um caráter de independência interanual, ou seja, o que escoou em um determinado ano não sofre influência do volume escoado no ano anterior e nem influencia o escoamento do ano seguinte. Com isso, ao se gerar séries sintéticas pela metodologia de Monte Carlo associada à desfragmentação de Svanidze, admite-se, em regiões com características hidrológicas semelhantes às do Estado do Ceará, a premissa de que as séries históricas anuais de vazões afluentes possuem essa independência interanual.

Verificou-se que a distribuição Gamma~2P adequou-se a todas as séries históricas de vazões afluentes, mostrando-se uma excelente escolha de distribuição de probabilidade a ser adotada no processo de geração das séries sintéticas de vazões anuais, em regiões onde predomine um caráter assimétrico semelhante ao das séries históricas do Estado do Ceará.

Constatou-se que a adoção do volume inicial armazenado nos reservatórios igual à metade de suas capacidades é uma boa solução, quando da utilização das séries históricas de vazões, uma vez que pelos resultados obtidos através das comparações gráfica e do erro relativo, ficou evidente a aproximação entre as vazões regularizadas obtidas pelas séries sintéticas geradas por Monte Carlo desfragmentada por Svanidze, com aquelas obtidas pelas séries históricas.

No que concerne à comparação gráfica das curvas de vazão regularizada bem com o erro relativo para 90% de garantia mensal, ficou bastante evidenciada a adequação do método de Monte Carlo associado à desfragmentação de Svanidze, uma vez que em todos os

reservatórios estudados, a curva de garantia mensal que mais se aproximou daquela obtida mediante emprego da série histórica, foi a obtida com a aplicação da série sintética gerada pela referida metodologia. Somente no caso do açude Pedras Brancas, a curva de garantia mensal obtida pela metodologia de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas, apresentou resultados semelhantes à metodologia de Monte Carlo e desfragmentação de Svanidze.

Concluiu-se que a utilização da metodologia de Thomas&Fiering modificada por Clarke deve ser descartada em regiões onde predomine o caráter assimétrico das vazões, uma vez que esta, apesar de não levar em conta uma total dependência linear entre meses consecutivos, distorce completamente os valores gerados, fazendo com que sejam obtidas vazões regularizadas bem superiores às realmente possíveis, face ao pequeno valor de variabilidade que introduz às vazões geradas. Esse fato vem a ressaltar a importância do caráter assimétrico das vazões da região onde os reservatórios estudados encontram-se localizados, na geração das séries sintéticas, uma vez que a pequena assimetria introduzida às séries geradas pela citada metodologia, devido a utilização da distribuição  $N(0,1)$  na geração dos números pseudo-aleatórios, sugeriu ser possível uma retirada bem superior de água – vazão regularizada – daquela possível quando do uso da série histórica.

Verificou-se que o processo de geração de Thomas&Fiering com modificação de Clarke e transformação de Matalas, apesar de dar aos parâmetros envolvidos no processo de geração um caráter exponencial, ou seja, uma característica assimétrica nas séries sintéticas geradas, propiciando um aumento da variabilidade das vazões, reduzindo o valor do volume de água regularizado dos reservatórios, apresentou um erro relativo bastante elevado, mostrando que esse método de geração deve ser descartado no Estado do Ceará.

Assim, dentre as três metodologias estudadas, quando se pretende estudar reservatórios inseridos em regiões com características de intermitência dos rios, apresentando, portanto, um caráter assimétrico nas vazões, deve-se optar pelo método de Monte Carlo associado à desfragmentação de Svanidze, uma vez que além de ser um método bastante simples e com poucos cálculos matemáticos, consegue-se reproduzir de maneira fiel as características marcantes do regime de escoamento.

Recomenda-se testar outras distribuições de probabilidade, com características assimétricas, na geração dos números pseudo-aleatórios envolvidos no processo de Thomas&Fiering modificado por Clarke, a fim de retirar o erro que esse processo produz quando gera séries com um caráter simétrico e pequena variabilidade nas vazões, distorcendo para mais os valores das vazões regularizadas obtidas.

Como o Método de Monte Carlo gera séries sintéticas de vazões anuais aleatórias e equiprováveis de ocorrência, recomenda-se, ainda, gerar diferentes séries sintéticas por essa metodologia, desfragmentá-las pelo Método dos Fragmentos de Svanidze e simular o reservatório com essas diferentes séries a fim de se verificar a ocorrência, ou não, de possíveis variabilidades entre os erros relativos em relação a simulação com o uso da série histórica.

Recomenda-se testar outras regras de simulação a fim de se verificar o comportamento das curvas de garantia *versus* vazão regularizada, a nível anual, quando da utilização das séries geradas pelo Método de Monte Carlo associado ao Método dos Fragmentos de Svanidze.

## 6 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, F. G. **Estudo Hidrométrico do Nordeste Brasileiro**. Boletim Técnico. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, Fortaleza, v. 36, n. 2, jul/dez. 1978. Reimpressão.

ARAÚJO, J. K. **Método dos Fragmentos Aplicado a Rios Intermitentes: Avaliação dos Erros Introduzidos no Cálculo da Disponibilidade de Reservatórios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1991.

BARNES, F. B. **Storage Required for a City Water Supply**. Journal of the Institution of Engineers, Australia, v. 26, n. p. 198, 1954.

CAMPOS, J. N. B. **Dimensionamento de Reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização**, Fortaleza, Edições UFC, 1996.

CLARKE, R. T. **Mathematical Models in Hydrology**. FAO Irrigation and Drainage Paper, Nº 19, 1973.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (1992). **Normais Climatológicas (1961 – 1990)**. Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, 1992.

FREITAS, M. A. de S. **Geração de Vazão em Rios de Regiões Semi-Áridas**. Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos, Meio Ambiente e Computação da Universidade de Fortaleza. INTERNET – [www.ivdialogo.com/%5Ctrabalhos%5Cdial079.pdf](http://www.ivdialogo.com/%5Ctrabalhos%5Cdial079.pdf), 1996.

HAAN, C. T. **Statistical Methods in Hydrology**. Iowa State University. Press, Iowa, 1977.

HURST, H. E. : BLACK, R. P. and SIMAIKA, Y. M. **Long Term Storage**. London, Constable, 1965.

KELMAN, J. **Modelos Estocásticos no Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. In: BARTH, F. T. Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.

LANNA, A .E. In: PORTO, R. L. **Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre : ABRH, 1997.

MAAS, A. et al. **Design of Water Resources System**. Harvard University Press, USA,1962.

MARTINS, E. S. P. R. **Modelos Lineares Generalizados em Simulação Hidrológica**. Tese M. Sc., IPH/UFRGS, Brasil, 1993.

MATALAS, N. C. **Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology**. Water Resources Research, v. 3, p. 937-945, 1967.

MAXIMILIAN, E. H. **Linguagem de Programação Estruturada – FORTRAN 77**. Rio de Janeiro : McGraw-Hill do Brasil, 1988.

MORAN, P. A. P. **Probability Theory of Dams and Storage System**. Journal of Applied Science, Australian, v. 6, 1954.

SARMENTO, F. J. **Aplicabilidade de Modelos de Geração de Vazão no Semi-Árido do Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989.

SOBOL, I. M. **A Primer for the Monte Carlo Method**. Florida : CRC Press, 1994.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. Rio de Janeiro : McGraw-Hill do Brasil, 1970.

SRIKANTHAN, R.; McMAHON, T. A . **Stochastic Generation of Monthly Flows for Ephemeral Streams**. Journal of Hydrology, n.47, 1980.

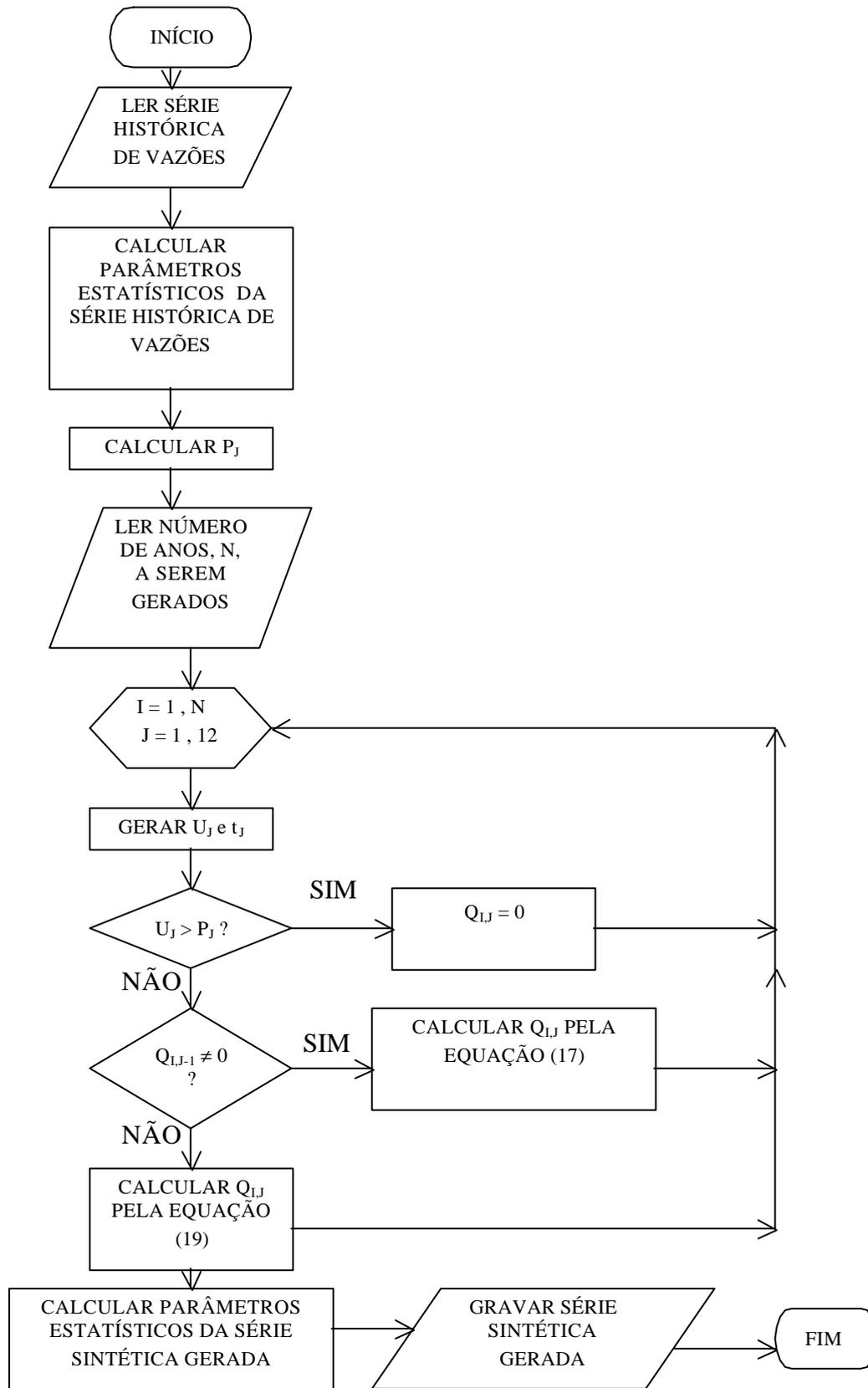
STURDART, T. M. de C. **Análises de Incertezas na Determinação de Vazões Regularizadas em Climas Semi-Áridos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

SUDLER, C. E. **Storage Required for the Regulation of Stream Flow**, Trans. A.S.C.E., v. 91, p. 622-660, 1927.

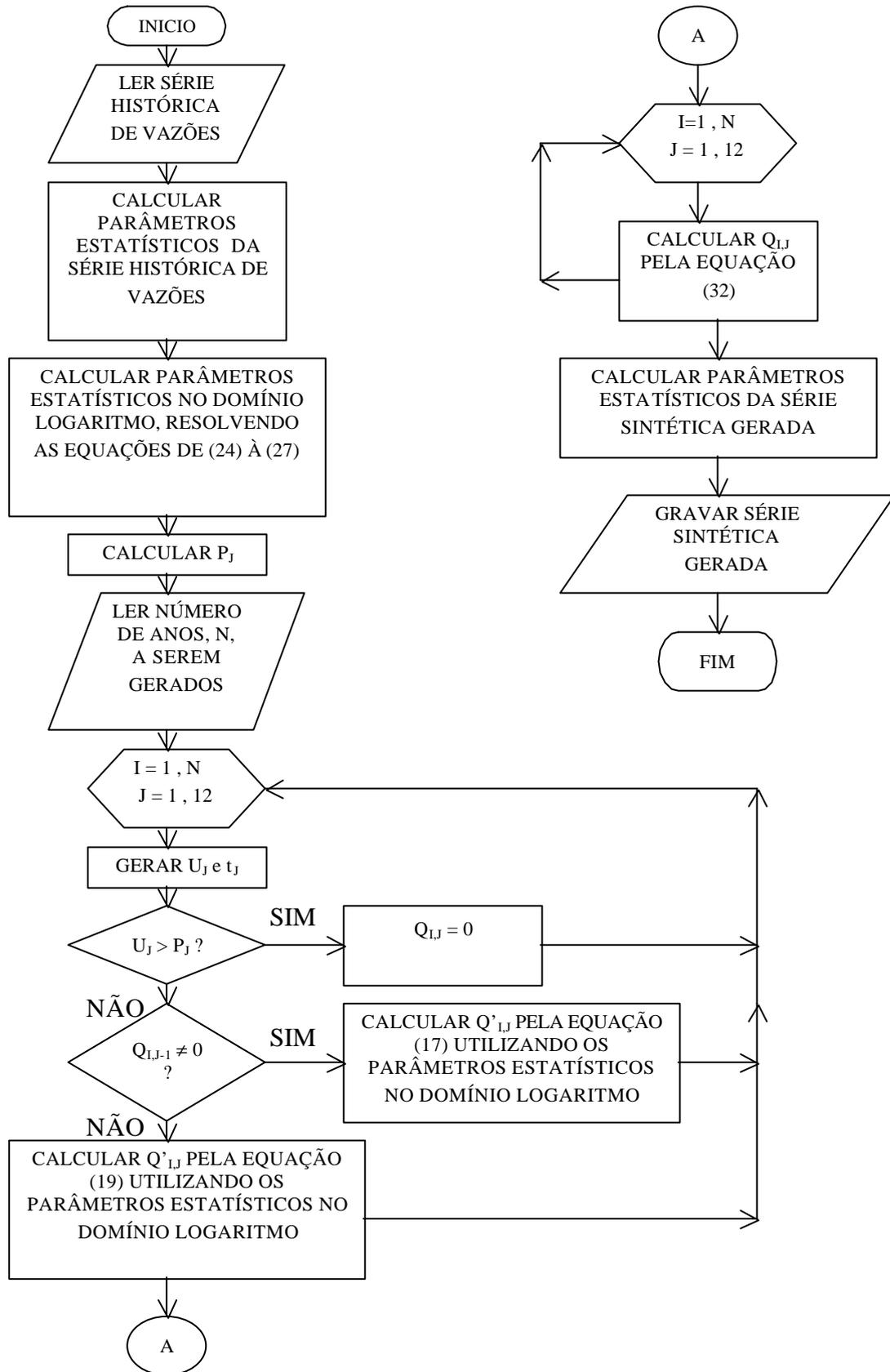
SVANIDZE, G. G. **Mathematical Modeling of Hydrology Series (for Hydroelectric and Water Resources Computations)**. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A, 1980.

YEVJEVICH, V. **Stochastic Processes in Hydrology**. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1972.

