

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**

**DIEGO DE CASTRO MAIA RIBEIRO**

**MODELO DE PREVISÃO DE VAZÃO APLICADO AO NORDESTE BRASILEIRO**  
**UTILIZANDO A INFORMAÇÃO CLIMÁTICA PARA AUXILIAR A OPERAÇÃO**  
**DE HIDROSSISTEMAS**

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2011**

**Diego de Castro Maia Ribeiro**  
**Orientador: Francisco de Assis de Souza Filho, DSc.**

**MODELO DE PREVISÃO DE VAZÃO APLICADO AO NORDESTE BRASILEIRO  
UTILIZANDO A INFORMAÇÃO CLIMÁTICA PARA AUXILIAR A OPERAÇÃO  
DE HIDROSSISTEMAS**

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

Área de concentração: Recursos  
Hídricos.

Orientador: Prof. Francisco de  
Assis de Souza Filho, DSc.

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2011**

R368m Ribeiro, Diego de Castro Maia  
Modelo de previsão de vazão aplicado ao nordeste brasileiro utilizando a informação climática para auxiliar a operação de hidrossistemas / Diego de Castro Maia Ribeiro. – 2011.  
187 f. : il. color., enc.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho  
Área de concentração: Recursos Hídricos  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2011.

1. Previsão hidrológica 2. Recursos hídricos - Administração 3. Medidores de fluxo I. Souza Filho, Francisco de Assis de (Orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil III. Título

CDD 620

DIEGO DE CASTRO MAIA RIBEIRO

MODELO DE PREVISÃO DE VAZÃO APLICADO AO NORDESTE  
BRASILEIRO UTILIZANDO A INFORMAÇÃO CLIMÁTICA PARA AUXILIAR A  
OPERAÇÃO DE HIDROSSISTEMAS

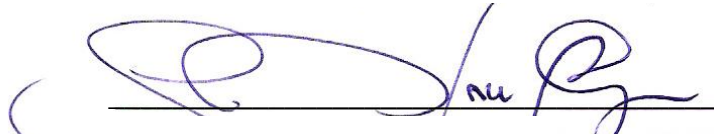
Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 29/ Julho / 2011

BANCA EXAMINADORA



Prof. Francisco de Assis de Souza Filho, D.Sc. (Orientador)



Prof. José Nilson Bezerra Campos, PhD. (UFC)



Prof. Rubem La Laina Porto, D.Sc. (USP)

“Às cinco pessoas mais importantes da minha vida: meus pais Miguel e Elena; e meus irmãos Vanda, Virgínia e David.”

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me proporcionar saúde e sabedoria para perseguir meus objetivos.

A minha família, meus pais (Miguel Gonçalves Ribeiro e Elena de Castro Maia Ribeiro), meus irmãos (Vanda, Virgínia e David) e meus cunhados Marcel e Frederico pela convivência diária, confiança e apoio incondicional.

Aos meus padrinhos, Ofélia e Leorni, e a todos os meus parentes queridos.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho, pelo constante incentivo em todas as etapas desta dissertação, pela amizade e pela incansável e magnífica orientação despendida.

Aos meus amigos que me acompanham nessa longa caminhada da vida: André Mendes, Daniel Aguiar, Hallysson Bruno, Henrique Falcão, João Victor Silva, Marcel Falcão, Mateus Ribeiro e Neivardo Torres.

Às minhas amigas mais que especiais Luciana Limaverde e Marcella Mourão que sempre me apoiaram e me aconselharam quando necessário.

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e a todos os seus funcionários, em especial Virgílio, pela disponibilização dos dados necessários.

A todos meus amigos de universidade e turma do mestrado 2009.1, em especial Aílton Carneiro, Eduardo Pacheco, Eugenio Pacheco, Marcos Abílio, Rene Pinheiro e Wictor Dajtenko.

A Teresinha Alves, pela companhia durante este tempo, pela recepção na sala de projeto, pelas dicas e informações que só ela sabia ou tinha.

Ao pessoal que faz parte do laboratório de Gerenciamento do Risco Climático e Sustentabilidade Hídrica, em especial Cleiton Silveira, pela amizade e respeito durante estes anos de convívio.

A todos que de alguma forma influenciaram nas minhas escolhas e no direcionamento dos meus estudos.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de estudos.

“É melhor lançar-se à luta em busca do triunfo mesmo expondo-se ao insucesso, do que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta sem conhecer nem a vitória nem a derrota.”

(FRANKLIN ROOSEVELT)

## RESUMO

Sabe-se que a água é um recurso essencial à sobrevivência da humanidade. Gestores ambientais do mundo inteiro vêm chamando atenção para o problema da sua escassez e má gestão. O presente trabalho destacou que no Nordeste Brasileiro, particularmente no semiárido, a escassez hídrica acentua-se por conta das características peculiares que o diferem de outros locais, tais como: a irregularidade pluviométrica e a má distribuição das chuvas no tempo e no espaço. Desenvolveram-se modelos matemáticos de previsão de vazões sazonais/interanuais que incorporam as informações climáticas, bem como a metodologia de incorporação dessas previsões na operação e gestão de hidrossistemas e no estudo de controle de cheias. Esses modelos basearam-se na metodologia dos K-vizinhos desenvolvida por Souza Filho e Lall, e nos modelos estatísticos de regressão. Apresentou-se, ainda, o *software* AcquaNet como mecanismo de auxílio na operação de sistemas de reservatórios. Aplicou-se a metodologia em reservatórios do Estado do Ceará e do Nordeste do Brasil. Concluiu-se que a inclusão da previsão de vazões na operação de sistemas de reservatórios pode ser um instrumento eficaz na gestão dos recursos hídricos à medida que agrega a este processo mais confiabilidade e qualidade, e, desde que corretamente utilizada, pode aumentar a geração de capital do Estado.

Palavras-chave: previsão de vazões; controle de cheias; operação de reservatórios.



## **ABSTRACT**

It is known that water is a resource essential to human survival. Environmental managers around the world have been calling attention to the problem of water scarcity and mismanagement. This study highlighted that in the Northeast of Brazil, particularly in semi-arid, water scarcity is accentuated because of the peculiar characteristics that differentiate it from other places, such as the irregularity and poor distribution of rain in time and space. Mathematical models of seasonal/interannual streamflow forecasting incorporating weather information were developed, as well as the methodology for incorporating these forecasts in the operation, management and study of water systems and flood control. These models were based on the methodology of the K-neighbors developed by Souza Filho and Lall, and on the statistical regression models. The software AcquaNet was also introduced as a mechanism to aid in the operation of reservoir systems. The methodology was applied in reservoirs of the State of Ceará and the Northeast of Brazil. We conclude that the inclusion of streamflow forecasting in the operation of reservoir systems can be an effective tool in water management as this process adds more reliability and quality, and, if properly used, can increase the income generation of the State.

**Keywords:** streamflow forecasting; flood control studies; operation of systems of reservoirs.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - GRÁFICO DOS ANOS MAIS PRÓXIMOS. ....	24
FIGURA 2.2 - DEMONSTRAÇÃO DO MAPEAMENTO DE PROBABILIDADE PARA CORREÇÃO DE VIÉS. .....	30
FIGURA 2.3 - QUADRO GERAL PROPOSTO PARA PREVISÃO DE VAZÃO. ....	31
FIGURA 2.4 - ZONAS DO RESERVATÓRIO. ....	44
FIGURA 2.5 - REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA COMO UMA REDE DE FLUXO. ....	47
FIGURA 2.6 - INTERFACE DO PROGRAMA ACQUANET. ....	49
FIGURA 3.1 - AÇUDE ORÓS. ....	51
FIGURA 3.2 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME ORÓS. ....	52
FIGURA 3.3 – RESERVATÓRIOS DO CEARÁ POR BACIA HIDROGRÁFICA. ....	53
FIGURA 3.4 - AÇUDE ACARAPE DO MEIO. ....	54
FIGURA 3.5 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE ACARAPE DO MEIO. ....	55
FIGURA 3.6 - AÇUDE ARACOIABA. ....	56
FIGURA 3.7 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE ARACOIABA. ....	57
FIGURA 3.8 - AÇUDE BANABUIÚ. ....	58
FIGURA 3.9 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE BANABUIÚ. ....	59
FIGURA 3.10 - AÇUDE CASTANHÃO. ....	60
FIGURA 3.11 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE CASTANHÃO. ....	61
FIGURA 3.12 - AÇUDE CAUHIPE. ....	61
FIGURA 3.13 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE CAUHIPE. ....	62
FIGURA 3.14 - AÇUDE GAVIÃO. ....	63
FIGURA 3.15 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE GAVIÃO. ....	64
FIGURA 3.16 - AÇUDE PACAJUS. ....	64
FIGURA 3.17 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE PACAJUS. ....	65
FIGURA 3.18 - AÇUDE PACOTI. ....	66
FIGURA 3.19 - AÇUDE RIACHÃO. ....	66
FIGURA 3.20 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE PACOTI. ....	68
FIGURA 3.21 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE RIACHÃO. ....	68
FIGURA 3.22 - AÇUDE SÍTIOS NOVOS. ....	69
FIGURA 3.23 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME AÇUDE SÍTIOS NOVOS. ....	70
FIGURA 3.24 - LOCALIZAÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	72
FIGURA 4.1 - FLUXO DO MODELO DE PREVISÃO DE VAZÃO. ....	73

FIGURA 4.2 - SITE NOAA PARA OBTENÇÃO DAS CORRELAÇÕES.....	75
FIGURA 4.3 – TELA DO SOFTWARE MATLAB.....	75
FIGURA 4.4 – ALGORITMO PARA CALCULO DA NORMALIZAÇÃO NO MATLAB.....	76
FIGURA 4.5 - CÁLCULO DOS K-VIZINHOS E SELEÇÃO DOS ANOS MAIS PRÓXIMOS. ....	78
FIGURA 4.6 - HORIZONTE DE OPERAÇÃO DO ESTUDO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA.....	83
FIGURA 4.7 - EXEMPLO DE COMO É MOSTRADO O RESULTADO DA SIMULAÇÃO: VOLUME FINAL DO RESERVATÓRIO. ....	84
FIGURA 4.8 - EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO APÓS APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	84
FIGURA 4.9 – CURVA-GUIA.....	85
FIGURA 4.10 - CURVA VOLUME-DURAÇÃO (VA) E DEFINIÇÃO MANUAL DO VOLUME DE ESPERA. .....	87
FIGURA 4.11 - CURVA VOLUME-DURAÇÃO DEFINIDA PARA UMA PROBABILIDADE (A) DE NÃO AMORTECIMENTO DE CHEIA DE UM ANO OU PERÍODO CHUVOSO. ....	88
FIGURA 4.12 - EVOLUÇÃO DO VOLUME DE ESPERA PARA O ANO I. ....	90
FIGURA 4.13 - CURVA LIMITE EM FUNÇÃO DE N TRAJETÓRIAS CRÍTICAS.....	90
FIGURA 5.1 - CORRELAÇÃO DA ALTURA GEOPOTENCIAL COM AS VAZÕES AFLUENTES DO RESERVATÓRIO ORÓS NO CEARÁ.....	93
FIGURA 5.2 - CORRELAÇÃO DOS VENTOS MERIDIONAIS COM AS VAZÕES AFLUENTES DO RESERVATÓRIO ORÓS NO CEARÁ.....	93
FIGURA 5.3 - IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DO SISTEMA JAGUARIBE- METROPOLITANO. ....	94
FIGURA 5.4 - CORRELAÇÃO DOS VENTOS MERIDIONAIS COM A COMPONENTE PRINCIPAL DAS VAZÕES AFLUENTES DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA JAGUARIBE- METROPOLITANO NO CEARÁ.....	94
FIGURA 5.5 - CORRELAÇÃO DA ALTURA GEOPOTENCIAL COM A COMPONENTE PRINCIPAL DAS VAZÕES AFLUENTES DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA JAGUARIBE- METROPOLITANO NO CEARÁ.....	95
FIGURA 5.6 - CORRELAÇÃO DA ALTURA GEOPOTENCIAL COM A COMPONENTE PRINCIPAL DAS VAZÕES AFLUENTES DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA JAGUARIBE- METROPOLITANO NO CEARÁ.....	95
FIGURA 5.7 - CORRELAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR COM A COMPONENTE PRINCIPAL DAS VAZÕES AFLUENTES DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA JAGUARIBE- METROPOLITANO NO CEARÁ.....	96
FIGURA 5.8 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	98