ANEXO I  
FLUXOGRAMAS DOS MÉTODOS DE GERAÇÃO  
E SIMULAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS



**FIGURA I-1** - Fluxograma do Método de Thomas&Fiering / Clarke.



**FIGURA I-2 - Fluxograma do Método de Thomas&Fiering / Clarke / Matalas.**

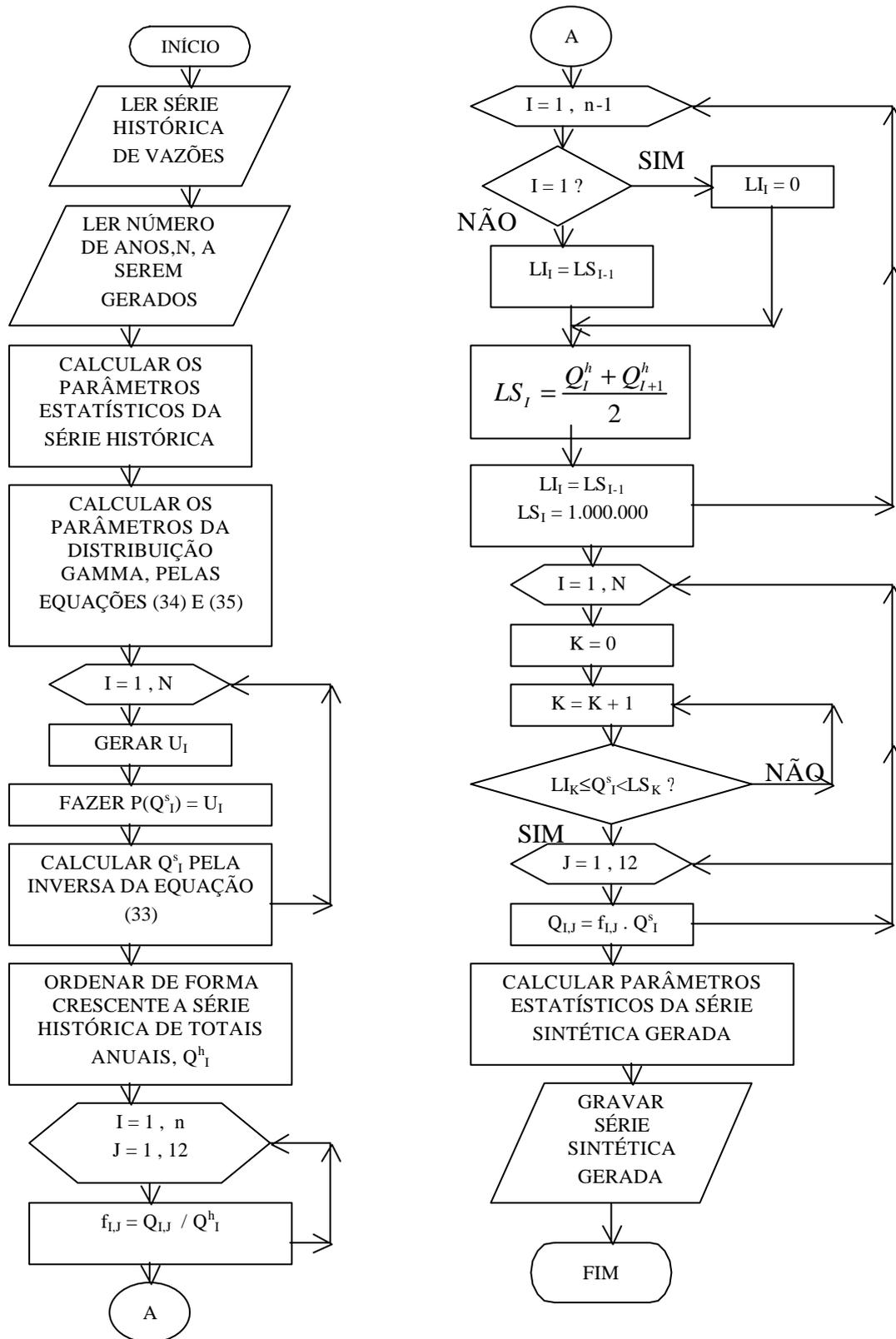


FIGURA I-3 - Fluxograma do Método de Monte Carlo e Desfragmentação de Svanidze.

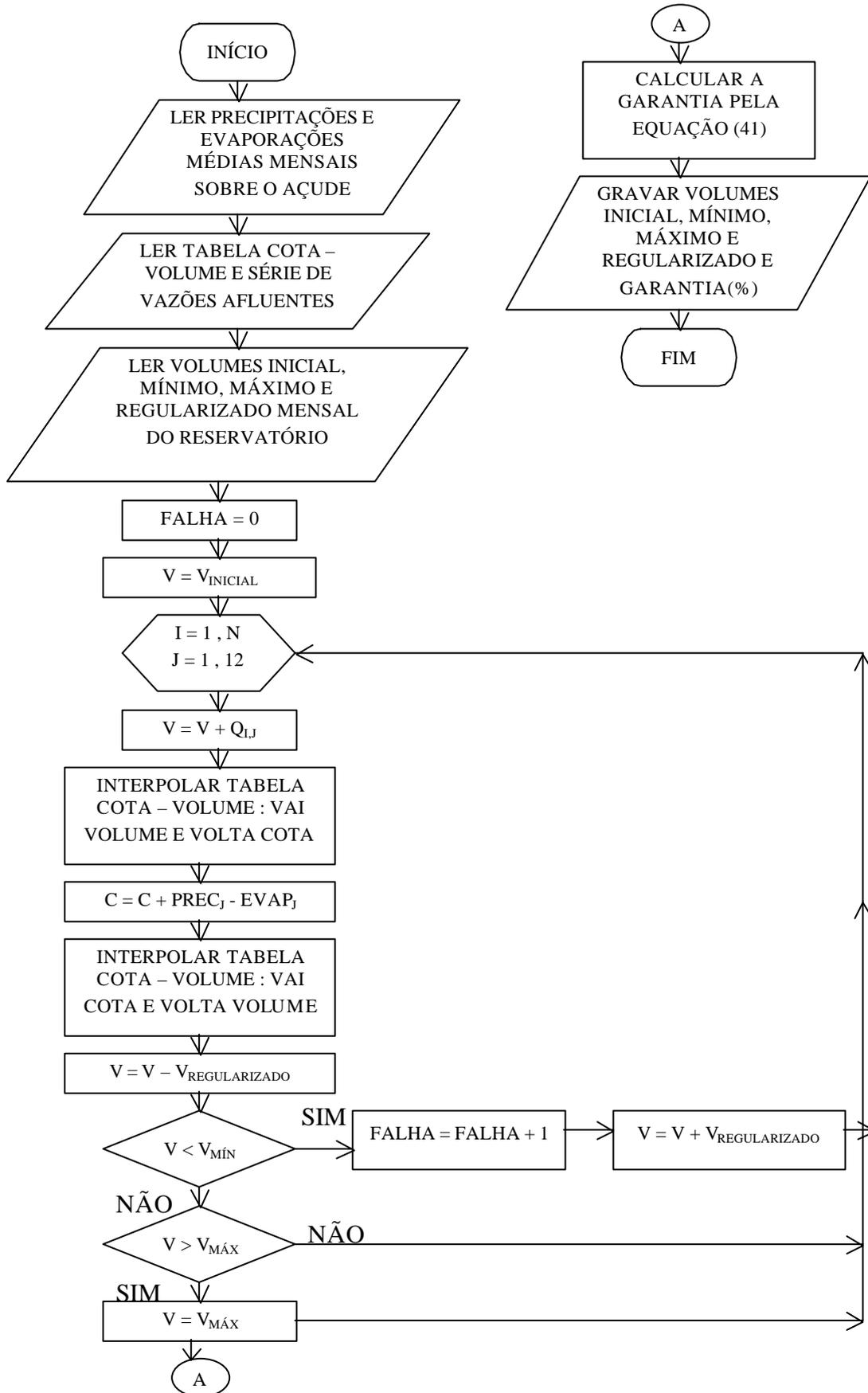


FIGURA I-4 - Fluxograma do Processo de Simulação dos Reservatórios.

ANEXO II  
SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES AFLUENTES

TABELA II-1 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Aracoiaba, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO  | MESES |        |        |         |         |        |        |       |       |       |       |       | ANUAL   |
|------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|      | JAN   | FEV    | MAR    | ABR     | MAI     | JUN    | JUL    | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |         |
| 1912 | 0,001 | 7,569  | 11,905 | 16,608  | 95,241  | 32,342 | 4,940  | 3,270 | 1,317 | 0,252 | 0,000 | 0,000 | 173,445 |
| 1913 | 0,000 | 6,249  | 78,472 | 51,498  | 27,859  | 4,919  | 4,947  | 4,348 | 1,937 | 0,698 | 0,057 | 0,022 | 181,006 |
| 1914 | 0,001 | 0,026  | 1,262  | 7,375   | 10,874  | 57,826 | 5,141  | 4,980 | 3,058 | 0,971 | 0,041 | 0,000 | 91,555  |
| 1915 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,013   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013   |
| 1916 | 0,001 | 0,008  | 3,811  | 1,898   | 15,160  | 3,738  | 3,976  | 2,730 | 0,829 | 0,031 | 0,000 | 0,000 | 32,182  |
| 1917 | 2,186 | 13,072 | 64,811 | 31,613  | 118,511 | 7,756  | 5,028  | 3,661 | 1,436 | 0,228 | 0,000 | 0,001 | 248,303 |
| 1918 | 0,001 | 0,011  | 0,063  | 7,650   | 1,985   | 3,482  | 2,575  | 1,710 | 0,541 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 18,024  |
| 1919 | 0,005 | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 0,001   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,006   |
| 1920 | 0,000 | 0,000  | 6,736  | 14,835  | 15,653  | 10,624 | 5,035  | 4,570 | 2,130 | 0,564 | 0,000 | 0,001 | 60,148  |
| 1921 | 0,009 | 2,238  | 40,490 | 88,745  | 136,794 | 4,940  | 6,548  | 4,955 | 2,696 | 1,038 | 0,086 | 0,000 | 288,539 |
| 1922 | 0,000 | 0,000  | 0,002  | 15,058  | 44,819  | 4,946  | 4,998  | 4,872 | 3,423 | 1,210 | 0,089 | 0,000 | 79,417  |
| 1923 | 0,001 | 0,003  | 0,703  | 10,182  | 1,699   | 1,663  | 1,708  | 1,111 | 0,104 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 17,174  |
| 1924 | 0,001 | 0,039  | 24,656 | 98,857  | 106,706 | 82,437 | 5,120  | 4,244 | 1,721 | 0,366 | 0,000 | 0,000 | 324,147 |
| 1925 | 0,001 | 0,018  | 0,009  | 1,020   | 4,717   | 1,971  | 1,333  | 0,276 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,345   |
| 1926 | 0,000 | 0,008  | 34,937 | 76,094  | 10,923  | 4,933  | 4,474  | 2,162 | 0,530 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 134,062 |
| 1927 | 0,001 | 0,001  | 0,008  | 7,641   | 4,223   | 2,604  | 2,603  | 1,471 | 0,230 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 18,782  |
| 1928 | 0,000 | 0,000  | 0,002  | 1,739   | 4,460   | 1,353  | 0,736  | 0,059 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,349   |
| 1929 | 0,000 | 0,005  | 11,427 | 11,693  | 7,226   | 4,952  | 4,963  | 3,410 | 1,293 | 0,204 | 0,000 | 0,000 | 45,173  |
| 1930 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,013   | 0,012   | 0,005  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,030   |
| 1931 | 0,002 | 0,007  | 2,013  | 0,746   | 0,824   | 0,772  | 0,232  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,596   |
| 1932 | 0,000 | 0,001  | 0,004  | 0,001   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,006   |
| 1933 | 0,002 | 0,004  | 0,005  | 14,233  | 1,528   | 1,347  | 0,459  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 17,579  |
| 1934 | 0,000 | 0,002  | 12,336 | 10,046  | 42,275  | 4,965  | 4,659  | 2,327 | 0,613 | 0,004 | 0,000 | 0,002 | 77,229  |
| 1935 | 0,000 | 0,005  | 4,449  | 14,862  | 25,098  | 19,893 | 5,120  | 4,171 | 1,669 | 0,294 | 0,000 | 0,000 | 75,561  |
| 1936 | 0,000 | 0,002  | 0,028  | 0,005   | 0,014   | 0,058  | 0,128  | 0,034 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,269   |
| 1937 | 0,000 | 0,004  | 0,055  | 13,570  | 13,372  | 43,169 | 5,069  | 4,147 | 1,783 | 0,514 | 0,000 | 0,000 | 81,683  |
| 1938 | 0,003 | 0,000  | 2,747  | 47,033  | 32,130  | 4,979  | 4,898  | 2,880 | 1,017 | 0,078 | 0,000 | 0,000 | 95,765  |
| 1939 | 0,001 | 5,474  | 24,550 | 4,080   | 4,192   | 3,965  | 3,628  | 2,013 | 0,821 | 0,067 | 0,001 | 0,000 | 48,792  |
| 1940 | 0,012 | 0,033  | 0,029  | 14,445  | 124,975 | 44,525 | 27,018 | 5,001 | 3,162 | 1,293 | 0,139 | 0,000 | 220,632 |
| 1941 | 0,000 | 0,002  | 0,023  | 0,668   | 7,577   | 2,274  | 1,761  | 0,558 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 12,868  |
| 1942 | 0,000 | 0,004  | 0,006  | 0,042   | 0,089   | 0,088  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,229   |
| 1943 | 0,000 | 0,003  | 0,003  | 0,307   | 0,502   | 0,536  | 0,454  | 0,022 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 1,829   |
| 1944 | 0,003 | 0,002  | 0,008  | 3,526   | 30,818  | 4,742  | 4,807  | 3,685 | 1,361 | 0,184 | 0,000 | 0,001 | 49,137  |
| 1945 | 0,000 | 6,892  | 12,145 | 119,643 | 79,657  | 72,766 | 15,473 | 4,528 | 2,379 | 0,856 | 0,048 | 0,001 | 314,388 |

**TABELA II-1 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Aracoiaba, em hm<sup>3</sup>/mês**

|      |        |        |         |        |        |        |       |       |       |       |       |       |         |
|------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1946 | 12,342 | 4,877  | 10,057  | 68,301 | 8,430  | 4,840  | 3,972 | 1,729 | 0,352 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 114,900 |
| 1947 | 0,000  | 0,010  | 0,064   | 9,325  | 29,152 | 4,830  | 4,712 | 2,629 | 0,801 | 0,052 | 0,001 | 0,003 | 51,579  |
| 1948 | 0,001  | 0,000  | 0,019   | 0,101  | 1,440  | 1,189  | 1,402 | 1,242 | 0,252 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 5,646   |
| 1949 | 0,000  | 0,002  | 2,610   | 19,661 | 37,135 | 9,335  | 4,998 | 3,541 | 1,401 | 0,184 | 0,000 | 0,001 | 78,868  |
| 1950 | 0,002  | 2,176  | 102,685 | 86,292 | 5,091  | 4,247  | 2,303 | 0,752 | 0,023 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 203,572 |
| 1951 | 0,000  | 0,000  | 0,025   | 0,107  | 16,179 | 2,836  | 2,334 | 0,801 | 0,029 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 22,312  |
| 1952 | 0,000  | 0,015  | 1,399   | 12,279 | 2,802  | 2,122  | 0,857 | 0,066 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 19,540  |
| 1953 | 0,000  | 0,005  | 0,011   | 0,069  | 0,141  | 0,135  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,361   |
| 1954 | 0,002  | 0,005  | 0,032   | 0,011  | 0,050  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,101   |
| 1955 | 0,006  | 0,016  | 6,680   | 21,428 | 3,862  | 3,333  | 1,806 | 0,482 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 37,613  |
| 1956 | 0,005  | 0,034  | 8,283   | 1,751  | 1,674  | 1,122  | 0,456 | 0,046 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 13,372  |
| 1957 | 0,000  | 1,157  | 32,481  | 4,589  | 4,606  | 3,654  | 1,830 | 0,501 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 48,822  |
| 1958 | 0,000  | 0,000  | 0,006   | 10,779 | 1,593  | 1,506  | 0,853 | 0,062 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 14,801  |
| 1959 | 0,043  | 13,145 | 8,689   | 19,128 | 5,030  | 4,719  | 3,395 | 1,399 | 0,193 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 55,741  |
| 1960 | 0,000  | 9,125  | 33,654  | 4,971  | 4,980  | 3,840  | 2,460 | 0,917 | 0,055 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 60,004  |
| 1961 | 9,099  | 13,284 | 23,868  | 32,029 | 11,694 | 4,842  | 4,170 | 1,927 | 0,446 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 101,359 |
| 1962 | 0,001  | 10,330 | 6,067   | 3,327  | 3,373  | 2,751  | 1,440 | 0,331 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 27,624  |
| 1963 | 0,059  | 21,042 | 28,632  | 27,735 | 5,036  | 3,979  | 2,145 | 0,661 | 0,011 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 89,330  |
| 1964 | 18,381 | 46,745 | 187,173 | 90,368 | 14,859 | 4,858  | 4,869 | 3,583 | 1,490 | 0,246 | 0,000 | 0,001 | 372,573 |
| 1965 | 0,001  | 0,003  | 14,687  | 27,282 | 95,751 | 5,679  | 4,881 | 2,727 | 0,999 | 0,091 | 0,000 | 0,000 | 152,101 |
| 1966 | 0,001  | 0,000  | 0,002   | 0,007  | 0,044  | 0,100  | 0,100 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,254   |
| 1967 | 0,019  | 11,612 | 57,789  | 90,874 | 5,117  | 4,831  | 4,681 | 2,560 | 0,744 | 0,016 | 0,000 | 0,001 | 178,244 |
| 1968 | 0,001  | 0,011  | 0,075   | 11,728 | 2,752  | 2,618  | 2,078 | 0,673 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 19,947  |
| 1969 | 0,001  | 0,005  | 6,493   | 1,924  | 10,582 | 18,239 | 5,111 | 4,516 | 2,219 | 0,636 | 0,001 | 0,001 | 49,728  |
| 1970 | 0,004  | 0,011  | 0,066   | 0,144  | 0,180  | 0,007  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,413   |
| 1971 | 0,008  | 0,044  | 15,573  | 12,361 | 27,836 | 4,992  | 5,050 | 4,143 | 1,958 | 0,805 | 0,036 | 0,000 | 72,806  |
| 1972 | 0,000  | 0,001  | 0,001   | 0,037  | 0,109  | 0,157  | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,334   |
| 1973 | 0,005  | 0,023  | 5,037   | 11,648 | 12,719 | 5,492  | 5,054 | 3,609 | 1,464 | 0,253 | 0,001 | 6,801 | 52,106  |
| 1974 | 6,124  | 49,704 | 155,372 | 87,082 | 41,805 | 4,946  | 4,752 | 2,791 | 1,134 | 0,114 | 0,000 | 0,000 | 353,824 |
| 1975 | 0,004  | 0,017  | 0,077   | 5,982  | 2,042  | 2,242  | 2,302 | 1,615 | 0,356 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 14,637  |
| 1976 | 0,004  | 0,031  | 0,098   | 0,167  | 0,137  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,438   |
| 1977 | 0,044  | 0,304  | 5,335   | 48,211 | 80,529 | 44,365 | 5,123 | 3,981 | 1,556 | 0,271 | 0,000 | 0,000 | 189,719 |
| 1978 | 0,009  | 0,030  | 0,070   | 9,362  | 1,950  | 1,897  | 1,932 | 1,128 | 0,133 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 16,511  |
| 1979 | 0,001  | 0,019  | 0,004   | 0,022  | 0,080  | 0,040  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,167   |
| 1980 | 5,762  | 10,268 | 1,834   | 1,747  | 1,357  | 0,536  | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 21,524  |
| 1981 | 0,000  | 7,174  | 6,464   | 2,174  | 2,017  | 0,908  | 0,125 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 18,863  |