FIGURA 5.9 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS.....	99
FIGURA 5.10 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS.....	100
FIGURA 5.11 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	101
FIGURA 5.12 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	102
FIGURA 5.13 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	102
FIGURA 5.14 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	104
FIGURA 5.15 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	104
FIGURA 5.16 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	104
FIGURA 5.17 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	105
FIGURA 5.18 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	105
FIGURA 5.19 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	105
FIGURA 5.20 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	106
FIGURA 5.21 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	107
FIGURA 5.22 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	107
FIGURA 5.23 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	107
FIGURA 5.24 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	108
FIGURA 5.25 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	108
FIGURA 5.26 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	109
FIGURA 5.27 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	109
FIGURA 5.28 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	110
FIGURA 5.29 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	110
FIGURA 5.30 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	110
FIGURA 5.31 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	111
FIGURA 5.32 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	112
FIGURA 5.33 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	112
FIGURA 5.34 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	112
FIGURA 5.35 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	113
FIGURA 5.36 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	113
FIGURA 5.37 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	113
FIGURA 5.38 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	115

FIGURA 5.39 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	115
FIGURA 5.40 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	115
FIGURA 5.41 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	116
FIGURA 5.42 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	116
FIGURA 5.43 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	116
FIGURA 5.44 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	117
FIGURA 5.45 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	117
FIGURA 5.46 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS.....	117
FIGURA 5.47 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS....	118
FIGURA 5.48 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	119
FIGURA 5.49 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	119
FIGURA 5.50 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	119
FIGURA 5.51 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	120
FIGURA 5.52 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	120
FIGURA 5.53 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	120
FIGURA 5.54 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	121
FIGURA 5.55 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	121
FIGURA 5.56 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS.....	121
FIGURA 5.57 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS....	122
FIGURA 5.58 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	123
FIGURA 5.59 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	123
FIGURA 5.60 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	123
FIGURA 5.61 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	124
FIGURA 5.62 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	124
FIGURA 5.63 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	124
FIGURA 5.64 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	125
FIGURA 5.65 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	125
FIGURA 5.66 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS.....	125

FIGURA 5.67 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS....	126
FIGURA 5.68 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	127
FIGURA 5.69 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ORÓS. ....	127
FIGURA 5.70 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. ....	127
FIGURA 5.71 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ. .	128
FIGURA 5.72 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. ....	128
FIGURA 5.73 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO. .....	128
FIGURA 5.74 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	129
FIGURA 5.75 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO ARMANDO RIBEIRO.....	129
FIGURA 5.76 - GRÁFICO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS.....	129
FIGURA 5.77 - GRÁFICO DE DESEMPENHO DA PREVISÃO PARA O RESERVATÓRIO CUREMAS....	130
FIGURA 5.78 - DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO. ....	133
FIGURA 5.79 - EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 MESES PARA O ANO DE 1984.....	137
FIGURA 5.80 - EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 MESES PARA O ANO DE 1990.....	137
FIGURA 5.81 - COMPARATIVO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DO MÊS DE DEZ/ANO1 PARA O RESERVATÓRIO ORÓS DO ANO DE 1984. ....	138
FIGURA 5.82 - COMPARATIVO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DO MÊS DE MAIO/ANO1 PARA O RESERVATÓRIO ORÓS DO ANO DE 1984. ....	138
FIGURA 5.83 - EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 MESES PARA O ANO DE 1984.....	139
FIGURA 5.84 - EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO COM HORIZONTE DE PREVISÃO DE 24 MESES PARA O ANO DE 1990.....	139
FIGURA 5.85 - COMPARATIVO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DO MÊS DE MAIO/ANO1 PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO DO ANO DE 1984. ....	140
FIGURA 5.86 - COMPARATIVO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA DO MÊS DE DEZEMBRO/ANO1 PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO DO ANO DE 1984.....	140
FIGURA 5.87 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	142
FIGURA 5.88 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	143

FIGURA 5.89 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	143
FIGURA 5.90 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	144
FIGURA 5.91 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	144
FIGURA 5.92 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	145
FIGURA 5.93 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	145
FIGURA 5.94 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO REGRESSÃO POOL. ....	146
FIGURA 5.95 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO TODA A SÉRIE HISTÓRICA.....	146
FIGURA 5.96 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO BANABUIÚ, UTILIZANDO TODA A SÉRIE HISTÓRICA.....	147
FIGURA 5.97 - MÉTODO CURVA VOLUME-DURAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO TODA A SÉRIE HISTÓRICA.....	147
FIGURA 5.98 - MÉTODO DAS TRAJETÓRIAS CRÍTICAS PARA O RESERVATÓRIO CASTANHÃO, UTILIZANDO TODA A SÉRIE HISTÓRICA.....	148

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - MODELO ESTATÍSTICO X MODELO DINÂMICO. ....	36
TABELA 3.1 - FICHA TÉCNICA AÇUDE ORÓS. ....	51
TABELA 3.2 - FICHA TÉCNICA AÇUDE ACARAPE DO MEIO. ....	55
TABELA 3.3 - FICHA TÉCNICA AÇUDE ARACOIABA. ....	56
TABELA 3.4 - FICHA TÉCNICA AÇUDE BANABUIÚ. ....	58
TABELA 3.5 - FICHA TÉCNICA AÇUDE CASTANHÃO. ....	60
TABELA 3.6 - FICHA TÉCNICA AÇUDE CAUHIPE. ....	62
TABELA 3.7 - FICHA TÉCNICA AÇUDE GAVIÃO. ....	63
TABELA 3.8 - FICHA TÉCNICA AÇUDE PACAJUS. ....	65
TABELA 3.9 - FICHA TÉCNICA AÇUDE PACOTI. ....	67
TABELA 3.10 - FICHA TÉCNICA AÇUDE RIACHÃO. ....	67
TABELA 3.11 - FICHA TÉCNICA AÇUDE SÍTIOS NOVOS. ....	69
TABELA 3.12 - LOCALIZAÇÃO E VOLUME DOS RESERVATÓRIOS. ....	71
TABELA 5.1 - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PREDITORES SELECIONADOS COM LAG DE 6 MESES. ....	97
TABELA 5.2 - VAZÕES EM M <sup>3</sup> /S PARA OS ANOS DE MAIOR VEROSSIMILHANÇA. ....	99
TABELA 5.3 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO LINEAR. ....	101
TABELA 5.4 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO <i>STEPWISE</i> . ....	102
TABELA 5.5 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO DO ORÓS COM OS DIFERENTES TIPOS DE REGRESSÃO. ....	103
TABELA 5.6 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO. ....	105
TABELA 5.7 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO. ....	108
TABELA 5.8 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO LINEAR. ....	108
TABELA 5.9 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO. ....	111
TABELA 5.10 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO LINEAR. ....	111
TABELA 5.11 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO. ...	113
TABELA 5.12 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO <i>STEPWISE</i> . ....	114
TABELA 5.13 – COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO COM OS DIFERENTES TIPOS DE REGRESSÃO. ....	114
TABELA 5.14 – COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO X ARMANDO RIBEIRO X CUREMAS. ....	118



TABELA 5.15 - COMPARATIVO DO DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO X ARMANDO RIBEIRO X CUREMAS. ....	122
TABELA 5.16 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO <i>POOL</i> . ....	122
TABELA 5.17 – COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO X ARMANDO RIBEIRO X CUREMAS. ....	126
TABELA 5.18 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO LINEAR. ....	126
TABELA 5.19 - COMPARATIVO DESEMPENHO ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO X ARMANDO RIBEIRO X CUREMAS. ....	130
TABELA 5.20 - COEFICIENTES DA REGRESSÃO <i>STEPWISE</i> . ....	130
TABELA 5.21 - COMPARATIVO DESEMPENHO ORÓS X BANABUIÚ X CASTANHÃO X ARMANDO RIBEIRO X CUREMAS COM OS DIFERENTES TIPOS DE REGRESSÃO. ....	130
TABELA 5.22 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO ORÓS COM AS DIFERENTES METODOLOGIAS. ....	131
TABELA 5.23 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO SISTEMA JAGUARIBE METROPOLITANO X NORDESTE BRASILEIRO. ....	131
TABELA 5.24 - VOLUMES DOS RESERVATÓRIOS EM HM <sup>3</sup> . ....	134
TABELA 5.25 - PRIORIDADE DAS DEMANDAS E DOS RESERVATÓRIOS. ....	135
TABELA 5.26 - DEMANDAS EM M <sup>3</sup> /S DO SISTEMA JAGUARIBE METROPOLITANO (DATA DE ATUALIZAÇÃO: JUL/2009). ....	136
TABELA 5.27 - COMPARATIVO DO VOLUME DE ESPERA (HM <sup>3</sup> ) PELO MÉTODO DA CURVA VOLUME- DURAÇÃO. ....	149

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.2 ESTRUTURA .....	20
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1 PREVISÃO DE VAZÕES SAZONAIS .....	23
2.1.1 Estatística.....	23
2.1.2 Acoplada .....	25
2.1.3 Agregação de Modelo .....	32
2.1.4 Avaliação de Desempenho .....	33
2.1.5 Comparação Entre Abordagens.....	36
2.2 MODELOS DE PREVISÃO ESTATÍSTICA.....	37
2.2.1 Modelo de Regressão Linear (MLR) e Mínimos Quadrados.....	37
2.2.2 Modelo de Regressão Stepwise (passo à passo) .....	38
2.2.3 Métodos de Encolhimento – Regressão Ridge.....	38
2.2.4 Modelo de Regressão da Componente Principal.....	40
2.3 MODELO DE SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIO .....	42
2.3.1 Zoneamento de reservatório .....	43
2.3.1.1 Reserva de sedimentos .....	44
2.3.1.2 Volume morto ou zona inativa.....	45
2.3.1.3 Volume para fins de conservação do reservatório .....	45
2.3.1.4 Volume de controle de cheias .....	45
2.3.1.5 Volume de armazenamento não controlado.....	46
2.3.1.6 Borda livre .....	46
2.3.2 Descrição do modelo de simulação/otimização AcquaNet.....	46
<b>3 LOCAL DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>50</b>
3.1 RESERVATÓRIO INDIVIDUALIZADO – AÇUDE ORÓS .....	50
3.2 SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO .....	53
3.3 RESERVATÓRIOS DO NORDESTE BRASILEIRO .....	71

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>73</b>
4.1	MODELO DE PREVISÃO DE VAZÕES .....	73
4.1.1	<i>Reservatório individualizado – Açude Orós .....</i>	<i>74</i>
4.1.2	<i>Sistema Jaguaribe-Metropolitano e Reservatórios do Nordeste Brasileiro.....</i>	<i>78</i>
4.2	MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MODELOS .....	81
4.2.1	<i>Estimador de máxima verossimilhança .....</i>	<i>81</i>
4.3	UTILIZAÇÃO DA PREVISÃO SAZONAL NA OPERAÇÃO DE HIDROSSISTEMAS .....	83
4.4	UTILIZAÇÃO DA PREVISÃO SAZONAL NA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO: CONTROLE DE CHEIAS .....	85
4.4.1	<i>Curvas-guias .....</i>	<i>85</i>
4.4.1.1	<i>Determinação do Volume de Espera.....</i>	<i>86</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>92</b>
5.1	PREVISÃO DE VAZÃO .....	92
5.1.1	<i>Seleção dos preditores .....</i>	<i>92</i>
5.1.2	<i>Reservatório Individualizado – Açude Orós.....</i>	<i>98</i>
5.1.3	<i>Sistema Jaguaribe-Metropolitano.....</i>	<i>103</i>
5.1.4	<i>Reservatórios do Nordeste Brasileiro.....</i>	<i>114</i>
5.1.5	<i>Análise do efeito de escala.....</i>	<i>131</i>
5.2	OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS PARA ALOCAÇÃO .....	133
5.3	DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ESPERA .....	142
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>150</b>
	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>152</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>156</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>175</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>184</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>186</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema enfrentado há séculos pela humanidade. Com o crescimento das cidades, as demandas por água, tanto para o consumo humano, como para a indústria e a irrigação, aumentaram significativamente. Com isto, tornou-se necessária a implantação de sistemas de estocagem que pudessem transportar água.