**TABELA II-1 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Aracoiaba, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |              |              |               |               |               |               |              |              |              |              |              |              |               |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1982            | 0,001        | 0,010        | 0,040         | 0,073         | 0,134         | 0,052         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,310         |
| 1983            | 0,005        | 0,002        | 0,024         | 0,013         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,044         |
| 1984            | 0,000        | 0,005        | 5,080         | 19,873        | 15,022        | 4,901         | 4,914        | 3,918        | 1,627        | 0,343        | 0,000        | 0,001        | 55,684        |
| 1985            | 2,440        | 17,319       | 70,218        | 78,131        | 42,913        | 17,446        | 5,081        | 3,892        | 1,494        | 0,236        | 0,000        | 0,000        | 239,170       |
| 1986            | 0,032        | 15,081       | 72,471        | 40,708        | 39,394        | 4,939         | 4,905        | 3,021        | 1,291        | 0,261        | 0,000        | 0,000        | 182,103       |
| 1987            | 0,002        | 0,009        | 2,564         | 1,268         | 3,806         | 1,718         | 1,544        | 0,468        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,001        | 11,380        |
| 1988            | 0,002        | 0,001        | 13,313        | 17,686        | 3,538         | 3,358         | 3,065        | 1,580        | 0,305        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 42,848        |
| 1989            | 0,000        | 0,001        | 0,047         | 6,777         | 7,509         | 24,202        | 5,056        | 3,702        | 1,479        | 0,254        | 0,001        | 0,003        | 49,031        |
| 1990            | 0,001        | 0,005        | 0,001         | 0,026         | 0,018         | 0,001         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,052         |
| 1991            | 0,001        | 0,007        | 0,059         | 0,871         | 0,548         | 0,527         | 0,076        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 2,089         |
| 1992            | 0,019        | 0,080        | 0,155         | 0,209         | 0,047         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,510         |
| 1993            | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,001         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,001         |
| 1994            | 0,004        | 0,007        | 5,460         | 9,717         | 37,188        | 4,978         | 4,824        | 2,611        | 0,772        | 0,020        | 0,000        | 0,001        | 65,582        |
| 1995            | 0,001        | 0,002        | 0,188         | 2,820         | 4,240         | 2,474         | 2,362        | 1,002        | 0,072        | 0,000        | 0,000        | 0,005        | 13,166        |
| 1996            | 0,005        | 0,004        | 8,292         | 2,806         | 2,920         | 2,068         | 1,063        | 0,203        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 17,361        |
| <b>media</b>    | <b>0,667</b> | <b>3,240</b> | <b>14,553</b> | <b>18,703</b> | <b>18,463</b> | <b>7,793</b>  | <b>3,011</b> | <b>1,718</b> | <b>0,667</b> | <b>0,149</b> | <b>0,006</b> | <b>0,081</b> | <b>69,051</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>2,709</b> | <b>8,412</b> | <b>31,839</b> | <b>28,404</b> | <b>31,085</b> | <b>15,327</b> | <b>3,637</b> | <b>1,719</b> | <b>0,880</b> | <b>0,291</b> | <b>0,022</b> | <b>0,738</b> | <b>90,792</b> |

TABELA II-2 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Banabuiú, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO  | MESES   |         |          |          |          |         |          |        |       |       |       |        | ANUAL    |
|------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|
|      | JAN     | FEV     | MAR      | ABR      | MAI      | JUN     | JUL      | AGO    | SET   | OUT   | NOV   | DEZ    |          |
| 1913 | 21,437  | 188,852 | 87,485   | 221,509  | 92,631   | 49,694  | 26,089   | 6,102  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,011  | 693,810  |
| 1914 | 60,501  | 4,992   | 2,920    | 22,169   | 52,194   | 50,646  | 69,577   | 11,918 | 1,660 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 276,577  |
| 1915 | 0,000   | 0,000   | 0,000    | 1,401    | 0,049    | 0,000   | 0,000    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 75,688 | 77,138   |
| 1916 | 32,516  | 1,164   | 593,136  | 91,479   | 226,874  | 49,190  | 15,665   | 1,416  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 24,079 | 1035,519 |
| 1917 | 409,443 | 367,064 | 906,294  | 345,856  | 292,980  | 96,725  | 29,465   | 5,925  | 1,483 | 0,254 | 0,000 | 0,016  | 2455,505 |
| 1918 | 14,425  | 33,064  | 0,977    | 2,641    | 1,946    | 7,447   | 0,209    | 0,032  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 60,741   |
| 1919 | 82,811  | 0,000   | 0,000    | 0,000    | 0,000    | 0,000   | 0,016    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 82,827   |
| 1920 | 0,000   | 0,044   | 906,065  | 204,005  | 231,624  | 51,799  | 31,103   | 6,375  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,059  | 1431,074 |
| 1921 | 0,000   | 148,468 | 616,528  | 328,157  | 893,393  | 76,765  | 48,638   | 10,674 | 1,635 | 0,455 | 0,047 | 0,000  | 2124,760 |
| 1922 | 0,000   | 0,000   | 84,040   | 2107,388 | 1074,648 | 150,653 | 124,820  | 33,601 | 6,302 | 1,871 | 0,297 | 0,000  | 3583,620 |
| 1923 | 0,000   | 147,042 | 83,991   | 49,338   | 15,145   | 1,768   | 2766,698 | 12,555 | 2,612 | 0,077 | 0,000 | 0,000  | 3079,226 |
| 1924 | 12,961  | 187,353 | 704,253  | 2084,358 | 899,342  | 385,608 | 125,517  | 34,413 | 2,752 | 0,708 | 0,031 | 0,000  | 4437,296 |
| 1925 | 60,547  | 39,915  | 318,275  | 391,351  | 354,835  | 38,828  | 9,128    | 0,779  | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 1213,678 |
| 1926 | 0,049   | 58,396  | 837,992  | 275,515  | 172,667  | 48,660  | 13,111   | 1,213  | 0,072 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 1407,675 |
| 1927 | 0,000   | 64,277  | 233,726  | 560,638  | 102,924  | 54,760  | 20,981   | 2,477  | 0,092 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 1039,875 |
| 1928 | 0,000   | 0,000   | 80,493   | 113,716  | 107,000  | 5,064   | 0,424    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 306,697  |
| 1929 | 0,000   | 22,020  | 194,398  | 266,664  | 83,534   | 35,985  | 9,435    | 1,633  | 0,297 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 613,966  |
| 1930 | 2,708   | 1,485   | 223,139  | 81,734   | 13,421   | 5,241   | 0,834    | 0,053  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 328,615  |
| 1931 | 0,116   | 29,160  | 246,547  | 47,462   | 13,299   | 0,782   | 0,000    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 337,366  |
| 1932 | 0,000   | 0,000   | 0,114    | 17,336   | 1,295    | 0,037   | 0,011    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 18,793   |
| 1933 | 0,000   | 0,035   | 124,193  | 527,132  | 71,791   | 24,370  | 4,805    | 1,110  | 0,123 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 753,559  |
| 1934 | 0,000   | 135,185 | 1344,571 | 627,184  | 794,065  | 124,664 | 47,260   | 4,394  | 0,747 | 0,042 | 0,000 | 2,557  | 3080,669 |
| 1935 | 0,038   | 67,756  | 52,645   | 839,669  | 473,505  | 94,600  | 43,650   | 8,735  | 1,759 | 0,359 | 0,000 | 0,000  | 1582,716 |
| 1936 | 0,000   | 57,412  | 291,980  | 9,149    | 280,924  | 84,738  | 25,653   | 2,719  | 0,389 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 752,964  |
| 1937 | 0,000   | 0,000   | 0,049    | 186,693  | 30,315   | 17,240  | 5,563    | 1,615  | 0,317 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 241,792  |
| 1938 | 0,000   | 0,000   | 679,598  | 214,430  | 71,663   | 34,301  | 2,995    | 0,159  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 1003,146 |
| 1939 | 0,000   | 119,340 | 55,694   | 18,718   | 10,124   | 1,717   | 0,011    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 205,604  |
| 1940 | 0,011   | 12,129  | 241,849  | 751,315  | 971,344  | 372,420 | 112,309  | 28,712 | 3,477 | 0,962 | 0,051 | 0,000  | 2494,579 |
| 1941 | 0,000   | 1,479   | 136,400  | 10,087   | 24,524   | 2,994   | 0,564    | 0,021  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 176,069  |
| 1942 | 0,000   | 0,008   | 1,251    | 4,517    | 5,084    | 0,624   | 0,063    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,957  | 13,504   |
| 1943 | 0,000   | 0,569   | 1,270    | 16,339   | 2,227    | 0,524   | 0,000    | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 20,929   |
| 1944 | 0,000   | 0,000   | 75,791   | 194,461  | 42,321   | 21,185  | 11,892   | 1,214  | 0,153 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 347,017  |
| 1945 | 12,198  | 167,457 | 33,732   | 49,939   | 338,534  | 47,017  | 24,285   | 5,751  | 1,279 | 0,222 | 0,000 | 0,000  | 680,414  |
| 1946 | 0,000   | 37,400  | 5,274    | 1,769    | 0,965    | 3,713   | 0,539    | 0,053  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,464  | 52,177   |



**TABELA II-2 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Banabuiú, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |               |               |                |                |                |               |                |              |              |              |              |               |                |
|-----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| 1983            | 0,000         | 0,265         | 48,109         | 7,029          | 4,387          | 1,821         | 0,613          | 0,053        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 62,277         |
| 1984            | 0,000         | 0,024         | 85,281         | 748,859        | 125,405        | 112,353       | 42,429         | 9,162        | 1,372        | 0,137        | 0,000        | 0,000         | 1125,022       |
| 1985            | 0,142         | 34,451        | 481,498        | 1460,298       | 248,544        | 126,799       | 72,721         | 19,432       | 3,802        | 1,184        | 0,102        | 12,068        | 2461,041       |
| 1986            | 1,092         | 18,363        | 399,731        | 540,323        | 188,368        | 103,284       | 45,117         | 11,273       | 2,854        | 0,867        | 0,041        | 0,000         | 1311,313       |
| 1987            | 0,000         | 0,000         | 7,294          | 36,305         | 4,454          | 1,995         | 1,099          | 0,285        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 51,432         |
| 1988            | 0,000         | 0,000         | 69,687         | 345,341        | 293,408        | 52,053        | 26,718         | 4,817        | 0,542        | 0,011        | 0,000        | 0,049         | 792,626        |
| 1989            | 0,000         | 0,000         | 97,918         | 938,989        | 731,957        | 104,888       | 45,801         | 11,661       | 2,501        | 0,655        | 0,010        | 104,401       | 2038,781       |
| 1990            | 5,163         | 1,795         | 0,249          | 15,840         | 42,594         | 4,080         | 0,969          | 0,159        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 70,849         |
| 1991            | 0,000         | 0,000         | 92,593         | 48,780         | 64,336         | 11,283        | 3,013          | 0,772        | 0,041        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 220,818        |
| 1992            | 5,993         | 214,884       | 49,057         | 209,176        | 19,326         | 5,873         | 2,209          | 0,761        | 0,041        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 507,320        |
| 1993            | 0,000         | 6,251         | 0,396          | 0,010          | 0,027          | 0,000         | 0,000          | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 6,684          |
| 1994            | 0,000         | 14,222        | 38,032         | 83,234         | 60,463         | 40,278        | 14,642         | 2,934        | 0,266        | 0,000        | 0,000        | 17,737        | 271,808        |
| 1995            | 1,088         | 0,047         | 0,236          | 257,262        | 53,841         | 25,453        | 11,499         | 2,129        | 0,245        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 351,800        |
| 1996            | 65,848        | 48,215        | 125,298        | 183,621        | 128,993        | 32,469        | 9,892          | 1,406        | 0,338        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 596,080        |
| <b>media</b>    | <b>12,671</b> | <b>33,775</b> | <b>204,332</b> | <b>277,103</b> | <b>168,937</b> | <b>46,874</b> | <b>50,900</b>  | <b>4,058</b> | <b>0,669</b> | <b>0,149</b> | <b>0,533</b> | <b>2,985</b>  | <b>802,986</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>51,863</b> | <b>64,478</b> | <b>335,542</b> | <b>424,336</b> | <b>265,954</b> | <b>70,677</b> | <b>301,160</b> | <b>7,146</b> | <b>1,211</b> | <b>0,352</b> | <b>4,471</b> | <b>14,294</b> | <b>980,038</b> |