A lei federal que regula a política nacional de recursos hídricos, a lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, assim como a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Atualmente, prevalece o enfoque do aproveitamento múltiplo das águas, ou seja, o reservatório pode ter múltiplas finalidades voltadas para as necessidades humanas e para as demandas vinculadas às atividades econômicas e sociais. Entre as principais finalidades, salienta-se o abastecimento humano, o abastecimento animal, a irrigação, a geração de energia, o lazer e o controle de cheias a jusante. (BRANDÃO, 2004).

O Nordeste semiárido brasileiro é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios. Essa situação pode ser explicada pela alta evaporação, pela variabilidade temporal das precipitações e pelas características geológicas dominantes. É um lugar onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O resultado é a existência de uma densa rede de rios intermitentes. A maior exceção é o Rio São Francisco e o Rio Paraíba.

As regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, são particularmente vulneráveis a flutuações climáticas e aos seus impactos nos suprimentos de água. Modelos de previsão de vazões em rios para um horizonte de alguns meses ou até ano tornam-se muito interessantes para a operação mais eficiente dos suprimentos de água e o processo de alocação de água entre usos e usuários conflitantes. (SOUZA FILHO *et al.*, 2003).

Tendo em vista que o gerenciamento dos recursos hídricos é um campo multidisciplinar, o planejador necessita reunir dados de todo o processo nas diferentes fases do processo de tomada de decisão, de forma sucinta e clara, para que sejam tomadas as decisões que melhor atendam à sociedade e à proteção dos recursos naturais. Devido ao grande número de alternativas existentes no planejamento dos recursos hídricos, considerando seus usos, disponibilidades e preservação, faz-se necessário utilizar metodologias que melhor

quantifiquem os processos, permitindo analisar alternativas que auxiliem o processo de decisão. (TUCCI, 1998).

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver modelos matemáticos de previsão de vazões sazonais/interanuais que auxiliem a operação de hidrossistemas com o propósito de quantificar o risco climático.

Pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar metodologia de previsão de vazões utilizando modelagem estatística;
- Avaliar a capacidade de previsão climática dos modelos;
- Pesquisar e desenvolver uma metodologia de incorporação da previsão climática sazonal/interanual na operação de sistemas de reservatórios e controle de cheias.

## 1.2 Estrutura

Para que fosse possível a abordagem dos tópicos presentes no trabalho, realizou-se um amplo levantamento bibliográfico, no intuito de elucidar os aspectos do tema em questão.

O segundo capítulo apresentou o que existe na literatura sobre os modelos de previsão de vazões sazonais, analisando tanto os modelos estatísticos, como os modelos acoplados. E, ainda, explicou como é realizada a avaliação de desempenho dos modelos. Ao fim dessa abordagem, foi destacado o modelo de operação de reservatórios AcquaNet, pois um dos objetivos deste trabalho é auxiliar os modelos de operação de hidrossistemas.

Os locais de aplicação de toda do modelo desenvolvido neste trabalho foram discutidos no terceiro capítulo, em que se apresentou a descrição de cada reservatório e as suas características, como: taxas de evaporação média de cada reservatório, volume máximo de armazenamento de água, histórico de vazões médias afluentes, dentre outras.

O quarto capítulo abordou a metodologia utilizada para a previsão de afluências, detalhando-a e identificando os índices climáticos utilizados como variáveis explicativas na previsão. Após esse detalhamento, descreveu-se a métrica para avaliação de desempenho dos

resultados das previsões e, em seguida, explicou-se como esses dados podem auxiliar na operação dos hidrossistemas.

O capítulo quinto, por sua vez, tratou os resultados e a análise da metodologia aplicada, assim como o resultado da operação do hidrossistema, fazendo o uso da informação climática.

As conclusões e as recomendações para trabalhos futuros foram trazidas no capítulo sexto.

Por último, foram apresentadas todas as referências bibliográficas dos trabalhos citados nesta dissertação. No anexo seguem as tabelas referentes ao histórico de afluências dos reservatórios e o algoritmo com o programa escrito em MatLab para realização das previsões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O planejamento e a eficácia da gestão dos recursos hídricos estão sujeitos a capturar as incertezas inerentes decorrentes dos modelos e entradas climáticas e hidrológicas. Previsões de vazão, operação crítica do reservatório e tomada de decisão na alocação de água, fundamentalmente, contêm as incertezas decorrentes das condições iniciais assumidas, do modelo estrutural e dos modelos de processo. (GEORGAKAKOS *et al.*, 2004;. DOBLAS-REYES *et al.*, 2005).

As abordagens para a previsão de vazões, predominantemente, caem em duas categorias: estatísticas ou dinâmicas (integração dos modelos climático e hidrológico). As abordagens estatísticas são baseadas no registro histórico de observações dos preditandos (ex: precipitação, vazão e temperatura) e preditores relevantes (ex: temperatura da superfície do mar e pressão atmosférica) ou um índice relacionado diretamente com a estimativa de vazões por meio de técnicas estatísticas. (SOUZA FILHO & LALL, 2003). As abordagens dinâmicas, por sua vez, procuram os pares de processos climáticos e hidrológicos, passando as informações em uma escala reduzida (redimensionada).

Os métodos dinâmicos e estatísticos servem para desenvolver previsões de vazão de longo alcance que poderiam ser usadas para alocação e operação dos recursos hídricos para as demandas concorrentes. Um caminho para o desenvolvimento de tais previsões é o uso de modelos de circulação geral (MCG) do oceano e atmosfera, seguida de *downscaling* (redução de escala), usando modelos climáticos regionais (MCR) ou abordagens estatísticas, seguido por modelos de chuva-deflúvio concentrados ou distribuídos.

Gnedenko (2008) marca bem a diferença entre processos aleatórios e determinísticos. Um evento **A** (ex.: precipitação) cuja ocorrência é inevitável em qualquer conjunto de condições  $\sigma$  (ex.: aquecimento global, fatores climáticos, poluição ambiental, etc.) é chamado certo. Se o evento **B** nunca ocorre quando está realizado o conjunto de condições  $\sigma$ , ele é chamado impossível. Um evento que pode ou não ocorrer quando o conjunto de condições  $\sigma$  é realizado é chamado de aleatório.

O presente capítulo descreve o que existe na literatura sobre os modelos de previsão de vazões sazonais, tanto os modelos estatísticos, como os modelos acoplados. Foi dado um enfoque maior aos modelos de previsão estatística. Ao fim da abordagem, foi destacado o modelo de operação de reservatórios AcquaNet.

## 2.1 Previsão de vazões sazonais

### 2.1.1 Estatística

A previsão de vazões com uma ou duas estações de antecedência para a região Amazônica foi realizada por Uvo *et al.* (2000), utilizando regressão por meio de redes neurais valendo-se da temperatura da superfície do mar (TSM) do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical para o período de 1946 a 1992. Obtiveram-se coeficientes de correlações entre o observado e o previsto das vazões no rio em nove localidades que variam de 0,35 a 0,76. Estes resultados foram melhorados com a utilização de um modelo de regressão linear canônico implantado por Uvo & Graham (1998). A região Amazônica tem clima bastante diferente da região Nordeste e, conseqüentemente, não está claro se tal resultado pode ser extrapolado para o Ceará. Não se tem certeza da eficácia do método de redes neurais na geração de cenários probabilísticos para diversos locais ao mesmo tempo, mantendo a mesma estrutura nos diversos locais e facilitando a comunicação para o operador de reservatórios.

Alguns esforços de identificação dos mecanismos e causas climáticas do regime de chuva e vazão no Nordeste do Brasil são discutidos em Uvo *et al.* (2000), Uvo & Graham (1998), Uvo *et al.* (1998), Marengo *et al.* (1998), e Xavier (2001). A chuva na região é altamente variável no espaço, dentro da estação chuvosa e no decorrer dos anos. (KOUSKY, 1979 *apud* SOUZA FILHO & LALL, 2003). A sazonalidade da chuva regional, e conseqüentemente das vazões, é governada em grande parte pela migração norte/sul da zona de convergência intertropical (ZCIT).

Uma abordagem semiparamétrica para previsão de vazões em vários locais de calibração, em uma rede de rios condicionadas a preditores climáticos, foi desenvolvida por Souza Filho & Lall (2003) para a região Nordeste do Brasil. A estratégia considera previsões estatísticas de vazões anuais ou sazonais em todos os locais e sua desagregação mensal ou de fluxos de resolução superior, usando um K-vizinho mais próximo para reamostragem da aproximação que mantém a consistência de espaço e tempo em diferentes locais e subperíodos.

A metodologia de reamostragem pelo método K-vizinhos mais próximos, pela qual um indivíduo é classificado pela similaridade encontrada com K indivíduos previamente agrupados por coincidência de características, similaridade esta baseada no cálculo da



distância Euclidiana ( $d_i$ ) entre o valor do vetor dos preditores atuais  $x^*$  e o valor dos preditores em sua série histórica  $x_i$ , é descrita na seguinte forma:

$$d_i^2 = \sum_{j=1}^p \{(x_j^* - x_{i,j})\gamma_j\}^2 \quad (1)$$

onde  $x^*$  é um vetor  $1 \times p$ ,  $x_i$  é um vetor  $1 \times p$  de preditores durante o ano  $i$ -ésimo usado no modelo ajustado e  $\gamma$ , que vem como resultado da regressão, é um vetor  $p \times 1$  dos coeficientes.

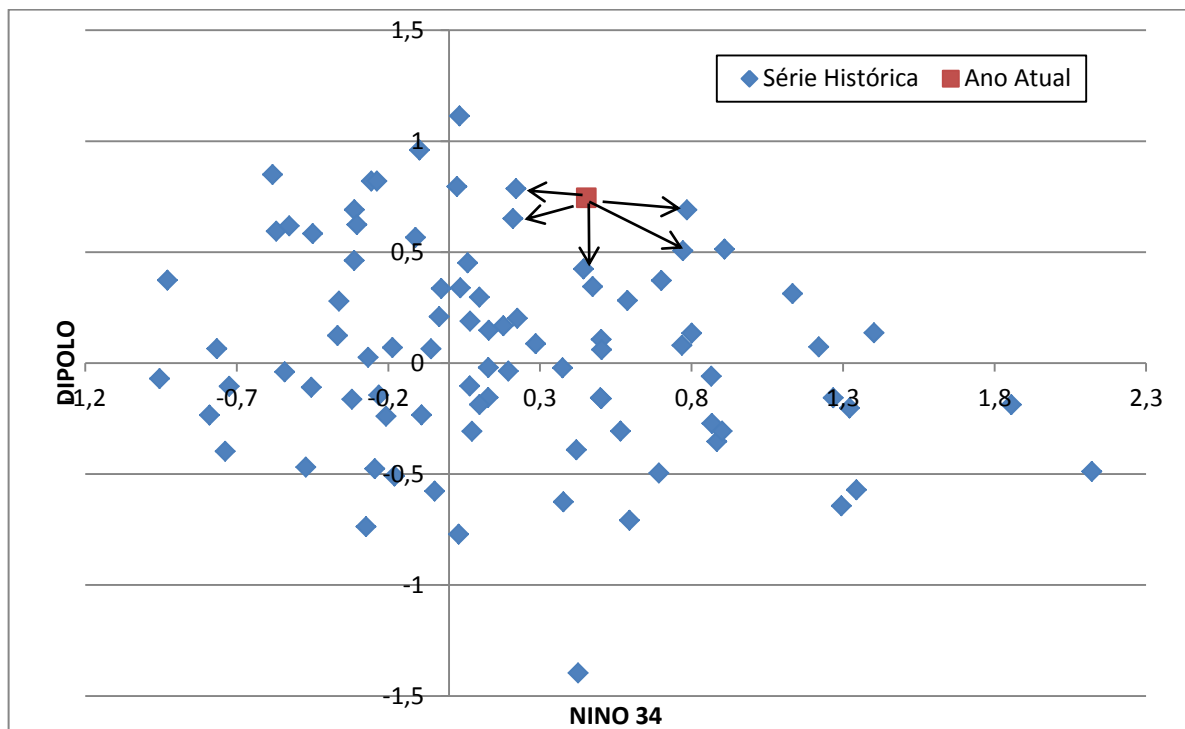


Figura 2.1 - Gráfico dos anos mais próximos.

As distâncias assinalam a similaridade da condição de preditor atual com cada uma das condições passadas, de observações anteriores. Segundo Souza Filho & Lall (2003) o vetor distância  $d$  determina o conjunto de valores mais próximos aos preditores atuais  $x^*$  (correspondente ano de previsão), identificando a posição em um ordenamento dos vizinhos mais próximos (o elemento  $j$  está associado ao  $j$ -ésimo  $x$  mais próximo de  $x^*$ ). A partir desse passo selecionam-se o número de vizinhos  $K$ 's a serem utilizados.

A Figura 2.1 apresenta graficamente como são escolhidos os elementos vizinhos mais próximos, onde as setas indicam quais são os anos que mais se assemelham ao ano atual de acordo com os cálculos das distâncias.

Muitos operadores do sistema de recursos hídricos fazem as decisões de alocação sazonal e interanual, simulando o sistema com sequências de aflúncias reamostradas do

registro histórico e preveem as demandas. Souza Filho & Lall (2003) fornecem uma capacidade de reamostragem condicionada ao registro histórico, considerando o estado dos principais preditores climáticos.

Em uma análise de competências da previsão global dos principais modelos de circulação global do oceano e atmosfera para precipitação sazonal, Rajagopalan *et al.* (2002) identificam o Nordeste do Brasil (Nordeste) como uma das poucas regiões do mundo onde há maior habilidade de previsão consistente e estatisticamente significativa durante a estação chuvosa primária (Janeiro–Maio). A seca é uma preocupação permanente no Estado do Ceará do Nordeste do Brasil, e os sistemas de reservatórios, frequentemente, enfrentam dificuldades, embora, geralmente, sejam projetados para um ciclo de armazenamento de dois a três anos.

No contexto das previsões de vazões, as conexões da Oscilação Sul do El Niño (ENSO - *El Niño Southern Oscillation*), no início da estação chuvosa, podem ser importantes para prescrever a umidade inicial do solo e, conseqüentemente, o potencial de deflúvio. Considerando que se deseja realizar previsões de vazão no meio do ano anterior ao que se pretende prever, faz-se necessária a previsibilidade potencial dos índices do Atlântico ou do Pacífico para os meses que antecedem a estação chuvosa. Souza Filho & Lall(2003) realizaram uma investigação da dependência da vazão com relação a TSM com diferentes defasagens em toda a região de interesse. O estudo realizado por Souza Filho & Lall(2003) procurou solucionar assuntos relacionados a não linearidade e não normalidade das relações estatísticas, bem como à modificação necessária nos métodos clássicos de análise linear e multivariada. As duas séries temporais selecionadas como preditores foram: NINO3 (definida como a anomalia de temperatura da superfície do mar na região do Pacífico equatorial entre 150 graus W e 90 graus W e 5 graus S e 5 graus N) e gradiente da TSM do Atlântico (EAD), série definida como a diferença na média mensal da anomalia de TSM na região do Atlântico Norte(5-20N, 60-30W) e a média mensal da região do Atlântico Sul (0-20S, 30W-10E). A série de tempo mensal para estes índices foi derivada da malha de dados de TSM desenvolvidos por Kaplan *et al.* (1998) e disponível em <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/KAPLAN/EXTENDED/>.

### 2.1.2 Acoplada

Tradicionalmente, as fases terrestre e atmosférica do ciclo hidrológico são representadas e simuladas por modelos independentes. Nos últimos anos, estas simulações

têm sido acopladas por via da concatenação dos modelos hidrológico e atmosférico. Este acoplamento pode ser feito de dois modos, unidirecionalmente ou bidirecionalmente. (BRAGA *et al.*, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2006).

No acoplamento unidirecional, os dados meteorológicos gerados pelos modelos atmosféricos são usados como dados de entrada nos modelos hidrológicos. Operacionalmente, este tipo de acoplamento apresenta uma maior flexibilidade devido à autonomia entre os modelos de cada categoria. Assim, viabilizam previsões em conjunto (*ensemble*), utilizando como membros as diferentes previsões atmosféricas. (BRAGA *et al.*, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2006).

No modo bidirecional, existe uma troca de informações entre os modelos, sendo necessários ajustes de escala (*downscaling* dos dados meteorológicos e *upscaling* dos dados hidrológicos). Este tipo de acoplamento apresenta algumas desvantagens operacionais, como o alto custo computacional e a necessidade de transformação de unidades e coordenadas (MOLDERS; RUHAAK, 2002 *apud* Oliveira, 2006).

Inúmeras técnicas de combinação em conjuntos de multimodelos foram desenvolvidas, demonstrando melhora na habilidade das previsões de vazão. (RAHAGOPALAN *et al.*, 2002; DOBLAS-REYES *et al.*, 2005; YUN *et al.*, 2005; AJAMI *et al.*, 2006; DUAN *et al.*, 2006). Recentes avanços na habilidade de previsão do clima e da modelagem hidrológica servem como impulso para continuar a perseguir modelos capazes de fornecer previsões de vazões melhoradas. (CANE *et al.*, 1986; BARNSTON *et al.*, 1999a, b; MASON *et al.*, 1999; LANDMAN *et al.*, 2001; RAHAGOPALAN *et al.*, 2002). Pesquisas anteriores apoiam a ideia de que as combinações dos modelos de previsão possam produzir previsões mais robustas e confiáveis do que as previsões de um único modelo. Atribui-se a isto a inclusão de diferentes condições iniciais e de processos. (BEVEN & FREER, 2001; GEORGAKAKOS *et al.*, 2004; DOBLAS-REYES *et al.*, 2005; REGONDA *et al.*, 2006).

Modelos perfeitos de previsão de clima não existem. Para melhorar a habilidade da avaliação dos riscos e da interpretação probabilística, as previsões devem ser colocadas em um contexto fundamentado na incerteza cumulativa inerente criada durante todo o processo de modelagem. Os modelos climáticos sofrem com as hipóteses das condições iniciais e de fronteira; com a falta da descrição dos processos e resolução da modelagem dinâmica hidrológica (ou seja, de deflúvio), da estimativa do parâmetro e da estrutura do modelo. (STERN & MIYAKODA, 1995; GODDARD *et al.*, 2001; GEORGAKAKOS *et al.*, 2004; DOBLAS-REYES *et al.*, 2005; KANG & YOO, 2006).

Modelos de Circulação Geral (MCGs) são baseados nos princípios gerais da dinâmica dos fluidos e da termodinâmica. Outros processos, como a convecção, que ocorrem em escalas muito pequenas para serem resolvidas diretamente, exigem parametrização. MCGs são normalmente executados em resolução espacial relativamente grosseira, geralmente maior que 2.0°, latitudinalmente e longitudinalmente. O resultado direto da baixa resolução espacial produz uma diferença de escala espacial grande entre as previsões climáticas disponíveis e a escala de interesse de previsão climática da maioria dos usuários. Para superar isso, modelos climáticos regionais (MCRs) estatísticos ou dinâmicos, com maior resolução espacial, são construídos para áreas limitadas. MCRs possuem relativamente alta resolução, impulsionados pela baixa resolução dos MCG, e podem proporcionar significativos recursos de pequena escala em uma região limitada a um custo computacional acessível em comparação com MCGs de alta resolução.

O Instituto Internacional de Pesquisa para o Clima e a Sociedade (IRI) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) no Brasil desenvolveram um sistema de previsão de downscaling dinâmico para o Nordeste do Brasil, possibilitando a previsão de chuvas sazonais desde Dezembro de 2001. (SUN *et al.*, 2006). O ECHAM4.5 Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (*Atmospheric General Circulation Model* - AGCM) e o NCEP Modelo Espectral Regional (*Regional Spectral Model* - RSM) constituem o núcleo desse sistema de previsão. Este é um sistema de previsão de duas camadas. Previsões da temperatura da superfície do mar (TSM) são produzidas primeiro, que servem, então, como condição de contorno forçando o limite inferior para o sistema aninhado ECHAM4.5 AGCM – NCEP RSM.

Segue abaixo uma breve descrição sobre o MCG e o MCR, assim como sobre o mapa probabilístico.

- *Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA)*

Os MCGA consistem em formulações matemáticas dos processos atmosféricos e das superfícies terrestre e oceânica. Estas formulações estão baseadas nos princípios físicos clássicos da hidrodinâmica.

Esses modelos são ferramentas poderosas, com grande potencial para o estudo das mudanças climáticas que poderiam advir do aumento da concentração de gases atmosféricos do efeito estufa, bem como de outros fatores naturais ou antropogênicos, como por exemplo;

as mudanças nas propriedades físicas da superfície dos continentes - processos de desflorestamento e desertificação em grande escala.

As soluções numéricas objetivas dos MCGA proporcionam a oportunidade de estudar as diversas condições da natureza do clima, tanto do passado como as que possam ocorrer no futuro. Porém para avaliar corretamente o clima simulado pelo modelo, é necessário validá-lo comparando-o com o clima observado. Isso implica na identificação das suas deficiências que devem ser consideradas na hora de avaliar as estimativas das mudanças climáticas futuras, assim como das previsões climáticas obtidas dele.