TABELA II-3 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Cauhipe, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO             | MESES        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | ANUAL         |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                 | JAN          | FEV          | MAR          | ABR          | MAI          | JUN          | JUL          | AGO          | SET          | OUT          | NOV          | DEZ          |               |
| 1962            | 0,019        | 0,082        | 0,123        | 4,364        | 4,184        | 0,158        | 0,093        | 0,044        | 0,017        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 9,087         |
| 1963            | 0,041        | 2,840        | 12,099       | 3,931        | 0,778        | 0,138        | 0,098        | 0,049        | 0,017        | 0,002        | 0,006        | 0,050        | 20,049        |
| 1964            | 0,047        | 3,891        | 9,164        | 25,496       | 8,202        | 0,983        | 0,150        | 0,088        | 0,050        | 0,025        | 0,005        | 0,000        | 48,101        |
| 1965            | 0,028        | 0,031        | 1,638        | 18,525       | 8,895        | 7,282        | 0,185        | 0,076        | 0,029        | 0,009        | 0,000        | 0,000        | 36,698        |
| 1966            | 0,000        | 0,001        | 0,030        | 0,090        | 3,522        | 1,740        | 1,185        | 0,118        | 0,055        | 0,024        | 0,005        | 0,000        | 6,770         |
| 1967            | 0,001        | 11,781       | 11,461       | 10,636       | 3,313        | 0,645        | 0,154        | 0,100        | 0,050        | 0,020        | 0,003        | 0,000        | 38,164        |
| 1968            | 0,010        | 0,053        | 0,098        | 3,237        | 7,261        | 0,487        | 0,109        | 0,053        | 0,019        | 0,003        | 0,000        | 0,010        | 11,340        |
| 1969            | 0,019        | 0,008        | 3,650        | 19,536       | 4,298        | 0,913        | 3,768        | 0,130        | 0,057        | 0,021        | 0,004        | 0,000        | 32,404        |
| 1970            | 0,012        | 0,033        | 0,075        | 16,212       | 0,972        | 0,167        | 0,119        | 0,065        | 0,025        | 0,006        | 0,000        | 0,000        | 17,686        |
| 1971            | 0,012        | 0,050        | 3,897        | 4,494        | 5,168        | 6,053        | 2,205        | 0,142        | 0,059        | 0,025        | 0,008        | 0,004        | 22,117        |
| 1972            | 0,006        | 0,018        | 0,042        | 3,804        | 5,372        | 0,761        | 0,170        | 0,115        | 0,067        | 0,026        | 0,005        | 0,000        | 10,386        |
| 1973            | 0,030        | 0,888        | 11,048       | 18,122       | 16,322       | 2,698        | 0,702        | 0,121        | 0,057        | 0,026        | 0,007        | 0,000        | 50,021        |
| 1974            | 1,719        | 8,559        | 20,612       | 19,904       | 21,466       | 2,343        | 0,138        | 0,068        | 0,030        | 0,013        | 0,001        | 0,002        | 74,855        |
| 1975            | 0,018        | 0,065        | 9,354        | 6,592        | 16,734       | 1,477        | 7,174        | 0,141        | 0,069        | 0,028        | 0,006        | 0,016        | 41,674        |
| 1976            | 0,010        | 4,594        | 15,005       | 1,893        | 0,140        | 0,082        | 0,042        | 0,016        | 0,002        | 0,000        | 0,001        | 0,000        | 21,785        |
| 1977            | 0,017        | 0,140        | 10,229       | 6,886        | 4,569        | 4,255        | 3,214        | 0,136        | 0,060        | 0,024        | 0,005        | 0,000        | 29,535        |
| 1978            | 0,000        | 0,050        | 0,122        | 1,107        | 3,747        | 0,132        | 0,104        | 0,071        | 0,027        | 0,006        | 0,000        | 0,000        | 5,366         |
| 1979            | 0,010        | 0,021        | 1,337        | 0,171        | 5,022        | 0,212        | 0,097        | 0,043        | 0,014        | 0,002        | 0,000        | 0,000        | 6,929         |
| 1980            | 0,013        | 0,037        | 4,450        | 0,115        | 0,102        | 0,088        | 0,046        | 0,018        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 4,872         |
| 1981            | 0,004        | 0,009        | 0,034        | 1,624        | 0,147        | 0,091        | 0,047        | 0,018        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,002        | 1,979         |
| 1982            | 0,008        | 0,060        | 4,125        | 1,838        | 0,171        | 0,095        | 0,050        | 0,020        | 0,004        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 6,371         |
| 1983            | 0,000        | 0,025        | 0,088        | 0,113        | 0,072        | 0,036        | 0,017        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,354         |
| 1984            | 0,014        | 0,041        | 1,415        | 9,844        | 6,462        | 0,162        | 0,091        | 0,041        | 0,013        | 0,001        | 0,000        | 0,000        | 18,084        |
| 1985            | 0,039        | 9,281        | 15,053       | 14,311       | 8,284        | 1,712        | 0,151        | 0,072        | 0,027        | 0,006        | 0,000        | 0,002        | 48,938        |
| 1986            | 0,043        | 3,191        | 9,372        | 11,443       | 2,854        | 1,568        | 0,166        | 0,082        | 0,032        | 0,009        | 0,000        | 0,000        | 28,760        |
| 1987            | 0,000        | 0,030        | 3,909        | 1,071        | 0,162        | 0,127        | 0,145        | 0,068        | 0,025        | 0,006        | 0,000        | 0,000        | 5,543         |
| 1988            | 0,013        | 0,132        | 8,157        | 9,847        | 5,327        | 0,269        | 0,175        | 0,124        | 0,050        | 0,017        | 0,002        | 0,007        | 24,120        |
| 1989            | 0,053        | 0,064        | 0,121        | 8,010        | 4,593        | 1,125        | 0,154        | 0,135        | 0,056        | 0,019        | 0,003        | 0,003        | 14,336        |
| 1990            | 0,006        | 0,004        | 0,114        | 0,120        | 1,117        | 0,121        | 0,065        | 0,028        | 0,007        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 1,582         |
| 1991            | 0,007        | 0,060        | 4,399        | 4,432        | 1,378        | 0,164        | 0,107        | 0,049        | 0,017        | 0,002        | 0,000        | 0,000        | 10,615        |
| 1992            | 0,001        | 0,033        | 0,483        | 4,709        | 0,148        | 0,095        | 0,054        | 0,023        | 0,005        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 5,551         |
| 1993            | 0,001        | 0,002        | 0,018        | 0,096        | 0,109        | 0,065        | 0,050        | 0,027        | 0,007        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,375         |
| 1994            | 0,012        | 0,033        | 6,414        | 13,736       | 8,691        | 3,797        | 0,166        | 0,090        | 0,036        | 0,010        | 0,000        | 0,000        | 32,985        |
| 1995            | 0,013        | 0,029        | 0,092        | 19,092       | 7,938        | 0,436        | 0,125        | 0,061        | 0,022        | 0,004        | 0,000        | 0,000        | 27,812        |
| 1996            | 0,015        | 0,024        | 5,329        | 7,718        | 2,743        | 0,150        | 0,087        | 0,043        | 0,015        | 0,002        | 0,000        | 0,000        | 16,126        |
| <b>media</b>    | <b>0,064</b> | <b>1,319</b> | <b>4,959</b> | <b>7,803</b> | <b>4,865</b> | <b>1,161</b> | <b>0,612</b> | <b>0,071</b> | <b>0,029</b> | <b>0,010</b> | <b>0,002</b> | <b>0,003</b> | <b>20,896</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>0,288</b> | <b>2,934</b> | <b>5,484</b> | <b>7,225</b> | <b>5,064</b> | <b>1,743</b> | <b>1,436</b> | <b>0,042</b> | <b>0,021</b> | <b>0,010</b> | <b>0,003</b> | <b>0,009</b> | <b>17,508</b> |

TABELA II-4 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Catu, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO  | MESES  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       | ANUAL  |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|      | JAN    | FEV    | MAR    | ABR    | MAI    | JUN    | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |        |
| 1912 | 0,000  | 10,564 | 12,158 | 28,790 | 16,890 | 10,820 | 0,574 | 0,560 | 0,465 | 0,341 | 0,193 | 0,117 | 81,472 |
| 1913 | 0,072  | 5,413  | 28,929 | 23,616 | 13,807 | 6,982  | 0,580 | 0,569 | 0,463 | 0,353 | 0,241 | 0,145 | 81,170 |
| 1914 | 0,089  | 2,326  | 4,426  | 18,291 | 20,652 | 10,431 | 0,944 | 0,573 | 0,542 | 0,421 | 0,254 | 0,168 | 59,117 |
| 1915 | 0,095  | 0,068  | 0,078  | 0,074  | 0,078  | 0,059  | 0,036 | 0,017 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,508  |
| 1916 | 0,000  | 0,006  | 1,442  | 7,522  | 4,409  | 0,431  | 0,440 | 0,398 | 0,254 | 0,153 | 0,084 | 0,049 | 15,188 |
| 1917 | 10,394 | 6,528  | 21,180 | 15,313 | 23,907 | 2,595  | 0,575 | 0,530 | 0,331 | 0,198 | 0,110 | 0,070 | 81,731 |
| 1918 | 0,047  | 0,037  | 2,665  | 7,296  | 8,071  | 2,627  | 0,574 | 0,559 | 0,413 | 0,249 | 0,136 | 0,077 | 22,751 |
| 1919 | 0,052  | 0,030  | 0,031  | 0,030  | 0,026  | 0,018  | 0,013 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,204  |
| 1920 | 0,000  | 0,000  | 2,875  | 6,281  | 3,710  | 1,012  | 0,491 | 0,471 | 0,321 | 0,201 | 0,115 | 0,074 | 15,551 |
| 1921 | 0,063  | 0,731  | 12,673 | 16,162 | 13,585 | 0,775  | 0,572 | 0,560 | 0,449 | 0,356 | 0,230 | 0,206 | 46,362 |
| 1922 | 0,139  | 0,100  | 0,103  | 5,659  | 6,177  | 2,000  | 0,580 | 0,570 | 0,503 | 0,323 | 0,179 | 0,123 | 16,456 |
| 1923 | 0,079  | 0,051  | 1,715  | 4,324  | 1,208  | 0,622  | 0,353 | 0,327 | 0,206 | 0,123 | 0,066 | 0,037 | 9,111  |
| 1924 | 0,015  | 1,788  | 10,331 | 12,680 | 18,103 | 8,177  | 0,580 | 0,557 | 0,375 | 0,227 | 0,135 | 0,082 | 53,050 |
| 1925 | 0,058  | 0,047  | 0,990  | 9,484  | 3,078  | 0,484  | 0,487 | 0,365 | 0,232 | 0,149 | 0,085 | 0,048 | 15,507 |
| 1926 | 0,025  | 0,014  | 5,432  | 8,753  | 3,541  | 0,559  | 0,566 | 0,482 | 0,287 | 0,171 | 0,091 | 0,051 | 19,972 |
| 1927 | 0,025  | 0,014  | 4,019  | 9,038  | 3,265  | 0,532  | 0,540 | 0,502 | 0,319 | 0,193 | 0,105 | 0,061 | 18,613 |
| 1928 | 0,033  | 0,017  | 0,013  | 7,273  | 1,426  | 0,284  | 0,284 | 0,201 | 0,116 | 0,068 | 0,033 | 0,013 | 9,761  |
| 1929 | 0,002  | 0,002  | 4,970  | 6,035  | 2,942  | 0,486  | 0,494 | 0,432 | 0,266 | 0,161 | 0,087 | 0,052 | 15,929 |
| 1930 | 0,028  | 0,022  | 0,019  | 2,676  | 0,119  | 0,781  | 0,153 | 0,142 | 0,084 | 0,047 | 0,021 | 0,005 | 4,097  |
| 1931 | 0,001  | 0,005  | 3,930  | 2,225  | 0,250  | 0,243  | 0,247 | 0,181 | 0,108 | 0,060 | 0,027 | 0,010 | 7,287  |
| 1932 | 0,001  | 0,000  | 2,161  | 0,089  | 0,095  | 0,086  | 0,065 | 0,036 | 0,016 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 2,553  |
| 1933 | 0,000  | 0,002  | 0,004  | 12,341 | 2,097  | 0,427  | 0,424 | 0,301 | 0,174 | 0,100 | 0,050 | 0,024 | 15,944 |
| 1934 | 0,019  | 1,909  | 13,009 | 9,384  | 13,749 | 0,562  | 0,571 | 0,508 | 0,311 | 0,186 | 0,105 | 0,067 | 40,380 |
| 1935 | 0,049  | 0,038  | 4,120  | 10,297 | 13,054 | 2,808  | 0,579 | 0,563 | 0,393 | 0,243 | 0,134 | 0,079 | 32,357 |
| 1936 | 0,045  | 0,024  | 0,025  | 0,028  | 0,026  | 0,029  | 0,033 | 0,019 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,233  |
| 1937 | 0,000  | 0,056  | 1,931  | 10,712 | 4,787  | 5,919  | 0,576 | 0,546 | 0,362 | 0,229 | 0,126 | 0,076 | 25,320 |
| 1938 | 0,049  | 0,042  | 11,217 | 23,747 | 1,454  | 0,785  | 0,574 | 0,518 | 0,322 | 0,196 | 0,116 | 0,071 | 39,091 |
| 1939 | 0,043  | 8,522  | 3,267  | 3,715  | 4,277  | 0,557  | 0,566 | 0,540 | 0,399 | 0,275 | 0,193 | 0,122 | 22,476 |
| 1940 | 0,077  | 0,062  | 0,071  | 11,582 | 8,535  | 1,229  | 0,575 | 0,557 | 0,390 | 0,238 | 0,130 | 0,076 | 23,522 |
| 1941 | 0,041  | 0,021  | 0,026  | 0,029  | 0,036  | 0,038  | 0,027 | 0,011 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,230  |
| 1942 | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 3,496  | 0,526  | 0,168  | 0,176 | 0,149 | 0,085 | 0,048 | 0,021 | 0,008 | 4,681  |
| 1943 | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 3,074  | 0,122  | 0,125  | 0,132 | 0,114 | 0,066 | 0,034 | 0,013 | 0,002 | 3,684  |
| 1944 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 2,523  | 2,343  | 0,393  | 0,224 | 0,202 | 0,120 | 0,070 | 0,035 | 0,015 | 5,925  |
| 1945 | 0,009  | 6,696  | 4,133  | 14,270 | 11,952 | 1,954  | 2,888 | 0,570 | 0,454 | 0,292 | 0,178 | 0,124 | 43,520 |

**TABELA II-4 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Catu, em hm<sup>3</sup>/mês**

|      |       |       |        |        |        |       |       |        |       |       |        |       |        |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 1946 | 0,099 | 0,091 | 3,488  | 5,678  | 0,628  | 0,432 | 0,440 | 0,378  | 0,226 | 0,135 | 0,071  | 0,038 | 11,704 |
| 1947 | 0,023 | 0,015 | 4,516  | 7,260  | 18,077 | 0,558 | 0,564 | 0,486  | 0,291 | 0,173 | 0,807  | 0,113 | 32,883 |
| 1948 | 0,113 | 0,086 | 0,077  | 0,080  | 2,602  | 1,111 | 0,225 | 0,217  | 0,140 | 0,082 | 0,040  | 0,018 | 4,791  |
| 1949 | 0,004 | 0,001 | 6,369  | 10,121 | 15,199 | 0,561 | 0,571 | 16,122 | 0,559 | 0,490 | 0,283  | 0,170 | 50,450 |
| 1950 | 0,110 | 0,089 | 10,760 | 2,184  | 0,546  | 0,517 | 0,449 | 0,286  | 0,165 | 0,097 | 0,055  | 0,031 | 15,289 |
| 1951 | 0,016 | 0,005 | 0,008  | 0,018  | 0,028  | 0,036 | 0,039 | 0,022  | 0,006 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,178  |
| 1952 | 0,002 | 0,785 | 8,656  | 2,577  | 0,422  | 0,400 | 0,347 | 0,221  | 0,126 | 0,070 | 0,033  | 0,014 | 13,653 |
| 1953 | 0,002 | 0,004 | 1,981  | 0,092  | 0,103  | 0,103 | 0,092 | 0,054  | 0,026 | 0,008 | 0,000  | 0,000 | 2,465  |
| 1954 | 0,001 | 0,004 | 0,011  | 0,085  | 0,036  | 0,036 | 0,022 | 0,007  | 0,000 | 0,000 | 34,032 | 0,168 | 34,402 |
| 1955 | 0,169 | 0,155 | 1,900  | 4,197  | 0,384  | 0,367 | 0,338 | 0,218  | 0,124 | 0,070 | 0,041  | 0,029 | 7,992  |
| 1956 | 0,019 | 0,019 | 3,281  | 0,147  | 0,154  | 0,137 | 0,096 | 0,058  | 0,029 | 0,011 | 0,001  | 0,000 | 3,952  |
| 1957 | 0,000 | 6,008 | 6,948  | 1,005  | 0,452  | 0,422 | 0,324 | 0,205  | 0,117 | 0,065 | 0,030  | 0,013 | 15,589 |
| 1958 | 0,001 | 0,000 | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,002  |
| 1959 | 0,003 | 0,006 | 2,061  | 2,666  | 0,193  | 0,187 | 0,162 | 0,100  | 0,053 | 0,025 | 0,007  | 0,000 | 5,463  |
| 1960 | 0,000 | 2,690 | 3,201  | 0,216  | 0,224  | 0,208 | 0,158 | 0,096  | 0,051 | 0,024 | 0,007  | 0,000 | 6,875  |
| 1961 | 3,238 | 3,486 | 11,338 | 2,940  | 0,575  | 0,543 | 0,475 | 0,304  | 0,181 | 0,105 | 0,056  | 0,031 | 23,272 |
| 1962 | 0,022 | 6,770 | 7,909  | 0,420  | 0,428  | 0,406 | 0,365 | 0,245  | 0,143 | 0,082 | 0,045  | 0,026 | 16,861 |
| 1963 | 1,666 | 7,548 | 6,650  | 1,835  | 0,569  | 0,539 | 0,496 | 0,323  | 0,188 | 0,111 | 0,084  | 5,461 | 25,470 |
| 1964 | 8,050 | 7,371 | 19,493 | 6,335  | 1,436  | 0,556 | 0,563 | 0,489  | 0,323 | 0,202 | 0,110  | 0,068 | 44,996 |
| 1965 | 0,042 | 0,023 | 7,737  | 3,198  | 5,315  | 4,176 | 0,572 | 0,497  | 0,321 | 0,199 | 0,109  | 0,068 | 22,257 |
| 1966 | 0,042 | 0,028 | 0,026  | 0,028  | 0,035  | 0,041 | 0,045 | 0,028  | 0,012 | 0,001 | 0,000  | 0,000 | 0,286  |
| 1967 | 0,001 | 4,776 | 8,353  | 3,350  | 0,573  | 0,545 | 0,546 | 0,398  | 0,237 | 0,141 | 0,073  | 0,042 | 19,035 |
| 1968 | 0,025 | 0,015 | 5,260  | 8,458  | 1,119  | 0,457 | 0,442 | 0,300  | 0,174 | 0,103 | 0,053  | 0,035 | 16,441 |
| 1969 | 0,026 | 0,019 | 4,482  | 3,463  | 0,326  | 0,314 | 0,309 | 0,216  | 0,125 | 0,071 | 0,035  | 0,022 | 9,408  |
| 1970 | 0,028 | 3,103 | 16,476 | 2,314  | 0,442  | 0,418 | 0,353 | 0,223  | 0,128 | 0,074 | 0,036  | 0,018 | 23,613 |
| 1971 | 0,010 | 0,010 | 3,481  | 3,728  | 3,112  | 2,438 | 0,478 | 0,455  | 0,328 | 0,218 | 0,121  | 0,070 | 14,449 |
| 1972 | 0,044 | 0,034 | 0,033  | 0,830  | 0,260  | 0,103 | 0,110 | 0,095  | 0,051 | 0,024 | 0,007  | 0,002 | 1,593  |
| 1973 | 1,050 | 6,750 | 9,838  | 8,395  | 4,239  | 1,166 | 0,979 | 0,568  | 0,411 | 0,251 | 0,139  | 2,582 | 36,368 |
| 1974 | 3,906 | 9,773 | 20,148 | 8,984  | 5,400  | 0,556 | 0,565 | 0,546  | 0,395 | 0,253 | 0,163  | 0,128 | 50,817 |
| 1975 | 0,109 | 1,501 | 4,734  | 8,822  | 2,506  | 3,749 | 0,576 | 0,551  | 0,366 | 0,224 | 0,145  | 0,101 | 23,384 |
| 1976 | 0,079 | 2,435 | 3,817  | 0,315  | 0,326  | 0,312 | 0,282 | 0,182  | 0,119 | 0,088 | 0,048  | 0,027 | 8,030  |
| 1977 | 0,026 | 7,074 | 1,940  | 5,769  | 6,932  | 6,733 | 0,579 | 0,566  | 0,439 | 0,279 | 0,159  | 0,099 | 30,595 |
| 1978 | 0,068 | 0,060 | 0,072  | 3,790  | 0,720  | 0,232 | 0,242 | 0,231  | 0,150 | 0,090 | 0,051  | 0,028 | 5,734  |
| 1979 | 0,014 | 0,727 | 0,049  | 3,319  | 0,635  | 0,206 | 0,207 | 0,171  | 0,110 | 0,063 | 0,030  | 0,016 | 5,547  |
| 1980 | 7,609 | 1,672 | 0,305  | 0,291  | 0,295  | 0,244 | 0,175 | 0,118  | 0,069 | 0,040 | 0,017  | 0,005 | 10,840 |
| 1981 | 0,002 | 2,677 | 1,451  | 0,159  | 0,166  | 0,135 | 0,091 | 0,054  | 0,026 | 0,008 | 0,000  | 0,001 | 4,770  |

**TABELA II-4 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Catu, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1982            | 0,001        | 0,006        | 0,013        | 2,054        | 0,111        | 0,112        | 0,110        | 0,073        | 0,039        | 0,018        | 0,004        | 0,000        | 2,541         |
| 1983            | 0,001        | 0,006        | 0,014        | 0,020        | 0,025        | 0,018        | 0,008        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,092         |
| 1984            | 0,000        | 2,511        | 7,790        | 9,992        | 6,172        | 0,559        | 0,569        | 0,556        | 0,450        | 0,293        | 0,170        | 0,119        | 29,181        |
| 1985            | 5,003        | 6,189        | 16,556       | 8,368        | 3,336        | 1,853        | 0,576        | 0,544        | 0,357        | 0,218        | 0,128        | 0,108        | 43,236        |
| 1986            | 0,698        | 7,202        | 17,456       | 7,172        | 6,558        | 1,513        | 0,570        | 0,506        | 0,322        | 0,213        | 0,135        | 0,114        | 42,459        |
| 1987            | 0,113        | 1,986        | 1,904        | 0,243        | 0,848        | 0,270        | 0,278        | 0,257        | 0,169        | 0,107        | 0,059        | 0,033        | 6,267         |
| 1988            | 0,030        | 0,031        | 7,809        | 5,320        | 0,505        | 0,482        | 0,489        | 0,448        | 0,293        | 0,193        | 0,119        | 0,101        | 15,820        |
| 1989            | 0,082        | 0,055        | 3,739        | 2,392        | 2,339        | 2,808        | 0,505        | 0,495        | 0,402        | 0,258        | 0,153        | 0,133        | 13,361        |
| 1990            | 0,091        | 0,072        | 0,075        | 2,279        | 0,156        | 0,151        | 0,138        | 0,093        | 0,058        | 0,032        | 0,013        | 0,001        | 3,159         |
| 1991            | 0,001        | 1,337        | 5,672        | 1,698        | 0,326        | 0,314        | 0,301        | 0,211        | 0,128        | 0,081        | 0,040        | 0,017        | 10,126        |
| 1992            | 0,010        | 0,009        | 0,011        | 0,015        | 0,012        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,060         |
| 1993            | 0,000        | 0,001        | 0,003        | 0,008        | 0,011        | 0,009        | 0,011        | 0,004        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,001        | 0,048         |
| 1994            | 0,001        | 0,005        | 4,556        | 5,085        | 5,614        | 0,653        | 0,568        | 0,520        | 0,342        | 0,214        | 0,120        | 0,100        | 17,778        |
| 1995            | 0,094        | 0,087        | 11,455       | 6,466        | 0,947        | 1,049        | 0,572        | 0,524        | 0,344        | 0,215        | 0,119        | 0,078        | 21,950        |
| 1996            | 0,075        | 7,017        | 15,782       | 5,560        | 0,573        | 0,543        | 0,523        | 0,374        | 0,234        | 0,149        | 0,081        | 0,043        | 30,954        |
| <b>media</b>    | <b>0,522</b> | <b>1,735</b> | <b>5,149</b> | <b>5,489</b> | <b>3,650</b> | <b>1,227</b> | <b>0,400</b> | <b>0,497</b> | <b>0,214</b> | <b>0,136</b> | <b>0,486</b> | <b>0,145</b> | <b>19,650</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>1,769</b> | <b>2,814</b> | <b>6,016</b> | <b>5,801</b> | <b>5,462</b> | <b>2,157</b> | <b>0,354</b> | <b>1,727</b> | <b>0,159</b> | <b>0,112</b> | <b>3,683</b> | <b>0,647</b> | <b>18,970</b> |

TABELA II-5 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Malcozinhado, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO  | MESES  |        |         |         |        |        |        |       |       |       |       |       | ANUAL   |
|------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|      | JAN    | FEV    | MAR     | ABR     | MAI    | JUN    | JUL    | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |         |
| 1912 | 0,000  | 39,309 | 45,238  | 107,125 | 62,848 | 40,261 | 2,134  | 2,083 | 1,731 | 1,269 | 0,718 | 0,437 | 303,153 |
| 1913 | 0,267  | 20,140 | 107,644 | 87,872  | 51,374 | 25,980 | 2,160  | 2,117 | 1,722 | 1,312 | 0,897 | 0,541 | 302,026 |
| 1914 | 0,331  | 8,656  | 16,470  | 68,060  | 76,843 | 38,813 | 3,514  | 2,132 | 2,018 | 1,568 | 0,946 | 0,625 | 219,976 |
| 1915 | 0,353  | 0,254  | 0,290   | 0,274   | 0,289  | 0,221  | 0,134  | 0,062 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,889   |
| 1916 | 0,001  | 0,023  | 5,364   | 27,990  | 16,405 | 1,604  | 1,637  | 1,483 | 0,946 | 0,570 | 0,312 | 0,183 | 56,518  |
| 1917 | 38,675 | 24,291 | 78,808  | 56,979  | 88,956 | 9,657  | 2,141  | 1,970 | 1,233 | 0,737 | 0,409 | 0,262 | 304,118 |
| 1918 | 0,175  | 0,137  | 9,917   | 27,149  | 30,030 | 9,773  | 2,134  | 2,080 | 1,536 | 0,926 | 0,504 | 0,285 | 84,646  |
| 1919 | 0,193  | 0,111  | 0,116   | 0,113   | 0,096  | 0,066  | 0,048  | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,759   |
| 1920 | 0,000  | 0,001  | 16,668  | 54,490  | 33,833 | 6,710  | 2,133  | 2,089 | 1,622 | 1,040 | 0,617 | 0,428 | 119,631 |
| 1921 | 0,399  | 15,839 | 84,916  | 62,902  | 74,245 | 9,953  | 2,130  | 2,093 | 1,827 | 1,390 | 0,904 | 0,791 | 257,389 |
| 1922 | 0,636  | 0,474  | 0,498   | 18,520  | 39,394 | 14,388 | 4,538  | 2,155 | 1,994 | 1,386 | 0,774 | 0,535 | 85,292  |
| 1923 | 0,360  | 0,244  | 14,002  | 25,229  | 12,018 | 2,111  | 2,015  | 1,955 | 1,359 | 0,831 | 0,469 | 0,295 | 60,888  |
| 1924 | 0,156  | 9,823  | 34,593  | 30,963  | 57,419 | 36,995 | 3,402  | 2,086 | 1,422 | 0,857 | 0,485 | 0,302 | 178,503 |
| 1925 | 0,229  | 0,194  | 0,550   | 35,983  | 8,361  | 1,790  | 1,791  | 1,303 | 0,798 | 0,516 | 0,279 | 0,158 | 51,952  |
| 1926 | 0,089  | 0,056  | 26,823  | 40,298  | 68,984 | 2,864  | 2,127  | 1,839 | 1,102 | 0,664 | 0,356 | 0,203 | 145,405 |
| 1927 | 0,100  | 0,049  | 0,237   | 38,945  | 17,177 | 1,952  | 1,982  | 1,874 | 1,218 | 0,731 | 0,397 | 0,224 | 64,886  |
| 1928 | 0,142  | 0,119  | 0,100   | 29,720  | 6,494  | 1,049  | 1,021  | 0,685 | 0,394 | 0,230 | 0,109 | 0,040 | 40,103  |
| 1929 | 0,004  | 0,003  | 25,170  | 22,540  | 11,064 | 1,920  | 1,948  | 1,703 | 1,050 | 0,638 | 0,347 | 0,207 | 66,594  |
| 1930 | 0,113  | 0,089  | 0,078   | 9,965   | 0,448  | 2,911  | 0,575  | 0,534 | 0,315 | 0,176 | 0,079 | 0,021 | 15,304  |
| 1931 | 0,005  | 0,017  | 14,624  | 8,280   | 0,931  | 0,906  | 0,918  | 0,675 | 0,402 | 0,229 | 0,104 | 0,042 | 27,133  |
| 1932 | 0,007  | 0,001  | 8,532   | 0,320   | 0,342  | 0,321  | 0,267  | 0,152 | 0,074 | 0,027 | 0,000 | 0,000 | 10,043  |
| 1933 | 0,001  | 0,012  | 1,686   | 55,604  | 2,541  | 1,897  | 1,859  | 1,286 | 0,752 | 0,439 | 0,227 | 0,121 | 66,425  |
| 1934 | 0,074  | 13,642 | 61,057  | 26,350  | 57,592 | 11,247 | 2,136  | 1,895 | 1,188 | 0,722 | 0,426 | 0,281 | 176,610 |
| 1935 | 0,216  | 15,198 | 12,777  | 54,731  | 46,457 | 10,777 | 2,143  | 2,090 | 1,485 | 0,913 | 0,506 | 0,303 | 147,596 |
| 1936 | 0,169  | 0,093  | 0,102   | 0,104   | 0,099  | 0,109  | 0,131  | 0,099 | 0,034 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,941   |
| 1937 | 0,000  | 2,774  | 7,017   | 47,030  | 34,190 | 23,647 | 2,143  | 2,043 | 1,389 | 0,884 | 0,486 | 0,312 | 121,915 |
| 1938 | 0,229  | 0,197  | 20,179  | 74,369  | 2,988  | 2,233  | 2,132  | 1,967 | 1,236 | 0,745 | 0,431 | 0,252 | 106,958 |
| 1939 | 0,158  | 38,350 | 20,220  | 10,640  | 10,302 | 2,068  | 2,087  | 1,900 | 1,276 | 0,879 | 0,621 | 0,401 | 88,902  |
| 1940 | 0,258  | 0,210  | 0,238   | 26,440  | 23,782 | 10,367 | 2,139  | 2,016 | 1,326 | 0,812 | 0,441 | 0,270 | 68,299  |
| 1941 | 0,146  | 0,074  | 0,095   | 0,120   | 0,157  | 0,171  | 0,141  | 0,068 | 0,024 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,997   |
| 1942 | 0,000  | 0,001  | 0,004   | 0,021   | 0,050  | 0,070  | 0,061  | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,223   |
| 1943 | 0,000  | 0,003  | 0,003   | 18,109  | 0,696  | 0,681  | 0,678  | 0,474 | 0,262 | 0,135 | 0,054 | 0,010 | 21,105  |
| 1944 | 0,001  | 0,001  | 9,421   | 19,126  | 12,587 | 1,527  | 1,556  | 1,356 | 0,810 | 0,481 | 0,252 | 0,135 | 47,253  |
| 1945 | 0,102  | 21,593 | 15,744  | 32,650  | 52,944 | 26,556 | 12,604 | 2,120 | 1,592 | 1,034 | 0,597 | 0,380 | 167,916 |

TABELA II-5 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Malcozinhado, em hm<sup>3</sup>/mês