O modelo de circulação geral da atmosfera ECHAM4.5 foi desenvolvido no Max Planck Institute para a Meteorologia na Alemanha. (ROECKNER *et al.*, 1996). O modelo é configurado em 42 truncamentos espectrais triangulares (T42), resultando em uma resolução espacial de aproximadamente 2.8° Latitude-Longitude, com 19 camadas verticais que se estendem desde a superfície até 10 hPa. O regime de fluxo de massa de Tiedtke (1989) para convecções mais profundas, rasas, e em nível médio é aplicado com esquemas modificados de fechamento por convecção penetrativa e com a formação de arrastamento e descarrilamento organizado. (NORDENG, 1995). O modelo de radiação é uma versão modificada do European Center para esquema de previsão do tempo de meia escala. Quatro e seis intervalos de banda são usados nas partes solar e terrestre do espectro, respectivamente. A difusão vertical é calculada com um esquema de fechamento de altas ordens dependendo da enérgica cinética turbulenta. O arrasto de ondas de gravidade associado às ondas de gravidade orográficas é simulado com o modelo de Miller *et al.*(1989). Fluxos superficiais são baseados na teoria da similaridade de Monin-Obukhov. O regime de superfície terrestre é um modelo *bucket* modificado com parametrização melhorada da *rainfall-runoff* (precipitação-escoamento). (DUMENIL & TODINI, 1992).

- Modelo Climático Regional (MCR)

A versão 97 do Modelo Regional Espectral (RSM97) foi desenvolvida pelo National Center for Environmental Prediction (NCEP) e descrita no Juang & Kamamitsu (1994) e Juang *et al.*(1997).

O RSM97 usa o terreno seguindo as coordenadas sigma na vertical com 19 camadas. Um esquema simplificado Arakawa-Shubert é usado para convecção profunda. A convecção rasa, segundo Tiedtke (1984), é envolvida apenas na ausência da convecção

profunda. A radiação solar e terrestre usam a formulação do Chou (1992) e Harshvardhan *et al.* (1987), respectivamente. Um mecanismo orográfico de estatística baseada em quebras de onda, Kin & Arakawa(1995), é aplicado para o esquema de arraste de onda gravitacional. A camada física limite emprega um esquema não-local da difusão desenvolvida por Hong & Pan (1996). Os fluxos na camada superficial são baseados na teoria da similaridade de Monin-Obukhov. O modelo também inclui o modelo do solo de duas camadas de Pan & Mahrt (1987) e Pan (1990).

O domínio RSM97 cobre a área (15°N-20°S;55°O-0°O) com 109x72 pontos de grade. A resolução horizontal do modelo é de 60 km. A projeção de Mercator foi utilizada para projeção do grid regional. A única maneira de aninhar o NCEP RSM dentro do ECHAM4.5 MCGA é fazendo o uso do método da perturbação. O método de perturbação aninhada permite a saída do modelo global para ser usado ao longo de todo o domínio regional, não somente na zona fronteira lateral. As variáveis dependentes no domínio regional são definidas como o somatório da perturbação e da base. A base é uma previsão do tempo dependente do MCGA. Todas as outras variáveis não podem ser previstas pelo MCGA, porém podem ser resolvidas e previstas pelo RSM no domínio regional, e são definidas como perturbação. O aninhamento é feito de tal maneira que a perturbação dentro do domínio é diferente de zero, mas fora do domínio é zero. Todas as variáveis diagnosticadas (i.e., precipitação) são geradas pelo próprio modelo regional.

- Mapa Probabilístico

Saídas de modelos baseados dinamicamente ou fisicamente, tipicamente, contêm algum viés sistemático e requerem correções. O mapa da probabilidade é selecionado aqui para a correção dos dados mensais da precipitação da RSM (média acumulada ao longo das doze RSM caixas de grid), e é fundamentado em duas funções de distribuição cumulativa (CDF): I) dados observados historicamente e II) todo o conjunto de dados RSM agrupados por mês. Cada CDF é ajustada em uma distribuição gama, mantendo os parâmetros de forma e escala. Um determinado valor mensal de precipitação RSM é, então, corrigido pelo mapeamento a partir do mês correspondente ao RSM CDF, pelo cruzamento validado observado CDF, como demonstrado na Figura 2.2.

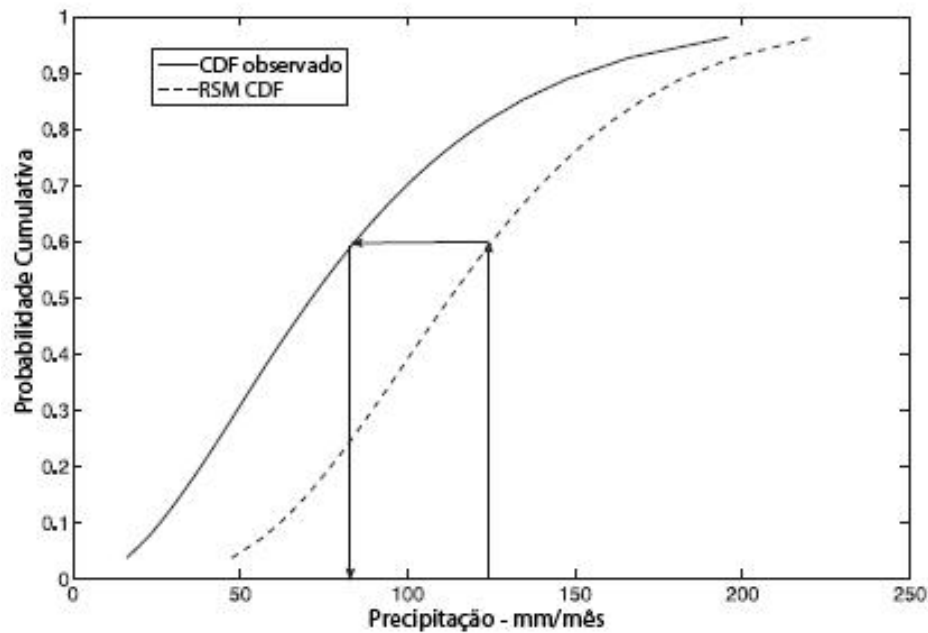


Figura 2.2 - Demonstração do mapeamento de probabilidade para correção de viés.  
 Fonte: BLOCK et al, 2009.

Para que o acoplamento dos modelos climáticos e dos modelos hidrológicos dinâmicos funcione, ele pode ocorrer tanto por meio de um processo *online* quanto *offline*. Processos *online* permitem o *feedback* entre os modelos em uma abordagem iterativa e, normalmente, requerem modelos hidrológicos distribuídos de tal forma que o tamanho da caixa da rede tenha que ser equivalente ao tamanho da caixa de grade do modelo climático. Modelos acoplados *offline*, no entanto, operam de maneira consecutiva, em que o modelo de clima completa a sua simulação antes de passar valores climáticos para o modelo hidrológico. Modelos hidrológicos podem ser de qualquer natureza: concentrados ou distribuídos.

Block et al(2009) propõem em sua abordagem a integração de múltiplos MCGs, MCRs, modelos hidrológicos e técnicas de combinação de multimodelos de forma sucessiva para previsão de vazão conjunta. O quadro geral proposto é apresentado na Figura 2.3.

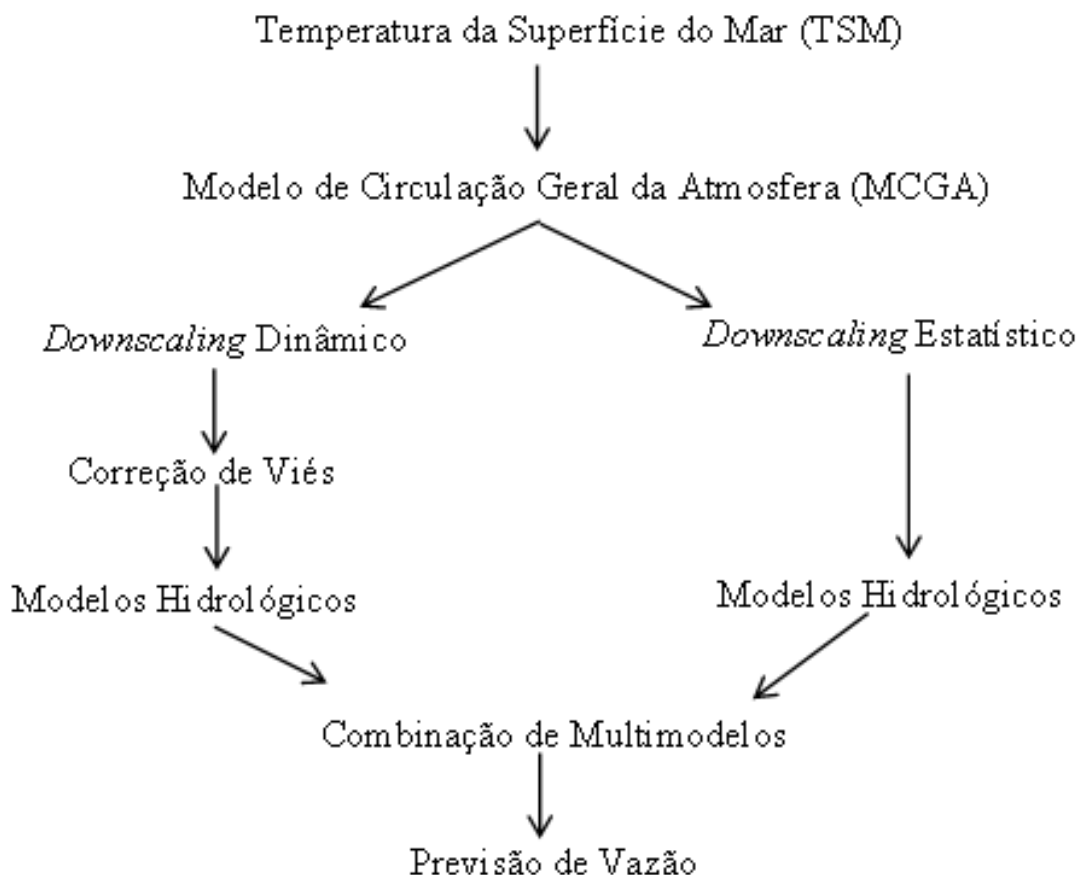


Figura 2.3 - Quadro geral proposto para previsão de vazão.  
 Fonte: BLOCK *et al*, 2009.

Em geral, as temperaturas da superfície do mar nos MCGs, persistidas ou previstas, produzem uma resolução espacial baixa de precipitação que podem ser redimensionadas (reduzindo sua escala através de *downscaling*) com MCR estatístico ou dinâmico. Abordagens dinâmicas, muitas vezes, exigem correção de viés com base em *hindcasts*<sup>1</sup> e observações históricas. Se desejado, a redução de escala da precipitação (e outras variáveis climáticas) pode ser executada a partir de um gerador de tempo (precipitações), ex. *IRI Multimodel Probability for Precipitation*, para produzir um conjunto de cenários realistas, aumentando ainda mais o conjunto de previsão. A precipitação em escala reduzida é alimentada em modelos hidrológicos para gerar previsões de vazão, que são posteriormente ponderadas e combinadas, como etapa final, para criar um conjunto multimodelo para avaliação probabilística.

<sup>1</sup> *Hindcast* é uma forma de testar um modelo matemático. Entradas conhecidas ou estimadas para acontecimentos do passado são introduzidas no modelo para ver como a saída corresponde aos resultados observados já conhecidos (no passado). (BOTELHO SOUZA, 2009).



### 2.1.3 Agregação de Modelo

A previsão de conjunto tem se tornando cada vez mais popular. (TRACTON & KALNAY, 1993; HARRISON *et al.*, 1995;. DOBLAS-REYES *et al.*, 2000, 2005; FRIETSCH *et al.*, 2000;. PALMER *et al.*, 2000, 2004). Combinando previsões (a partir de modelos simples ou múltiplos) inicializadas com diferentes condições ou preditores, muitas vezes, prediz melhor a função densidade de probabilidade e tem sido demonstrado que, geralmente, oferece habilidade total superior. (DOBLAS-REYES *et al.*, 2005). Além disso, a inclusão de previsões de vários modelos pode contribuir ainda mais para melhorar a avaliação das incertezas associadas aos processos físicos e à estrutura do modelo. (GEORGAKAKOS *et al.*, 2004).