|      |        |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |       |         |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1946 | 0,258  | 0,216  | 13,747 | 16,307 | 2,583  | 1,475  | 1,497  | 1,339 | 0,816 | 0,487 | 0,253 | 0,136 | 39,114  |
| 1947 | 0,086  | 0,058  | 16,804 | 27,016 | 67,294 | 2,076  | 2,100  | 1,809 | 1,081 | 0,643 | 3,003 | 0,420 | 122,390 |
| 1948 | 0,418  | 0,362  | 6,427  | 6,258  | 15,087 | 1,777  | 1,416  | 1,340 | 0,857 | 0,510 | 0,272 | 0,148 | 34,872  |
| 1949 | 0,065  | 0,030  | 26,103 | 32,362 | 63,436 | 2,636  | 2,136  | 2,092 | 1,984 | 1,699 | 0,965 | 0,581 | 134,089 |
| 1950 | 0,349  | 0,279  | 13,680 | 41,297 | 33,275 | 2,083  | 2,111  | 1,809 | 1,093 | 0,697 | 0,391 | 0,230 | 97,294  |
| 1951 | 0,122  | 0,061  | 0,032  | 2,677  | 2,816  | 0,328  | 0,370  | 0,360 | 0,213 | 0,107 | 0,040 | 0,004 | 7,130   |
| 1952 | 0,000  | 0,000  | 3,814  | 27,480 | 10,137 | 1,445  | 1,464  | 1,114 | 0,646 | 0,372 | 0,186 | 0,094 | 46,752  |
| 1953 | 0,046  | 0,020  | 3,135  | 19,503 | 4,546  | 1,045  | 1,048  | 0,750 | 0,427 | 0,236 | 0,109 | 0,043 | 30,908  |
| 1954 | 0,006  | 0,003  | 4,634  | 9,057  | 8,204  | 0,960  | 0,990  | 0,868 | 0,509 | 0,287 | 0,137 | 5,907 | 31,562  |
| 1955 | 0,271  | 3,468  | 0,501  | 33,301 | 51,813 | 2,085  | 2,118  | 1,915 | 1,178 | 0,714 | 0,431 | 0,301 | 98,096  |
| 1956 | 0,229  | 0,187  | 5,795  | 27,884 | 1,371  | 1,322  | 1,344  | 1,091 | 0,660 | 0,385 | 0,194 | 0,097 | 40,559  |
| 1957 | 0,052  | 0,040  | 54,218 | 86,516 | 2,516  | 2,065  | 2,088  | 1,674 | 1,056 | 0,706 | 0,424 | 0,259 | 151,614 |
| 1958 | 0,145  | 0,071  | 0,045  | 0,040  | 0,057  | 0,064  | 0,053  | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,488   |
| 1959 | 0,000  | 0,016  | 33,490 | 16,103 | 12,858 | 2,019  | 2,046  | 1,721 | 1,027 | 0,619 | 0,337 | 0,194 | 70,430  |
| 1960 | 0,098  | 0,037  | 38,613 | 15,941 | 3,966  | 1,826  | 1,769  | 1,253 | 0,750 | 0,445 | 0,244 | 0,137 | 65,079  |
| 1961 | 0,072  | 17,340 | 24,172 | 81,648 | 12,072 | 3,435  | 2,121  | 1,888 | 1,149 | 0,690 | 0,370 | 0,213 | 145,170 |
| 1962 | 0,118  | 0,071  | 8,066  | 19,822 | 1,625  | 1,098  | 1,124  | 0,921 | 0,548 | 0,323 | 0,162 | 0,087 | 33,965  |
| 1963 | 0,040  | 5,297  | 58,382 | 49,887 | 49,609 | 2,063  | 2,081  | 1,629 | 0,960 | 0,568 | 0,303 | 0,223 | 171,042 |
| 1964 | 17,345 | 23,791 | 32,980 | 84,452 | 37,563 | 2,089  | 2,131  | 2,087 | 1,591 | 1,036 | 0,578 | 0,338 | 205,981 |
| 1965 | 0,193  | 0,121  | 0,092  | 27,276 | 22,245 | 28,634 | 3,082  | 2,121 | 1,564 | 0,979 | 0,543 | 0,317 | 87,167  |
| 1966 | 0,173  | 0,097  | 0,087  | 0,066  | 0,075  | 0,089  | 0,112  | 0,105 | 0,042 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,851   |
| 1967 | 0,000  | 0,003  | 28,094 | 20,986 | 12,717 | 2,082  | 2,112  | 1,928 | 1,199 | 0,723 | 0,392 | 0,217 | 70,453  |
| 1968 | 0,139  | 0,126  | 12,468 | 13,267 | 24,885 | 2,039  | 2,066  | 1,759 | 1,049 | 0,626 | 0,343 | 0,202 | 58,969  |
| 1969 | 0,130  | 0,090  | 0,094  | 23,524 | 8,483  | 3,615  | 2,268  | 1,385 | 1,218 | 0,787 | 0,444 | 0,262 | 42,300  |
| 1970 | 0,167  | 0,136  | 0,139  | 21,950 | 0,925  | 0,898  | 0,912  | 0,680 | 0,388 | 0,213 | 0,096 | 0,033 | 26,537  |
| 1971 | 0,002  | 0,008  | 0,035  | 13,290 | 25,044 | 11,840 | 3,860  | 2,003 | 1,648 | 1,067 | 0,634 | 0,385 | 59,816  |
| 1972 | 0,218  | 0,127  | 0,125  | 0,112  | 3,935  | 1,395  | 0,453  | 0,453 | 0,301 | 0,160 | 0,065 | 0,012 | 7,356   |
| 1973 | 0,000  | 7,299  | 25,212 | 53,504 | 20,787 | 30,924 | 2,159  | 2,126 | 1,896 | 1,284 | 0,727 | 0,436 | 146,354 |
| 1974 | 14,596 | 18,524 | 42,708 | 81,736 | 34,097 | 5,512  | 2,133  | 2,080 | 1,571 | 1,088 | 0,646 | 0,456 | 205,147 |
| 1975 | 0,374  | 0,314  | 7,272  | 22,011 | 18,336 | 7,414  | 5,108  | 2,144 | 1,942 | 1,307 | 0,739 | 0,537 | 67,498  |
| 1976 | 0,374  | 0,262  | 5,001  | 12,107 | 0,959  | 0,926  | 0,868  | 0,580 | 0,340 | 0,193 | 0,093 | 0,034 | 21,737  |
| 1977 | 0,002  | 0,014  | 18,206 | 13,710 | 14,042 | 18,654 | 11,244 | 2,135 | 1,822 | 1,244 | 0,743 | 0,449 | 82,265  |
| 1978 | 0,271  | 0,163  | 0,188  | 6,544  | 15,205 | 1,482  | 1,110  | 1,104 | 0,922 | 0,568 | 0,322 | 0,208 | 28,087  |
| 1979 | 0,116  | 0,054  | 0,054  | 0,072  | 0,095  | 0,117  | 0,130  | 0,076 | 0,041 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,762   |
| 1980 | 0,001  | 13,692 | 16,955 | 0,966  | 0,986  | 0,895  | 0,662  | 0,409 | 0,229 | 0,122 | 0,046 | 0,005 | 34,968  |
| 1981 | 0,000  | 0,000  | 15,253 | 3,424  | 0,736  | 0,715  | 0,649  | 0,405 | 0,219 | 0,107 | 0,033 | 0,002 | 21,543  |

**TABELA II-5 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Malcozinhado, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |              |              |               |               |               |               |              |              |              |              |              |              |               |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1982            | 0,004        | 0,003        | 0,012         | 0,033         | 0,063         | 0,085         | 0,087        | 0,038        | 0,003        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,328         |
| 1983            | 0,000        | 0,006        | 0,037         | 4,879         | 0,273         | 0,278         | 0,249        | 0,140        | 0,058        | 0,011        | 0,000        | 0,000        | 5,931         |
| 1984            | 0,000        | 0,004        | 9,420         | 25,333        | 27,348        | 14,570        | 2,153        | 2,115        | 1,914        | 1,284        | 0,785        | 0,486        | 85,412        |
| 1985            | 0,302        | 39,150       | 34,999        | 75,638        | 39,031        | 8,213         | 6,451        | 2,136        | 1,794        | 1,114        | 0,620        | 0,391        | 209,839       |
| 1986            | 0,336        | 0,254        | 38,567        | 57,009        | 50,177        | 22,507        | 5,282        | 2,113        | 1,533        | 0,957        | 0,563        | 0,443        | 179,741       |
| 1987            | 0,427        | 0,288        | 9,017         | 5,100         | 0,826         | 1,588         | 0,869        | 0,862        | 0,627        | 0,378        | 0,206        | 0,107        | 20,295        |
| 1988            | 0,042        | 0,042        | 0,068         | 36,399        | 38,270        | 2,078         | 2,106        | 2,018        | 1,525        | 0,978        | 0,552        | 0,344        | 84,422        |
| 1989            | 0,229        | 0,158        | 0,113         | 29,040        | 18,099        | 22,193        | 24,028       | 2,134        | 1,968        | 1,412        | 0,819        | 0,494        | 100,687       |
| 1990            | 0,445        | 0,356        | 0,338         | 0,328         | 0,354         | 0,365         | 0,382        | 0,298        | 0,168        | 0,089        | 0,026        | 0,000        | 3,149         |
| 1991            | 0,000        | 0,000        | 0,462         | 13,136        | 3,551         | 0,831         | 0,860        | 0,772        | 0,482        | 0,283        | 0,142        | 0,058        | 20,577        |
| 1992            | 0,008        | 0,010        | 4,121         | 10,420        | 0,593         | 0,582         | 0,547        | 0,366        | 0,208        | 0,107        | 0,035        | 0,001        | 16,998        |
| 1993            | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,006         | 0,004         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,010         |
| 1994            | 0,000        | 0,004        | 12,503        | 24,228        | 22,847        | 56,954        | 3,856        | 2,119        | 1,772        | 1,149        | 0,654        | 0,376        | 126,462       |
| 1995            | 0,298        | 0,280        | 4,698         | 35,346        | 20,203        | 10,743        | 2,154        | 2,116        | 1,815        | 1,178        | 0,676        | 0,392        | 79,899        |
| 1996            | 0,252        | 0,223        | 16,587        | 51,739        | 7,080         | 4,602         | 2,118        | 1,995        | 1,342        | 0,847        | 0,491        | 0,281        | 87,557        |
| <b>media</b>    | <b>0,970</b> | <b>4,060</b> | <b>15,138</b> | <b>28,232</b> | <b>20,177</b> | <b>7,015</b>  | <b>2,219</b> | <b>1,351</b> | <b>0,968</b> | <b>0,623</b> | <b>0,383</b> | <b>0,287</b> | <b>78,784</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>4,797</b> | <b>9,095</b> | <b>20,767</b> | <b>25,353</b> | <b>22,658</b> | <b>11,076</b> | <b>3,107</b> | <b>0,773</b> | <b>0,639</b> | <b>0,453</b> | <b>0,397</b> | <b>0,644</b> | <b>71,605</b> |



**TABELA II-6 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Orós, em hm<sup>3</sup>/mês**

|      |        |         |          |          |         |         |        |        |        |        |        |         |          |
|------|--------|---------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|
| 1946 | 31,454 | 39,247  | 51,559   | 84,133   | 12,971  | 12,552  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 231,916  |
| 1947 | 10,733 | 410,047 | 726,370  | 2080,572 | 10,669  | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 40,858 | 73,118 | 804,195 | 4156,562 |
| 1948 | 0,000  | 0,000   | 632,331  | 80,963   | 62,682  | 1,255   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 777,231  |
| 1949 | 0,000  | 10,046  | 72,637   | 237,242  | 23,866  | 0,417   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 344,208  |
| 1950 | 0,555  | 1,892   | 58,693   | 1409,015 | 166,027 | 13,337  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 1649,519 |
| 1951 | 0,000  | 0,000   | 0,000    | 92,574   | 0,710   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 93,284   |
| 1952 | 24,547 | 26,097  | 14,171   | 63,704   | 2,876   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 11,933  | 143,328  |
| 1953 | 0,000  | 0,000   | 14,495   | 103,244  | 0,587   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 118,326  |
| 1954 | 0,000  | 6,883   | 43,128   | 29,216   | 0,837   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 2,383   | 82,447   |
| 1955 | 7,523  | 62,972  | 392,369  | 284,627  | 6,875   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 754,366  |
| 1956 | 0,000  | 322,180 | 267,200  | 508,375  | 69,070  | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 3,729  | 0,000  | 0,000   | 1170,554 |
| 1957 | 0,000  | 30,754  | 252,932  | 721,767  | 13,652  | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 1019,105 |
| 1958 | 0,000  | 0,000   | 11,998   | 0,000    | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 11,998   |
| 1959 | 23,412 | 59,457  | 134,897  | 39,540   | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 257,306  |
| 1960 | 0,000  | 0,000   | 1942,066 | 615,730  | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 2557,796 |
| 1961 | 0,000  | 111,591 | 301,897  | 241,321  | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 654,809  |
| 1962 | 0,000  | 16,050  | 145,922  | 144,353  | 30,190  | 7,720   | 2,319  | 1,508  | 1,431  | 1,664  | 1,651  | 0,000   | 352,808  |
| 1963 | 0,000  | 165,776 | 736,098  | 192,680  | 21,856  | 6,433   | 3,470  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 62,909  | 1189,222 |
| 1964 | 53,505 | 90,796  | 512,350  | 1023,026 | 428,039 | 306,249 | 49,160 | 38,264 | 26,486 | 19,943 | 0,000  | 0,000   | 2547,818 |
| 1965 | 0,000  | 1,992   | 29,152   | 643,314  | 267,525 | 20,963  | 7,393  | 2,192  | 0,289  | 0,785  | 0,110  | 0,000   | 973,715  |
| 1966 | 0,000  | 310,464 | 33,400   | 28,149   | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 372,013  |
| 1967 | 0,000  | 57,992  | 168,946  | 815,911  | 366,428 | 26,329  | 5,837  | 1,115  | 0,304  | 0,126  | 0,113  | 0,146   | 1443,247 |
| 1968 | 2,876  | 4,569   | 616,117  | 139,019  | 194,239 | 22,281  | 8,917  | 2,675  | 0,772  | 0,600  | 0,370  | 0,224   | 992,659  |
| 1969 | 60,639 | 25,804  | 353,457  | 429,922  | 96,633  | 28,933  | 4,572  | 1,125  | 0,474  | 0,289  | 0,151  | 0,143   | 1002,142 |
| 1970 | 7,004  | 1,743   | 150,462  | 5,994    | 1,417   | 0,254   | 0,178  | 0,175  | 0,138  | 0,107  | 0,000  | 0,000   | 167,472  |
| 1971 | 7,426  | 38,955  | 22,894   | 68,725   | 34,373  | 1,817   | 0,383  | 0,146  | 0,028  | 0,010  | 0,003  | 0,000   | 174,760  |
| 1972 | 15,987 | 2,601   | 3,664    | 0,370    | 0,006   | 0,006   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 22,634   |
| 1973 | 29,865 | 8,699   | 36,643   | 693,524  | 183,538 | 22,343  | 15,273 | 6,129  | 0,872  | 0,162  | 0,044  | 0,055   | 997,147  |
| 1974 | 52,208 | 497,915 | 1741,342 | 3417,410 | 713,399 | 139,019 | 12,095 | 3,794  | 1,274  | 0,315  | 0,116  | 0,126   | 6579,013 |
| 1975 | 5,318  | 12,096  | 512,350  | 181,697  | 179,323 | 36,716  | 25,391 | 7,264  | 2,849  | 1,424  | 1,014  | 1,291   | 966,733  |
| 1976 | 1,433  | 177,492 | 509,107  | 141,529  | 14,106  | 5,429   | 1,861  | 1,346  | 0,876  | 0,908  | 0,763  | 0,927   | 855,777  |
| 1977 | 8,366  | 59,457  | 376,156  | 461,303  | 231,206 | 31,381  | 10,733 | 3,697  | 1,494  | 0,872  | 0,624  | 0,447   | 1185,736 |
| 1978 | 47,668 | 70,001  | 90,796   | 47,386   | 140,410 | 16,004  | 9,631  | 3,567  | 0,719  | 0,752  | 0,515  | 0,613   | 428,062  |
| 1979 | 16,084 | 7,381   | 15,306   | 9,101    | 74,907  | 2,827   | 0,139  | 0,045  | 0,326  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 126,116  |
| 1980 | 23,607 | 285,862 | 236,070  | 25,011   | 11,609  | 0,901   | 0,480  | 0,221  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000   | 583,761  |
| 1981 | 2,111  | 3,368   | 736,098  | 724,905  | 4,961   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,347   | 1471,790 |

**TABELA II-6 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Orós, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |                |                |                |                |                |               |               |              |              |              |              |               |                 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| 1982            | 0,999          | 13,737         | 23,056         | 95,085         | 16,927         | 0,888         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 150,692         |
| 1983            | 0,000          | 0,000          | 0,230          | 1,227          | 0,000          | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 1,457           |
| 1984            | 0,000          | 0,000          | 31,649         | 602,519        | 88,526         | 13,368        | 1,894         | 0,075        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 738,031         |
| 1985            | 43,128         | 618,000        | 937,147        | 3031,422       | 1384,642       | 105,441       | 42,155        | 5,513        | 1,569        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 6169,017        |
| 1986            | 0,000          | 0,000          | 489,651        | 966,540        | 509,107        | 112,972       | 19,456        | 11,350       | 3,138        | 4,864        | 1,883        | 3,243         | 2122,204        |
| 1987            | 5,707          | 11,716         | 211,101        | 480,132        | 41,507         | 6,276         | 1,621         | 0,162        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 758,222         |
| 1988            | 0,000          | 0,000          | 131,006        | 520,928        | 148,841        | 25,293        | 6,485         | 0,162        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 832,715         |
| 1989            | 0,000          | 0,000          | 196,833        | 2108,815       | 972,817        | 141,529       | 47,992        | 24,223       | 3,138        | 0,000        | 0,000        | 296,709       | 3792,056        |
| 1990            | 102,470        | 25,569         | 129,709        | 124,269        | 51,884         | 10,952        | 5,318         | 1,641        | 0,019        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 451,831         |
| 1991            | 7,102          | 5,213          | 22,991         | 128,663        | 46,695         | 17,762        | 0,807         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 229,233         |
| 1992            | 0,000          | 97,240         | 75,880         | 112,658        | 3,372          | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 289,150         |
| 1993            | 0,000          | 0,000          | 6,226          | 57,114         | 117,387        | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 180,727         |
| 1994            | 0,000          | 0,000          | 0,254          | 0,492          | 2,032          | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 2,778           |
| 1995            | 0,508          | 0,229          | 260,121        | 813,943        | 139,205        | 56,541        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 1270,547        |
| 1996            | 0,000          | 0,000          | 1,016          | 159,544        | 343,187        | 15,241        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 518,988         |
| <b>media</b>    | <b>28,849</b>  | <b>118,098</b> | <b>321,385</b> | <b>435,449</b> | <b>131,346</b> | <b>25,664</b> | <b>5,406</b>  | <b>1,461</b> | <b>0,543</b> | <b>0,911</b> | <b>0,947</b> | <b>17,870</b> | <b>1087,930</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>100,422</b> | <b>239,706</b> | <b>431,201</b> | <b>710,849</b> | <b>230,112</b> | <b>54,312</b> | <b>13,241</b> | <b>5,166</b> | <b>2,919</b> | <b>4,931</b> | <b>7,927</b> | <b>94,770</b> | <b>1384,294</b> |