Várias técnicas existem para combinar as previsões de vários modelos, porém aplicações em um contexto hidrológico só foram utilizadas num passado relativamente recente. (MCLEOD *et al.*, 1987;. SHAMSELDIN & O'CONNOR, 1999; AJAMI *et al.*, 2006; BLOCK *et al.*, 2009). O tratamento mais simples é considerar igualmente prováveis todas as previsões e juntá-las num único conjunto homogêneo de resultados. (BARNSTON *et al.*, 2003; ROBERTSON *et al.*, 2004; HAGEDORN *et al.*, 2005). Metodologias bem balanceadas baseadas no desempenho histórico dos modelos melhoram este procedimento. Técnicas de combinação mais sofisticadas incluem regressão e abordagens Bayesianas. (RAFTERY *et al.*, 1997; RAJAGOPALAN *et al.*, 2002; DOBLAS-REYES *et al.*, 2005; MARSHALL *et al.*, 2005; AJAMI *et al.*, 2006; DELSOLE, 2006). Uma vantagem clara da previsão conjunta é a estrutura probabilística. (PALMER *et al.*, 2004; DOBLAS-REYES *et al.*, 2005).

Três técnicas para combinar *hindcasts* conjuntos de vários modelos são selecionados para demonstrar os vários níveis de sofisticação. *Hindcasts* de vazões mensais (Janeiro a Junho) a partir de modelos hidrológicos são agregados aos totais sazonais antes da combinação. A agregação temporal tende a suavizar os dados e a aumentar a habilidade, reduzindo a variabilidade dos ruídos mês a mês. Os totais sazonais também são de especial interesse para o local de aplicação, no que diz respeito à agricultura e ao planejamento de infraestrutura de recursos de água.

A técnica mais simples para a combinação de conjuntos é o *pool*, na qual todos os membros do conjunto têm pesos iguais e juntam-se em um único conjunto de multimodelo. (BARNSTON *et al.*, 2003; ROBERTSON *et al.*, 2004, HAGEDORN *et al.*, 2005). As estatísticas básicas (mediana, desvio padrão, frequências relativas etc.) são facilmente calculadas. Observa-se na literatura que mesmo essa simples abordagem é, normalmente,

superior a uma previsão única, devido a sua maior confiabilidade. (DOBLAS-REYES *et al.*, 2005; HAGEDORN *et al.*, 2005).

A segunda metodologia utiliza a técnica de regressão linear dos mínimos quadrados. Esta abordagem tem sido utilizada há algum tempo pelo NCEP para as previsões climáticas sazonais. (VAN DEN DOOL, 2008 *apud* BLOCK *et al.*, 2009). A versão particular apresentada por Block *et al.*(2009) designa um peso para os grupos de modelos baseado no coeficiente de regressão criado ao comparar médias de grupos individuais às condições observadas.

À terceira abordagem aplica-se um estimador de densidade de kernel normal (BOWMAN & AZZALINI, 1997; BISHOP, 2006) para calcular a densidade de probabilidade,  $P_{m,t}$ , em cada observação *hindcast* de cada modelo utilizando a equação (2):

$$P_{m,t} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{(2\pi h^2)}} \exp \left\{ -\frac{(x_{o,t} - x_{m,t,n})^2}{2h^2} \right\}, \quad (2)$$

$t = 1$  a  $t^*$  e  $m = 1$  a  $z$ , onde  $n$  é o número total de membros do conjunto,  $h$  é a largura de banda de kernel,  $x_{m,t,n}$  é o valor da *hindcast* de modelo  $m$ , no período  $t$ , e  $n$  membro do conjunto, e  $x_{o,t}$  é a observação no período  $t$  (onde a densidade de probabilidade é desejada). A largura de banda é definida em função da variação do conjunto. O peso ideal para cada modelo ( $w_m$ ), restringido entre zero e um, é obtido por maximizar a probabilidade total ( $L$ ) em todos os períodos de tempo de todos os modelos. (RAJAGOPALAN *et al.*, 2002). Para “z” modelos:

$$L = \prod_{t=1}^T \left\{ \sum_{m=1}^z [w_m P_{m,t}] \right\} \quad (3)$$

#### 2.1.4 Avaliação de Desempenho

Um método de avaliação do desempenho das previsões pode ser visto por meio da análise estatística de frequência para comparar o registro histórico com o registro simulado de variáveis meteorológicas, a partir de *hindcasts*.

A avaliação da habilidade de precisão inclui a mediana e o erro médio quadrático total, os coeficientes de correlação de Pearson e são classificados em pontuação de habilidade de probabilidade (RPSS- *rank probability skill score*). (WILKS, 1995; SUN *et al.*, 2006;

BLOCK & RAJAGOPALAN, 2008). Equações relevantes e descrições são fornecidas logo abaixo.

A raiz do erro médio quadrático total (TRMSE-*Total root mean square error*) pode ser descrita pela equação (4):

$$TRMSE_m = \sum_{n=1}^N \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{t^*} (x_{o,t} - x_{m,t})^2}{t^*}} \quad (4)$$

Os coeficientes de correlação de Pearson são calculados utilizando-se a mediana da previsão. A mediana da raiz do erro médio quadrático é idêntica, exceto pelo somatório e utilização do conjunto de medianas. Coeficiente de correlação de Pearson:

$$R_m = \frac{\sum_{t=1}^{t^*} (x_{m,t} - \bar{x}_m)(x_{o,t} - \bar{x}_o)}{(t^* - 1)\sigma_m\sigma_o} \quad (5)$$

onde  $m$  é o número do modelo,  $n$  é o membro do conjunto,  $x_{o,t}$  é o valor da vazão observada no instante  $t$ ,  $x_{m,t}$  é o valor da vazão *hindcast*,  $x_o$  e  $x_m$  representam a média e mediana observadas no modelo conjunto médio, respectivamente, e  $\sigma_o$  e  $\sigma_m$  são os desvios-padrão observados e da mediana do modelo conjunto, respectivamente.

A classificação pelo método do *rank* das probabilidades da habilidade de previsão (RPSS-*Rank Probability Skill Score*) é uma medida da habilidade da previsão conjunta em comparação com previsões por climatologia. (WILKS, 1995. SUN *et al.*, 2006. BLOCK & RAJAGOPALAN, 2008). A equação da classificação geral da pontuação de probabilidade (RPS) para qualquer ano tem a forma:

$$RPS = \sum_{m=1}^R (CP_{F,m} - CP_{O,m})^2 \quad (6)$$

onde  $R$  é o número de categorias (três na previsão por tercís, ou seja, acima, próximo e abaixo do normal), e  $CP_{F,m}$  e  $CP_{O,m}$  são os acumulados previsto e observado das probabilidades, respectivamente, por meio da categoria  $m$ . Para as três categorias de igual tamanho, a probabilidade climatológica de estar em cada um é de 33%; para a categoria que é observada a probabilidade é de 100% e zero nos outros dois. Previsões perfeitas resultam em RPS igual a zero. O RPSS é definido como:

$$RPSS = 1 - \frac{RPS_{FORECAST}}{RPS_{CLIMATOLOGY}} \quad (7)$$

Na classificação da probabilidade habilidade os valores variam de  $-\infty$  a  $+1$ . Um valor de  $+1$  representa a perfeita habilidade (ou seja, uma previsão perfeita), enquanto valores negativos simbolizam uma habilidade pobre; qualquer valor maior que zero corresponde a uma melhor previsão sobre climatologia. O RPSS é calculado para cada período de previsão.

Outro método bastante comum para avaliar o desempenho do modelo é o da máxima verossimilhança, calculando o estimador de máxima verossimilhança. Para calcular este estimador é necessário definir a função de verossimilhança para as observações  $y_1, \dots, y_n$ , correspondentes às variáveis  $Y_1, \dots, Y_n$ , que é dada por:

$$L(\theta) = f(y_1, \dots, y_n; \theta), \quad (8)$$

onde  $f$  é uma densidade de probabilidade conjunta do vetor das observações  $(y_1, \dots, y_n)$  e  $\theta$  é um vetor de parâmetros a ser estimado.

A metodologia da máxima verossimilhança será detalhada e descrita a seguir no subitem 4.2.

### 2.1.5 Comparação Entre Abordagens

Realiza-se aqui uma comparação entre as diferentes abordagens. A Tabela 2.1 apresenta o resumo comparativo entre os modelos estatístico e dinâmico.

Tabela 2.1 - Modelo Estatístico x Modelo Dinâmico.

<b>Modelos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Estatístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tem como base dados reais observados;</li> <li>-Não há necessidade de conhecimento dos processos físicos;</li> <li>-Muitas relações climáticas quasi-Linear, quasi-Gaussian;</li> <li>-Baixo custo computacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Depende da qualidade dos dados e comprimento da série de observações;</li> <li>-Não pode avaliar completamente mudança climática ou novas situações climáticas.</li> </ul>
Dinâmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de leis físicas;</li> <li>-Não necessita de qualidade dos dados observados, mas necessita de validação;</li> <li>-Pode avaliar casos que nunca ocorreram.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Algumas leis físicas devem ser abreviadas ou estimadas estatisticamente, levando a erros e distorções;</li> <li>-Computação intensiva.</li> </ul>

## 2.2 Modelos de previsão estatística

Um modelo é uma representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e de buscar suas respostas para diferentes entradas. Quanto mais completos forem os sistemas, mais desafiadores e necessários serão os modelos. O modelo por si só não é um objetivo, mas uma ferramenta para atingir um objetivo. (TUCCI, 1998).

A seguir, serão apresentadas metodologias de modelagem estatística passíveis de serem utilizadas na construção de modelos climáticos.

### 2.2.1 Modelo de Regressão Linear (MLR) e Mínimos Quadrados

O modelo linear tem sido um dos pilares da estatística há mais de 30 anos e continua sendo uma ferramenta importante. O objetivo da regressão é a predição do valor de uma ou mais variáveis objetivo ( $\hat{Y}$ ), dadas as variáveis de entrada ( $X$ ). O polinômio é um exemplo específico de uma ampla classe de funções chamadas modelos de regressão linear (MRL), que compartilham a propriedade de ser uma função linear dos parâmetros ajustáveis. As formas mais simples dos modelos de regressão linear também são funções lineares das variáveis de entrada. Dado um vetor de entrada  $X = (X_1, X_2, \dots, X_j)$ , prevê-se a saída  $Y$ , via modelo:

$$\begin{cases} \hat{Y} = f(X) = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^p X_j \hat{\beta}_j \\ \beta_0 = \text{Viés} \end{cases} \quad (9)$$

O termo  $\hat{\beta}_0$  é uma interceptação, também conhecido como o viés de aprendizagem de máquina. Aqui os termos  $\hat{\beta}_j$  são parâmetros ou coeficientes desconhecidos, e as variáveis  $X_j$  podem vir de diferentes fontes: informações quantitativas, transformações de informações quantitativas (como raiz quadrada), dentre outras.

Uma dúvida surge quando se necessita ajustar o conjunto de dados de treinamento ao modelo linear. Existem diferentes métodos, porém o mais popular é o método dos mínimos quadrados. No exemplo que segue, foi escolhido o coeficiente  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$  para minimizar a soma dos quadrados dos resíduos:

$$\begin{aligned}
 RSS(\beta) &= \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 \\
 &= \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^p X_j \hat{\beta}_j)^2
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

$RSS(\beta)$  é a função quadrática dos parâmetros, e portanto sempre existe, porém não é única.

### 2.2.2 Modelo de Regressão *Stepwise* (passo à passo)

Quando as variáveis preditoras disponíveis são muitas, o comum é permitir que algum procedimento de seleção (*stepwise*) determine quais variáveis devem entrar na função discriminante.

O procedimento *stepwise* é uma generalização do procedimento *forward* (passo à frente), quando, após cada etapa de incorporação de uma variável, tem-se uma etapa em que uma das variáveis já selecionadas pode ser descartada. Procedimentos de seleção *stepwise* diferem de outros métodos sequenciais em que a decisão de incluir um preditor é irreversível.

O processo funciona da seguinte maneira. Primeiramente, cada variável preditora tem seu valor de distribuição de probabilidade  $F$  calculado, tratando cada variável como se fosse o único indicador disponível. O indicador com o maior valor de  $F$  é, então, escolhido para entrar na função discriminante. Etapas sucessivas adicionam (ou eliminam) os preditores novos com base em seus valores de  $F$  calculados condicionados aos preditores que já fazem parte do sistema. O processo termina quando não se pode mais excluir e/ou incluir variáveis de acordo com o valor de  $F$  calculado.

### 2.2.3 Métodos de Encolhimento – Regressão *Ridge*

A seleção de subconjunto de preditores pode produzir um modelo que é interpretável e tem erro de previsão possivelmente menor do que o modelo completo. No entanto, por ser um processo discreto - variáveis são mantidas ou descartadas - muitas vezes apresentam grande variação, não reduzindo os erros de previsão do modelo completo. Os métodos de encolhimento são mais contínuos e não sofrem tanto com a alta variabilidade.

A regressão *ridge* encolhe os coeficientes de regressão, reduzindo o valor dos coeficientes, impondo uma penalidade ao seu tamanho. Os coeficientes *ridge* minimizam a soma dos quadrados dos resíduos penalizados,

$$\hat{\beta}^{ridge} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p \beta_j^2 \right\}. \quad (11)$$

Aqui  $\lambda \geq 0$  é um parâmetro de complexidade que controla a quantidade do encolhimento: quanto maior o valor de  $\lambda$ , maior o encolhimento. A ideia da penalidade pela soma dos quadrados dos parâmetros é também usada em redes neurais, onde é conhecida como deterioração (decaimento) do peso.

Uma maneira equivalente de escrever o problema *ridge* é

$$\hat{\beta}^{ridge} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 \right\} \quad (12)$$

sujeito a  $\sum_{j=1}^p \beta_j^2 \leq s,$

o que torna explícita a restrição do tamanho dos parâmetros. Existe uma correspondência entre os parâmetros  $\lambda$  em (11) e  $s$  em (12). Quando há muitas variáveis correlacionadas em um modelo de regressão linear, os seus coeficientes podem tornar-se mal determinados e exibir uma grande variação. Um coeficiente muito positivo em uma variável pode ser cancelado por um coeficiente muito negativo no seu primo correlacionado. Impondo uma restrição de tamanho aos coeficientes, como na equação (12), esse fenômeno é impedido de ocorrer.

As soluções *ridge* não são equivariantes sob o dimensionamento das entradas, e, assim, devem ser normalmente padronizadas as entradas antes de resolver a equação (11).

A solução para (12) pode ser separada em duas partes, depois da reparametrização utilizando entradas centradas: cada  $x_{ij}$  é substituído por  $x_{ij} - \bar{x}_j$ . Estima-se  $\beta_0$  por  $\bar{y} = \sum_1^N y_i / N$ . Os coeficientes restantes são estimados por regressão *ridge* sem intercepto, com o  $x_{ij}$  centrado. A partir de agora, assume-se que esta centralização se fez para que a matriz de entrada  $X$  tenha  $p$  (em vez de  $p+1$ ) colunas.

Escrevendo o critério na (11) na forma matricial,

$$RSS(\lambda) = (y - X\beta)^T (y - X\beta) + \lambda \beta^T \beta \quad (13)$$

as soluções de regressão *ridge* são facilmente vistas como



$$\hat{\beta}^{\text{ridge}} = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T y, \quad (14)$$

onde  $I$  é a matriz identidade  $p \times p$ .

A decomposição em valores singulares (SVD) da matriz de entrada  $X$  centrada fornece alguns esclarecimentos adicionais sobre a natureza da regressão ridge. Esta decomposição é extremamente útil na análise de muitos métodos estatísticos. A SVD de  $N \times p$  da matriz  $X$  tem a forma

$$X = U D V^T. \quad (15)$$

Aqui,  $U$  e  $V$  são matrizes ortogonais  $N \times p$  e  $p \times p$ , com as colunas de  $U$  medindo o espaço da coluna de  $X$ , e as colunas de  $V$  medindo o espaço da linha.  $D$  é uma matriz diagonal  $p \times p$ , com entradas diagonais  $d_1 \geq d_2 \geq \dots \geq d_p \geq 0$  chamadas valores singulares de  $X$ .

A SVD da matriz centrada  $X$  é outra maneira de expressar as componentes principais das variáveis em  $X$ . A matriz de covariância da amostra é dada por  $S = X^T X / N$ , e de (14), tendo:

$$X^T X = V D^2 V^T, \quad (16)$$

que é a auto decomposição de  $X^T X$  (e de  $S$ , até um fator  $N$ ).

#### 2.2.4 Modelo de Regressão da Componente Principal

Independentemente da área de estudo, a coleta de dados informativos sobre questões complexas, normalmente, não é fácil. Uma das primeiras decisões que o pesquisador enfrenta é a de quais variáveis medir. Quando muitas variáveis são medidas, no entanto, aparecem alguns problemas práticos. Por exemplo, com apenas 10 variáveis há 45 correlações que devem ser consideradas; com 20 variáveis há 190 correlações; com 40 variáveis há 780; e o número de coeficientes da correlação continua aumentando à medida que aumenta o número de variáveis medidas. O cálculo da quantidade de correlações é apresentado na equação (17). Salienta-se que com um grande número de variáveis, o número de relações é tão grande que fica incompreensível, e necessita, assim, da aplicação de alguma técnica de redução sistemática de dados que possa resumir grandes matrizes.

$$\left(\frac{N^2 - N}{2}\right) \quad (17)$$

onde  $N$  é o número de variáveis. A análise da componente principal, ou PCA, é uma técnica amplamente utilizada em aplicações, tais como a redução de dimensão, a compressão de dados com perdas, a extração de atributos e a visualização de dados. (JOLLIFE, 2002).

Há duas definições comumente usadas de PCA que dão origem ao mesmo algoritmo. A PCA pode ser definida como a projeção ortogonal dos dados em um menor espaço de dimensão linear, conhecido como o subespaço principal, de modo que a variância dos dados projetados é maximizada. (HORELLING, 1933). Equivalentemente, pode ser explicada como a projeção linear que minimize o custo médio de projeção, definido como a distância média ao quadrado entre os pontos de dados e suas projeções.

A análise das componentes principais transforma o conjunto original de variáveis em um conjunto menor de combinações lineares que representam a maior parte da variância do conjunto original. O objetivo da análise dos componentes principais é determinar fatores para explicar o máximo da variação total nas informações com o menor número de fatores possíveis. As componentes principais são extraídas de forma que a primeira componente principal, denotada aqui por  $PC_{(1)}$ , represente a maior quantidade da variação total nos dados. Isto é,  $PC_{(1)}$  é a combinação linear das variáveis observadas  $X_j, j = 1, 2, \dots, p$ :

$$PC_{(1)} = w_{(1)1}X_1 + w_{(1)2}X_2 + \dots + w_{(1)p}X_p \quad (18)$$

onde os pesos  $w_{(1)1}, w_{(1)2}, \dots, w_{(1)p}$  foram escolhidos para maximizar a relação entre a variação da  $PC_{(1)}$  e a variação total, sujeito à restrição  $\sum_{j=1}^p w_{(1)j}^2 = 1$ .

A segunda componente principal,  $PC_{(2)}$ , é a combinação linear ponderada das variáveis observadas que não foram correlacionadas na primeira combinação linear e que representa o montante máximo da variação total restante ainda não contabilizada pela  $PC_{(1)}$ . Em geral, então, a  $m$ -ésima componente principal é a combinação linear ponderada dos  $X$ 's,

$$PC_{(m)} = w_{(m)1}X_1 + w_{(m)2}X_2 + \dots + w_{(m)p}X_p \quad (19)$$

que tem a maior variância de todas as combinações lineares que não foram correlacionadas com todas as componentes principais extraídas anteriormente.

### 2.3 Modelo de simulação de operação de reservatório

A operação de reservatórios com escalas sazonais ou interanuais pode ser aprimorada com a utilização de informação climática. Neste contexto, a informação climática possibilita a avaliação de risco no processo de alocação de água.

Segundo Azevedo (1997) e Yeh (1985), a simulação é uma técnica de modelagem utilizada para reproduzir o comportamento de um sistema no computador, representando as características desse sistema por meio do emprego de descrições algébricas ou matemáticas.

Um modelo de simulação de sistemas de reservatórios reproduz a performance hidrológica e, em alguns casos, a performance econômica do sistema para regras operacionais e vazões afluentes fornecidas. Os modelos são baseados no balanço de massa para reproduzir o caminhamento de água por meio do sistema de reservatórios. Várias estratégias podem ser adotadas na aplicação de modelos de simulação. Diversas rodadas são feitas para comparar a performance do sistema diante de configurações alternativas de reservatórios, armazenamentos, regras de operação, níveis de demanda e séries de vazões afluentes. Na modelagem e análise de um sistema de reservatório, algum mecanismo para representar as regras de funcionamento e/ou critérios de decisão deve ser incorporado ao modelo. Os modelos de simulação devem também ter a capacidade de analisar a operação do sistemas de reservatórios, utilizando medidas hidrológicas e de performance econômica, como por exemplo: vazões firmes, confiabilidade, rendimento da geração hidroelétrica, danos causados por enchentes e benefícios econômicos associados à diversas finalidades. (WURBS, 1993).

Os modelos de simulação são fáceis de entender e, por esta razão, são amplamente aceitos por altas escalas gerenciais, geralmente constituídos por não especialistas e até mesmo por leigos. Sendo assim, a simulação é uma ótima ferramenta no estudo da operação de sistemas de recursos hídricos complexos, incorporando a experiência e o julgamento do decisor ao modelo. (ROBERTO, 2002).

Os modelos de operação de reservatórios são utilizados para diferentes funções no gerenciamento dos recursos hídricos, tais como o projeto dos reservatórios, a definição do volume de água outorgável (alocação de longo prazo), a definição do nível de racionamento a cada ano ou estação climática (alocação negociável) ou a operação em tempo real para controle de cheias. A modelagem para cada uma destas situações incorpora especificidades e níveis de detalhamento diferentes da bacia hidrográfica e do reservatório (isolado ou do sistema de reservatórios).

Labadi *et al.* (1986) desenvolveram o modelo de rede de fluxo, denominado MODSIM, para a alocação da água, que teve aplicações no Brasil, tendo sido estas apresentadas nos trabalhos de Souza Filho & Porto(1998).

Loucks desenvolveu o modelo IRIS (*Iterative River System Simulation*) pela *International Institute for Applied Systems Analyses* (IIASA) e a Cornell University. O modelo opera os reservatórios como função da estocagem e da estação do ano e opera o sistema de reservatórios de forma combinada.