TABELA II-7 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pacajus, em hm<sup>3</sup>/mês

| ANO  | MESES  |         |          |          |          |         |         |        |       |       |       |       | ANUAL    |
|------|--------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|
|      | JAN    | FEV     | MAR      | ABR      | MAI      | JUN     | JUL     | AGO    | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |          |
| 1912 | 0,014  | 174,070 | 162,767  | 159,656  | 251,998  | 96,231  | 22,392  | 3,379  | 1,317 | 0,260 | 0,000 | 0,000 | 872,084  |
| 1913 | 0,046  | 5,878   | 147,617  | 284,710  | 122,774  | 39,792  | 38,442  | 10,466 | 1,937 | 0,721 | 0,057 | 0,030 | 652,470  |
| 1914 | 0,094  | 0,540   | 43,416   | 92,257   | 253,264  | 91,160  | 33,419  | 5,418  | 3,058 | 1,003 | 0,041 | 0,000 | 523,670  |
| 1915 | 0,000  | 0,000   | 0,000    | 0,039    | 0,003    | 0,003   | 0,000   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,016 | 0,061    |
| 1916 | 0,063  | 0,121   | 4,337    | 138,635  | 232,212  | 29,115  | 12,030  | 2,821  | 0,829 | 0,032 | 0,000 | 0,000 | 420,195  |
| 1917 | 2,976  | 278,817 | 1020,796 | 120,789  | 932,292  | 116,876 | 75,663  | 11,976 | 1,436 | 0,235 | 0,000 | 0,003 | 2561,859 |
| 1918 | 0,003  | 0,081   | 0,146    | 58,163   | 5,849    | 3,833   | 2,661   | 1,793  | 0,541 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 73,076   |
| 1919 | 0,447  | 0,007   | 0,000    | 0,000    | 0,015    | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,469    |
| 1920 | 0,000  | 0,000   | 161,146  | 78,671   | 38,286   | 30,519  | 6,829   | 4,722  | 2,130 | 0,583 | 0,000 | 0,009 | 322,895  |
| 1921 | 0,030  | 52,514  | 754,799  | 706,173  | 1554,915 | 96,621  | 85,642  | 43,945 | 3,194 | 1,073 | 0,086 | 0,000 | 3298,992 |
| 1922 | 0,000  | 0,000   | 0,164    | 466,383  | 407,640  | 71,677  | 70,057  | 23,515 | 3,423 | 1,250 | 0,089 | 0,011 | 1044,209 |
| 1923 | 0,011  | 77,433  | 38,824   | 152,322  | 29,985   | 15,930  | 1,765   | 1,148  | 0,104 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 317,525  |
| 1924 | 46,515 | 116,048 | 773,252  | 1542,135 | 424,575  | 176,666 | 82,720  | 21,368 | 1,721 | 0,378 | 0,000 | 0,000 | 3185,378 |
| 1925 | 0,007  | 0,027   | 315,200  | 529,413  | 78,838   | 51,808  | 6,386   | 0,285  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 981,964  |
| 1926 | 0,000  | 0,050   | 544,050  | 503,735  | 341,985  | 70,814  | 20,974  | 2,234  | 0,530 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 1484,373 |
| 1927 | 0,001  | 0,017   | 0,493    | 81,141   | 105,521  | 16,760  | 2,980   | 1,520  | 0,230 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 208,663  |
| 1928 | 0,000  | 0,000   | 0,060    | 1,940    | 168,036  | 2,145   | 0,802   | 0,061  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 173,044  |
| 1929 | 0,005  | 0,186   | 132,656  | 196,007  | 38,876   | 18,005  | 5,225   | 3,524  | 1,293 | 0,211 | 0,000 | 0,000 | 395,988  |
| 1930 | 0,030  | 0,015   | 0,005    | 0,379    | 0,012    | 0,042   | 0,000   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,483    |
| 1931 | 0,024  | 0,051   | 14,377   | 2,440    | 1,374    | 0,818   | 0,240   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 19,324   |
| 1932 | 0,005  | 0,003   | 0,143    | 0,009    | 0,000    | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,160    |
| 1933 | 0,005  | 0,027   | 1,179    | 578,092  | 56,030   | 22,315  | 0,474   | 0,001  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 658,123  |
| 1934 | 0,000  | 0,037   | 311,300  | 129,657  | 415,348  | 73,093  | 37,074  | 2,405  | 0,613 | 0,004 | 0,000 | 0,018 | 969,549  |
| 1935 | 0,000  | 0,091   | 49,238   | 241,871  | 186,723  | 62,671  | 46,134  | 8,353  | 1,669 | 0,304 | 0,000 | 0,000 | 597,054  |
| 1936 | 0,000  | 0,062   | 0,904    | 0,070    | 0,400    | 1,497   | 1,402   | 0,035  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 4,370    |
| 1937 | 0,000  | 0,141   | 1,098    | 224,127  | 239,294  | 151,881 | 43,584  | 5,392  | 1,783 | 0,531 | 0,000 | 0,000 | 667,831  |
| 1938 | 0,032  | 0,000   | 234,707  | 441,617  | 108,660  | 59,924  | 20,147  | 2,976  | 1,017 | 0,080 | 0,000 | 0,000 | 869,160  |
| 1939 | 0,003  | 169,704 | 326,649  | 43,121   | 44,567   | 17,357  | 3,748   | 2,080  | 0,821 | 0,072 | 0,001 | 0,000 | 608,123  |
| 1940 | 0,033  | 0,074   | 58,166   | 557,657  | 807,471  | 186,491 | 116,993 | 49,296 | 3,252 | 1,336 | 0,139 | 0,000 | 1780,908 |
| 1941 | 0,000  | 0,040   | 50,976   | 7,031    | 28,808   | 3,178   | 1,820   | 0,576  | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 92,434   |
| 1942 | 0,000  | 0,134   | 0,089    | 0,129    | 0,103    | 0,088   | 0,000   | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,546    |
| 1943 | 0,005  | 0,115   | 0,080    | 123,634  | 14,250   | 0,814   | 0,485   | 0,022  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,058 | 139,463  |
| 1944 | 0,066  | 0,032   | 0,338    | 122,948  | 183,584  | 33,467  | 11,992  | 3,808  | 1,361 | 0,190 | 0,000 | 0,022 | 357,808  |
| 1945 | 0,019  | 83,573  | 25,745   | 353,056  | 298,203  | 143,837 | 66,922  | 16,196 | 2,379 | 0,884 | 0,048 | 0,001 | 990,863  |

**TABELA II-7 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pacajus, em hm<sup>3</sup>/mês**

|      |         |         |          |          |          |         |         |        |        |       |       |       |          |
|------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|----------|
| 1946 | 12,768  | 4,869   | 35,809   | 168,809  | 26,711   | 7,167   | 4,105   | 1,786  | 0,352  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 262,376  |
| 1947 | 0,005   | 0,099   | 270,388  | 334,420  | 394,609  | 74,932  | 39,315  | 2,717  | 0,801  | 0,054 | 0,016 | 0,378 | 1117,734 |
| 1948 | 0,006   | 0,000   | 51,699   | 7,890    | 13,127   | 12,349  | 7,032   | 1,284  | 0,252  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 93,639   |
| 1949 | 0,000   | 0,031   | 205,731  | 299,667  | 285,719  | 70,635  | 40,524  | 3,919  | 1,401  | 0,190 | 0,000 | 0,001 | 907,818  |
| 1950 | 0,002   | 2,048   | 297,515  | 1330,202 | 424,281  | 87,035  | 33,058  | 1,253  | 0,023  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 2175,418 |
| 1951 | 0,011   | 0,000   | 0,029    | 8,165    | 20,415   | 161,497 | 18,019  | 0,828  | 0,029  | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 208,999  |
| 1952 | 0,005   | 0,021   | 1,621    | 49,105   | 63,422   | 10,681  | 0,885   | 0,068  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 125,816  |
| 1953 | 0,000   | 0,004   | 0,057    | 0,268    | 78,780   | 9,907   | 0,869   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 89,885   |
| 1954 | 0,013   | 0,085   | 0,160    | 0,090    | 0,427    | 0,809   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 1,585    |
| 1955 | 0,015   | 0,083   | 7,586    | 297,177  | 317,264  | 52,516  | 14,422  | 0,499  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 689,565  |
| 1956 | 0,005   | 0,447   | 148,730  | 391,033  | 45,489   | 8,669   | 0,471   | 0,048  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 594,893  |
| 1957 | 0,005   | 1,082   | 324,188  | 402,129  | 71,283   | 46,952  | 5,427   | 0,517  | 0,004  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 851,587  |
| 1958 | 0,000   | 0,000   | 0,009    | 10,802   | 62,514   | 5,614   | 0,884   | 0,065  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 79,890   |
| 1959 | 0,076   | 12,855  | 204,952  | 199,258  | 97,673   | 40,507  | 8,368   | 1,445  | 0,193  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 565,327  |
| 1960 | 0,000   | 8,517   | 682,651  | 378,938  | 86,533   | 64,975  | 14,186  | 0,950  | 0,055  | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 1236,807 |
| 1961 | 9,456   | 180,867 | 472,103  | 652,847  | 160,186  | 80,380  | 41,724  | 2,391  | 0,446  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1600,400 |
| 1962 | 0,003   | 9,656   | 191,064  | 299,844  | 48,847   | 33,256  | 2,163   | 0,342  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 585,179  |
| 1963 | 0,258   | 39,555  | 789,140  | 371,533  | 210,755  | 63,332  | 12,467  | 0,683  | 0,011  | 0,000 | 0,001 | 0,038 | 1487,773 |
| 1964 | 80,243  | 212,929 | 615,489  | 1276,849 | 636,875  | 99,296  | 100,656 | 77,575 | 13,509 | 0,255 | 0,000 | 0,001 | 3113,677 |
| 1965 | 0,009   | 0,015   | 15,247   | 584,012  | 242,539  | 366,510 | 81,601  | 21,572 | 0,999  | 0,094 | 0,000 | 0,000 | 1312,598 |
| 1966 | 0,001   | 0,002   | 0,064    | 0,142    | 0,374    | 1,277   | 1,004   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 2,864    |
| 1967 | 0,019   | 10,906  | 270,728  | 477,838  | 338,323  | 72,596  | 51,628  | 7,748  | 0,744  | 0,016 | 0,000 | 0,001 | 1230,547 |
| 1968 | 0,017   | 0,025   | 70,089   | 30,249   | 310,252  | 46,994  | 14,599  | 0,695  | 0,011  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 472,931  |
| 1969 | 0,006   | 0,010   | 6,946    | 394,785  | 49,983   | 53,804  | 139,244 | 40,507 | 2,495  | 0,657 | 0,001 | 0,001 | 688,439  |
| 1970 | 0,041   | 0,071   | 0,279    | 0,564    | 0,703    | 0,012   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 1,671    |
| 1971 | 0,035   | 0,068   | 16,334   | 156,041  | 151,857  | 133,025 | 42,881  | 15,720 | 1,958  | 0,832 | 0,036 | 0,000 | 518,787  |
| 1972 | 0,005   | 0,037   | 0,007    | 0,048    | 0,909    | 0,357   | 0,029   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,054 | 1,446    |
| 1973 | 0,057   | 0,063   | 103,072  | 571,249  | 304,531  | 251,790 | 89,447  | 51,833 | 1,821  | 0,261 | 0,001 | 7,028 | 1381,153 |
| 1974 | 372,139 | 236,496 | 1098,142 | 1460,413 | 1278,416 | 385,412 | 97,971  | 37,144 | 1,724  | 0,118 | 0,000 | 0,003 | 4967,978 |
| 1975 | 0,012   | 0,023   | 75,888   | 15,272   | 183,546  | 41,943  | 34,104  | 14,981 | 0,356  | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 366,128  |
| 1976 | 0,004   | 0,130   | 1,303    | 44,253   | 5,387    | 0,000   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 51,078   |
| 1977 | 0,053   | 0,633   | 31,757   | 172,480  | 674,483  | 181,835 | 85,132  | 47,877 | 1,811  | 0,280 | 0,000 | 0,000 | 1196,341 |
| 1978 | 0,010   | 0,272   | 1,616    | 10,509   | 63,028   | 10,574  | 5,080   | 1,165  | 0,133  | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 92,398   |
| 1979 | 0,001   | 0,020   | 0,046    | 0,052    | 1,785    | 1,931   | 0,000   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 3,836    |
| 1980 | 5,957   | 230,741 | 227,727  | 37,385   | 10,478   | 0,541   | 0,021   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 512,850  |
| 1981 | 0,000   | 6,696   | 503,067  | 87,122   | 35,656   | 2,633   | 0,129   | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,001 | 0,026 | 635,330  |

**TABELA II-7 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pacajus, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |               |               |                |                |                |               |               |               |              |              |              |              |                |
|-----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1982            | 0,009         | 0,072         | 0,731          | 1,922          | 2,574          | 0,972         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 6,280          |
| 1983            | 0,005         | 0,244         | 0,505          | 0,078          | 0,005          | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,837          |
| 1984            | 0,003         | 0,053         | 5,363          | 284,225        | 542,375        | 156,976       | 75,139        | 21,097        | 1,630        | 0,355        | 0,000        | 0,001        | 1087,217       |
| 1985            | 2,574         | 127,417       | 749,817        | 854,241        | 626,403        | 196,699       | 102,204       | 69,964        | 6,743        | 0,244        | 0,000        | 0,014        | 2736,320       |
| 1986            | 0,049         | 14,712        | 430,528        | 884,132        | 569,992        | 112,724       | 89,178        | 29,252        | 1,291        | 0,270        | 0,000        | 0,000        | 2132,128       |
| 1987            | 0,002         | 0,028         | 36,902         | 64,487         | 16,757         | 1,838         | 1,923         | 0,484         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,001        | 122,422        |
| 1988            | 0,002         | 0,003         | 13,837         | 387,275        | 421,906        | 65,064        | 48,399        | 3,311         | 0,305        | 0,000        | 0,000        | 0,011        | 940,113        |
| 1989            | 0,014         | 0,013         | 0,139          | 286,330        | 234,828        | 110,079       | 209,593       | 37,751        | 1,479        | 0,263        | 0,001        | 0,048        | 880,538        |
| 1990            | 0,029         | 0,010         | 0,280          | 0,042          | 1,312          | 1,089         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 2,762          |
| 1991            | 0,001         | 0,016         | 0,310          | 24,802         | 167,596        | 13,516        | 0,078         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 206,319        |
| 1992            | 0,023         | 46,264        | 7,591          | 62,050         | 7,500          | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 123,428        |
| 1993            | 0,000         | 0,002         | 0,030          | 0,008          | 0,003          | 0,004         | 0,005         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,052          |
| 1994            | 0,007         | 0,144         | 63,067         | 228,842        | 256,733        | 353,263       | 138,143       | 30,499        | 0,772        | 0,021        | 0,000        | 0,003        | 1071,494       |
| 1995            | 0,027         | 0,042         | 0,275          | 194,779        | 158,950        | 104,401       | 38,252        | 5,470         | 0,072        | 0,000        | 0,000        | 0,005        | 502,273        |
| 1996            | 0,176         | 0,274         | 9,219          | 379,294        | 120,606        | 36,841        | 2,645         | 0,213         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 549,268        |
| <b>media</b>    | <b>6,289</b>  | <b>24,806</b> | <b>155,465</b> | <b>260,141</b> | <b>202,313</b> | <b>62,596</b> | <b>29,553</b> | <b>8,976</b>  | <b>0,895</b> | <b>0,154</b> | <b>0,006</b> | <b>0,092</b> | <b>751,286</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>41,408</b> | <b>61,883</b> | <b>253,036</b> | <b>334,809</b> | <b>278,287</b> | <b>82,020</b> | <b>41,320</b> | <b>16,516</b> | <b>1,783</b> | <b>0,301</b> | <b>0,022</b> | <b>0,762</b> | <b>902,519</b> |





**TABELA II-8 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Pedras Brancas, em hm<sup>3</sup>/mês**

|                 |              |               |               |               |               |               |              |              |              |              |              |              |                |
|-----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1981            | 0,000        | 0,000         | 61,955        | 40,636        | 5,593         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 108,184        |
| 1982            | 0,000        | 0,000         | 10,454        | 4,753         | 39,350        | 4,253         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 58,810         |
| 1983            | 0,000        | 1,162         | 0,000         | 0,018         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 1,180          |
| 1984            | 0,000        | 0,000         | 0,000         | 89,958        | 189,654       | 24,303        | 5,843        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 309,758        |
| 1985            | 8,953        | 10,061        | 78,717        | 306,435       | 46,015        | 30,897        | 21,658       | 3,878        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 506,614        |
| 1986            | 0,000        | 5,969         | 34,543        | 162,474       | 99,411        | 23,356        | 7,345        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 333,098        |
| 1987            | 0,000        | 0,000         | 14,367        | 5,986         | 0,554         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 20,907         |
| 1988            | 0,000        | 0,000         | 4,396         | 80,737        | 117,853       | 15,511        | 2,001        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 220,498        |
| 1989            | 0,000        | 0,000         | 0,000         | 53,324        | 109,168       | 17,816        | 5,504        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 185,812        |
| 1990            | 0,000        | 0,000         | 0,001         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,001          |
| 1991            | 0,000        | 0,000         | 0,018         | 0,000         | 0,018         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,036          |
| 1992            | 12,009       | 37,867        | 31,880        | 68,782        | 7,291         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 157,829        |
| 1993            | 0,000        | 22,981        | 4,164         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 27,145         |
| 1994            | 0,000        | 0,000         | 4,039         | 44,800        | 13,706        | 7,041         | 0,447        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 70,033         |
| 1995            | 0,000        | 0,000         | 0,000         | 9,132         | 1,322         | 0,036         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 10,490         |
| 1996            | 4,128        | 0,232         | 1,608         | 22,480        | 17,548        | 0,250         | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 46,246         |
| <b>media</b>    | <b>2,758</b> | <b>7,479</b>  | <b>36,818</b> | <b>55,790</b> | <b>40,268</b> | <b>7,578</b>  | <b>2,011</b> | <b>0,054</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,193</b> | <b>0,476</b> | <b>153,426</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>9,988</b> | <b>13,909</b> | <b>79,558</b> | <b>96,268</b> | <b>72,398</b> | <b>11,350</b> | <b>4,591</b> | <b>0,424</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>1,794</b> | <b>3,260</b> | <b>238,286</b> |

**TABELA II-9 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Sítios Novos, em hm<sup>3</sup>/mês**

| ANO  | MESES |        |         |         |         |        |       |       |       |       |       |       | ANUAL   |
|------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|      | JAN   | FEV    | MAR     | ABR     | MAI     | JUN    | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |         |
| 1922 | 0,039 | 0,043  | 0,135   | 80,186  | 49,573  | 5,262  | 0,600 | 0,422 | 0,177 | 0,062 | 0,009 | 0,017 | 136,525 |
| 1923 | 0,028 | 2,086  | 13,300  | 17,980  | 7,684   | 0,410  | 0,267 | 0,128 | 0,049 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 41,939  |
| 1924 | 4,014 | 44,740 | 72,492  | 96,105  | 83,740  | 22,533 | 0,424 | 0,196 | 0,070 | 0,016 | 0,002 | 0,021 | 324,353 |
| 1925 | 0,109 | 0,287  | 8,810   | 61,774  | 27,835  | 0,509  | 0,324 | 0,147 | 0,055 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 99,858  |
| 1926 | 0,007 | 0,121  | 20,395  | 52,346  | 9,950   | 0,485  | 0,278 | 0,126 | 0,038 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 83,749  |
| 1927 | 0,018 | 0,178  | 0,546   | 78,212  | 14,559  | 4,022  | 0,554 | 0,303 | 0,127 | 0,041 | 0,002 | 0,044 | 98,606  |
| 1928 | 0,039 | 0,079  | 0,320   | 17,162  | 6,215   | 0,369  | 0,241 | 0,105 | 0,032 | 0,002 | 0,000 | 0,004 | 24,568  |
| 1929 | 0,006 | 0,159  | 53,638  | 50,816  | 9,900   | 0,576  | 0,399 | 0,189 | 0,069 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 115,765 |
| 1930 | 0,002 | 0,000  | 0,006   | 0,073   | 0,087   | 0,067  | 0,028 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,265   |
| 1931 | 0,002 | 0,209  | 25,980  | 10,299  | 1,710   | 0,405  | 0,282 | 0,133 | 0,052 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 39,079  |
| 1932 | 0,005 | 0,027  | 0,240   | 0,296   | 0,227   | 0,161  | 0,155 | 0,067 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 1,199   |
| 1933 | 0,075 | 0,392  | 11,604  | 100,396 | 7,151   | 0,463  | 0,293 | 0,135 | 0,044 | 0,004 | 0,000 | 0,002 | 120,559 |
| 1934 | 0,215 | 27,646 | 142,378 | 65,118  | 25,062  | 4,405  | 0,366 | 0,166 | 0,063 | 0,010 | 0,000 | 0,005 | 265,434 |
| 1935 | 0,004 | 0,117  | 24,416  | 67,353  | 37,733  | 15,433 | 1,908 | 0,301 | 0,124 | 0,039 | 0,002 | 0,000 | 147,430 |
| 1936 | 0,038 | 0,042  | 0,229   | 0,166   | 0,410   | 0,842  | 0,420 | 0,205 | 0,075 | 0,015 | 0,000 | 0,000 | 2,442   |
| 1937 | 0,000 | 0,089  | 5,489   | 45,656  | 39,380  | 5,440  | 0,517 | 0,290 | 0,119 | 0,039 | 0,002 | 0,010 | 97,031  |
| 1938 | 0,067 | 0,139  | 43,449  | 63,945  | 19,022  | 0,931  | 0,406 | 0,201 | 0,073 | 0,014 | 0,000 | 0,000 | 128,247 |
| 1939 | 0,030 | 42,339 | 71,001  | 48,866  | 10,883  | 0,740  | 0,380 | 0,253 | 0,107 | 0,032 | 0,002 | 0,000 | 174,633 |
| 1940 | 0,003 | 0,186  | 28,201  | 87,197  | 14,518  | 0,536  | 0,304 | 0,135 | 0,043 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 131,127 |
| 1941 | 0,000 | 0,001  | 0,261   | 1,440   | 9,215   | 0,340  | 0,182 | 0,076 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 11,532  |
| 1942 | 0,000 | 0,134  | 2,056   | 15,052  | 2,339   | 0,463  | 0,256 | 0,114 | 0,033 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 20,450  |
| 1943 | 0,002 | 0,041  | 2,468   | 43,188  | 0,581   | 0,384  | 0,242 | 0,104 | 0,028 | 0,001 | 0,000 | 0,024 | 47,063  |
| 1944 | 0,092 | 0,087  | 0,120   | 4,403   | 27,915  | 2,006  | 0,372 | 0,169 | 0,058 | 0,008 | 0,000 | 0,012 | 35,242  |
| 1945 | 0,046 | 19,127 | 38,250  | 73,335  | 49,996  | 7,882  | 3,613 | 0,269 | 0,103 | 0,027 | 0,000 | 0,071 | 192,719 |
| 1946 | 0,272 | 0,291  | 47,026  | 59,350  | 12,493  | 8,172  | 0,390 | 0,178 | 0,062 | 0,010 | 0,000 | 0,001 | 128,245 |
| 1947 | 0,020 | 0,258  | 33,508  | 29,163  | 11,494  | 0,529  | 0,360 | 0,166 | 0,056 | 0,008 | 0,009 | 0,017 | 75,588  |
| 1948 | 0,001 | 0,017  | 6,156   | 9,204   | 14,712  | 3,027  | 0,398 | 0,190 | 0,068 | 0,012 | 0,000 | 0,009 | 33,794  |
| 1949 | 0,001 | 0,049  | 25,234  | 50,285  | 113,375 | 4,880  | 0,439 | 0,202 | 0,076 | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 194,557 |
| 1950 | 0,000 | 0,100  | 20,219  | 34,781  | 8,092   | 0,410  | 0,220 | 0,097 | 0,025 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 63,944  |
| 1951 | 0,000 | 0,000  | 0,000   | 0,013   | 0,010   | 0,007  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,010 | 0,041   |
| 1952 | 0,054 | 0,040  | 0,124   | 25,340  | 0,612   | 0,370  | 0,195 | 0,080 | 0,018 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 26,833  |
| 1953 | 0,011 | 0,037  | 0,454   | 3,622   | 2,490   | 0,402  | 0,225 | 0,098 | 0,028 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 7,368   |
| 1954 | 0,009 | 0,104  | 8,586   | 0,675   | 4,444   | 0,480  | 0,348 | 0,160 | 0,059 | 0,009 | 0,000 | 0,033 | 14,907  |
| 1955 | 0,076 | 0,431  | 0,400   | 11,830  | 7,505   | 0,531  | 0,351 | 0,168 | 0,063 | 0,014 | 0,000 | 0,000 | 21,369  |

**TABELA II-9 - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Sítios Novos, em hm<sup>3</sup>/mês**

|      |       |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |         |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1956 | 0,000 | 0,206  | 25,340 | 29,440 | 6,808  | 0,471 | 0,298 | 0,146 | 0,054 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 62,772  |
| 1957 | 0,060 | 0,106  | 26,430 | 83,478 | 26,648 | 0,550 | 0,373 | 0,192 | 0,074 | 0,017 | 0,000 | 0,004 | 137,932 |
| 1958 | 0,003 | 0,000  | 0,013  | 0,155  | 0,234  | 0,178 | 0,122 | 0,048 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,759   |
| 1959 | 0,021 | 0,299  | 28,288 | 14,841 | 10,146 | 5,675 | 0,442 | 0,247 | 0,103 | 0,028 | 0,001 | 0,000 | 60,091  |
| 1960 | 0,000 | 0,000  | 0,194  | 6,933  | 0,518  | 0,326 | 0,223 | 0,114 | 0,036 | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 8,352   |
| 1961 | 0,074 | 38,695 | 36,181 | 12,908 | 1,207  | 0,481 | 0,294 | 0,150 | 0,056 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 90,055  |
| 1962 | 0,028 | 7,659  | 18,609 | 7,763  | 0,654  | 0,537 | 0,366 | 0,176 | 0,068 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 35,873  |
| 1963 | 0,086 | 0,286  | 48,677 | 18,492 | 0,583  | 0,387 | 0,233 | 0,100 | 0,027 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 68,875  |
| 1964 | 0,097 | 0,368  | 20,838 | 96,437 | 20,096 | 0,573 | 0,461 | 0,252 | 0,101 | 0,029 | 0,001 | 0,000 | 139,253 |
| 1965 | 0,039 | 0,040  | 0,100  | 18,906 | 5,124  | 0,564 | 0,527 | 0,258 | 0,099 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | 25,683  |
| 1966 | 0,000 | 0,013  | 0,079  | 0,228  | 0,400  | 0,433 | 0,317 | 0,160 | 0,054 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 1,691   |
| 1967 | 0,002 | 13,881 | 19,016 | 34,569 | 31,091 | 0,610 | 0,351 | 0,171 | 0,060 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 99,760  |
| 1968 | 0,008 | 0,047  | 2,038  | 11,418 | 20,163 | 0,538 | 0,324 | 0,148 | 0,049 | 0,005 | 0,000 | 0,004 | 34,742  |
| 1969 | 0,010 | 0,016  | 0,234  | 50,423 | 8,202  | 0,475 | 0,475 | 0,338 | 0,145 | 0,047 | 0,004 | 0,000 | 60,369  |
| 1970 | 0,079 | 0,255  | 0,427  | 23,716 | 4,115  | 0,421 | 0,236 | 0,104 | 0,029 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 29,385  |
| 1971 | 0,023 | 0,112  | 6,076  | 27,075 | 18,780 | 7,151 | 0,508 | 0,276 | 0,108 | 0,029 | 0,001 | 0,000 | 60,139  |
| 1972 | 0,007 | 0,010  | 0,058  | 0,119  | 0,406  | 0,387 | 0,325 | 0,189 | 0,076 | 0,015 | 0,000 | 0,011 | 1,603   |
| 1973 | 0,040 | 0,100  | 29,111 | 62,792 | 26,932 | 9,072 | 1,156 | 0,389 | 0,166 | 0,060 | 0,007 | 0,000 | 129,825 |
| 1974 | 0,145 | 11,639 | 54,125 | 70,558 | 46,569 | 1,268 | 0,421 | 0,202 | 0,074 | 0,017 | 0,000 | 0,079 | 185,097 |
| 1975 | 0,144 | 0,153  | 2,963  | 14,957 | 10,563 | 0,594 | 0,552 | 0,340 | 0,148 | 0,050 | 0,004 | 0,104 | 30,572  |
| 1976 | 0,210 | 0,331  | 18,948 | 21,490 | 0,545  | 0,347 | 0,190 | 0,080 | 0,019 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 42,160  |
| 1977 | 0,061 | 0,350  | 11,748 | 25,860 | 12,256 | 9,474 | 8,718 | 0,321 | 0,127 | 0,039 | 0,002 | 0,000 | 68,956  |
| 1978 | 0,000 | 0,186  | 2,075  | 18,068 | 15,722 | 0,476 | 0,376 | 0,260 | 0,103 | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 37,294  |
| 1979 | 0,017 | 0,027  | 0,233  | 0,245  | 0,447  | 0,427 | 0,247 | 0,108 | 0,036 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 1,790   |
| 1980 | 0,078 | 0,192  | 16,238 | 0,430  | 0,301  | 0,250 | 0,135 | 0,050 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 17,680  |
| 1981 | 0,001 | 0,016  | 0,112  | 7,241  | 0,473  | 0,282 | 0,146 | 0,056 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,027 | 8,362   |
| 1982 | 0,065 | 0,098  | 0,398  | 2,843  | 6,503  | 0,494 | 0,313 | 0,153 | 0,051 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 10,924  |
| 1983 | 0,000 | 0,083  | 0,240  | 0,286  | 0,204  | 0,114 | 0,052 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,989   |
| 1984 | 0,035 | 0,077  | 0,152  | 26,447 | 26,162 | 3,316 | 0,367 | 0,180 | 0,085 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 56,841  |
| 1985 | 0,061 | 11,802 | 35,356 | 54,856 | 16,984 | 3,517 | 0,588 | 0,322 | 0,131 | 0,040 | 0,002 | 0,007 | 123,666 |
| 1986 | 0,089 | 7,016  | 65,007 | 40,540 | 5,961  | 5,757 | 2,180 | 0,280 | 0,116 | 0,036 | 0,002 | 0,000 | 126,984 |
| 1987 | 0,000 | 0,036  | 4,355  | 3,940  | 0,538  | 0,402 | 0,423 | 0,199 | 0,072 | 0,013 | 0,000 | 0,000 | 9,978   |
| 1988 | 0,010 | 0,070  | 0,341  | 37,766 | 20,599 | 0,529 | 0,452 | 0,313 | 0,125 | 0,039 | 0,002 | 0,003 | 60,249  |
| 1989 | 0,012 | 0,018  | 0,105  | 18,705 | 17,825 | 4,341 | 0,549 | 0,378 | 0,161 | 0,055 | 0,006 | 0,017 | 42,172  |
| 1990 | 0,060 | 0,028  | 0,290  | 0,301  | 1,412  | 0,443 | 0,308 | 0,153 | 0,052 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 3,054   |
| 1991 | 0,005 | 0,054  | 0,279  | 18,293 | 7,480  | 0,511 | 0,302 | 0,135 | 0,043 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 27,106  |

**TABELA II-9** - Série Histórica de Vazões Afluentes ao Reservatório Sítios Novos, em hm<sup>3</sup>/mês

|                 |              |              |               |               |               |              |              |              |              |              |              |              |               |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1992            | 0,003        | 0,129        | 0,437         | 12,999        | 0,545         | 0,382        | 0,223        | 0,096        | 0,026        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 14,840        |
| 1993            | 0,001        | 0,005        | 0,084         | 0,292         | 0,320         | 0,188        | 0,152        | 0,088        | 0,021        | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 1,151         |
| 1994            | 0,060        | 0,154        | 9,391         | 47,469        | 28,697        | 21,167       | 2,193        | 0,296        | 0,118        | 0,035        | 0,001        | 0,003        | 109,584       |
| 1995            | 0,043        | 0,113        | 0,353         | 70,167        | 24,980        | 1,809        | 0,491        | 0,247        | 0,093        | 0,023        | 0,000        | 0,000        | 98,319        |
| 1996            | 0,053        | 0,138        | 14,752        | 36,931        | 6,179         | 0,524        | 0,299        | 0,147        | 0,049        | 0,006        | 0,000        | 0,000        | 59,078        |
| <b>media</b>    | <b>0,094</b> | <b>3,125</b> | <b>16,096</b> | <b>31,147</b> | <b>14,190</b> | <b>2,386</b> | <b>0,566</b> | <b>0,179</b> | <b>0,067</b> | <b>0,015</b> | <b>0,001</b> | <b>0,007</b> | <b>67,873</b> |
| <b>desv pad</b> | <b>0,462</b> | <b>9,205</b> | <b>23,859</b> | <b>28,649</b> | <b>19,001</b> | <b>4,308</b> | <b>1,092</b> | <b>0,093</b> | <b>0,043</b> | <b>0,016</b> | <b>0,002</b> | <b>0,018</b> | <b>65,488</b> |

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL  
CURSO DE MESTRADO EM RECURSOS HÍDRICOS

JOSÉ ALEXANDRE MOREIRA FARIAS

MÉTODOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES MENSAIS E SUAS  
INFLUÊNCIAS SOBRE A CURVA DE GARANTIA *VERSUS*  
VAZÃO REGULARIZADA EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO  
DO CEARÁ.

**FORTALEZA – CE**  
**2003**