Wurbs *et al.* (1996) desenvolveram o modelo RESSALT que contempla a operação de sistemas de reservatórios sujeitos a processos de salinização.

Os modelos HEC 5 (HEC,1982), bem como o HEC 3, foram muito utilizados, tendo sido o modelo HEC 3 escolhido e utilizado na realização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, no Estado do Ceará, SRH-Ce (1991). Lund *et al.* (1995) propuseram um modelo de rede de fluxo para a alocação de água baseado em simulador desenvolvido pelo *Corps Engineering* no modelo HEC-PRN.

Fontanne (1997) desenvolveu modelagem do planejamento da operação de reservatórios utilizando lógica Fuzzy na definição da função objetivo. Essa aplicação busca introduzir os conjuntos difusos na incorporação dos desejos conflituosos dos usuários e usos na função objetivo de um modelo de otimização. Essa linha de pesquisa é compartilhada por Russell *et al.* (1996) e Huang (1996).

Porto (2002), do Laboratório de Sistema de Suporte a Decisão da USP, desenvolveu a Plataforma AQUANET que contém simulador/otimizador de sistemas de reservatórios, utilizando programação linear com algoritmo de rede de fluxo para otimizar a alocação sob sistema de prioridades.

O Professor Nilson Campos da UFC desenvolveu uma teoria de operação de reservatório adequada às condições hidrológicas/climáticas do Semiárido Brasileiro com duas estações hidrológicas (seca e úmida) bem definidas.

### 2.3.1 Zoneamento de reservatório

Um plano de operação ou política de liberação de água é um conjunto de orientações para a determinação da quantidade de água a ser armazenada para depois ser liberada ou retirada de um reservatório ou de um sistema de diversos reservatórios. (WURBS, 2005).

Existem diversas regras de operação, mas todas indicam o volume do reservatório ou a vazão efluente que se pretende atingir em determinados períodos de tempo, como o diário, o decenal, o semanal ou o mensal. (LOUCKS *et al.*, 1981 *apud* BRAVO, 2006). Estas regras visam atender aos requerimentos de vazões efluentes e à demanda dos sistemas para otimizar determinados objetivos. (MAYS e TUNG, 1992 *apud* BRAVO, 2006).

Uma das técnicas bastante utilizadas mundialmente para definir regras de operação de sistema de reservatórios é a divisão do volume do reservatório em diferentes “zonas” de utilização. Um reservatório típico consiste de uma ou mais das zonas verticais, como ilustrado pela Figura 2.4. A atribuição de capacidade de armazenamento entre grupos pode ser permanente ou pode variar com as estações do ano ou outros fatores. (WURBS, 2005).

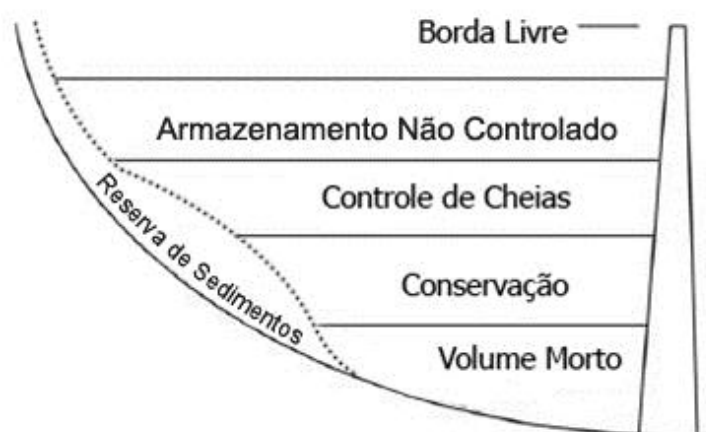


Figura 2.4 - Zonas do Reservatório.

Os subitens a seguir definem o objetivo de cada zona do reservatório.

#### 2.3.1.1 Reserva de sedimentos

A capacidade de armazenamento do reservatório é perdida ao longo do tempo devido à sedimentação. A taxa de deposição de sedimento varia entre locais do reservatório, dependendo das taxas de fluxos e das cargas do sedimento nos rios que fluem para os reservatórios. Como mostrado na Figura 2.4, o depósito de sedimentos ocorre ao longo de cada uma das zonas do reservatório. Com a diminuição das vazões nas camadas superiores do reservatório, os sedimentos são depositados formando-se deltas. As partículas menores movem-se mais no reservatório antes de sua decomposição. O monitoramento do

comportamento da sedimentação em um reservatório pode ser feito por meio de estudos topográficos realizados com certa periodicidade no reservatório. (WURBS, 1996).

#### 2.3.1.2 Volume morto ou zona inativa

A zona destinada ao volume morto, também denominado de zona inativa, é o volume mínimo necessário de um reservatório para que se possa garantir a sobrevivência dos seres vivos que lá habitam.

As liberações e as retiradas de água não podem ser realizadas diretamente dessa zona do reservatório. Sendo assim, a tomada d'água da barragem deve se encontrar em uma cota acima na zona inativa do reservatório.

#### 2.3.1.3 Volume para fins de conservação do reservatório

Os fins de conservação, tais como o abastecimento de água municipal e industrial, a irrigação, a navegação, a energia e a manutenção da vazão ecológica, envolvem armazenamento de água durante os períodos de alta vazão e/ou baixa demanda para uso posterior e beneficiamento, conforme necessário. O armazenamento para conservação também oferece oportunidades para a recreação. (WURBS, 1996).

Por se tratar de uma zona destinada ao abastecimento humano, animal, industrial, dentre muitas outras finalidades, a zona de conservação é de suma importância quando se dimensionar a capacidade do reservatório.

#### 2.3.1.4 Volume de controle de cheias

A zona do reservatório destinada ao controle de cheias permanece vazia, exceto durante e imediatamente após uma cheia. O topo da elevação de controle de cheias é geralmente definido pela crista do vertedouro de armazenamento descontrolado, com o lançamento sendo feito por meio de estruturas de saída, sangradouro e tomada d'água do reservatório. (WURBS, 1996).

### 2.3.1.5 Volume de armazenamento não controlado

A zona de armazenamento não controlado é, essencialmente, a capacidade de armazenamento não controlada acima do volume controle de cheias (ou zona de conservação do reservatório, se não houver área destinada ao controle de cheias). O perfil máximo da superfície da água do reservatório é estabelecido durante a fase de seu projeto, almejando sempre a questão da segurança. (WURBS, 1996).

A zona destinada ao armazenamento não controlado é utilizada devido à probabilidade de ocorrer eventos extremos que ainda não tenham acontecido ou que ocorrem raramente, e que visam primordialmente a segurança da barragem contra tombamento ou o arrombamento da mesma. (LOBO NETO, 2009).

### 2.3.1.6 Borda livre

Para a maioria das barragens, o topo da elevação da barragem inclui uma borda livre acima do topo do armazenamento descontrolado para fazer frente à ação das ondas e dar um fator de segurança adicional contra o galgamento. A parte destinada à borda livre é calculada com a previsão das ondas que serão formadas ao longo do lago do reservatório, sendo assegurado, assim, que nunca a superfície da água do projeto exceda a cota do coroamento da barragem do reservatório. (WURBS, 1996).

## 2.3.2 Descrição do modelo de simulação/otimização AcquaNet

A simulação de sistemas de reservatórios pode ser realizada pelo modelo AcquaNet, desenvolvido pelo LabSid (Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão) da Escola Politécnica da USP. O AcquaNet é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, no qual o usuário pode montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais (da ordem de alguns milhares), representando o problema que se deseja estudar de forma bastante detalhada.

O modelo AcquaNet tem origem no modelo MODSIM desenvolvido pelo Prof. Labadie da CSU (Colorado State University). Este modelo realiza a operação dos reservatórios pela aplicação de um sistema de prioridades e custos otimizados por modelo de

programação linear de rede de fluxo. A interface do AcquaNet foi desenvolvida pelo grupo do Porto (2002), no LabSid da Escola Politécnica da USP.

O AcquaNet faz parte de uma classe de modelos denominada de modelos de rede de fluxo. Os modelos de rede de fluxo, na realidade, misturam características dos modelos de simulação e otimização, e podem incorporar as características estocásticas das vazões de entrada.

O modelo utiliza uma estrutura de rede formada por “nós” e “arcos” para representar o sistema de recursos hídricos. Os nós simbolizam elementos pontuais do sistema (reservatórios, demandas, importações e confluências), enquanto os arcos simbolizam as ligações entre os nós (trechos de rios, adutoras, canais naturais ou artificiais e outros elementos semelhantes). Cada arco é caracterizado por três parâmetros, ou seja, os limites superior ( $S_{i,j}$ ) e inferior ( $I_{i,j}$ ) do fluxo que passam pelo arco (ex.: capacidade máxima e mínima de um canal) e um “custo” ( $C_{i,j}$ ) por unidade de fluxo que transita pelo arco. Os custos podem ser positivos ou negativos, ou seja, podem representar uma penalidade (no caso de custo positivo) ou um prêmio (custo negativo), e a equação (20) é a função objetivo que representa o custo total da rede. Este custo não significa, obrigatoriamente, um valor financeiro, podendo representar preferências estabelecidas pelo usuário. As capacidades máxima e mínima de cada arco podem ser fixas para todo o período de simulação ou podem variar ao longo do tempo. (ROBERTO & PORTO, 1999).

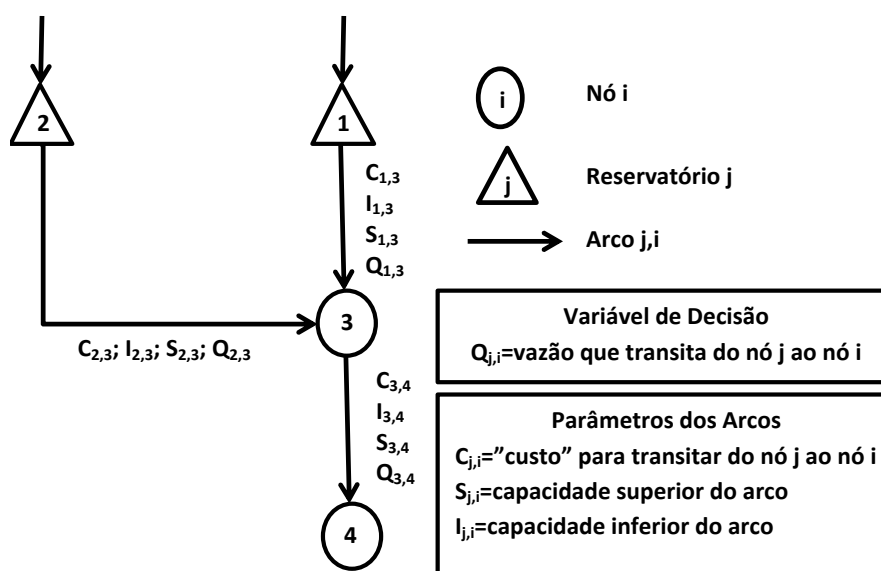


Figura 2.5 - Representação de um sistema como uma rede de fluxo.  
 Fonte: ROBERTO, 2002.



Em um modelo de rede de fluxo, cada um dos elementos (nós e arcos) deve conter as características da estrutura que representa. Algumas dessas características, especificadas por tipo de elemento, são:

- reservatórios: volumes máximos e mínimos, curva cota-área-volume, níveis de armazenamento desejados, série de vazões afluentes, taxa de evaporação;
- demandas: valor e distribuição temporal da demanda, prioridade de atendimento, retornos;
- arcos: capacidades máximas e mínimas, custo, perdas por infiltração.

Quando um modelo de rede de fluxo é aplicado na análise de sistemas de recursos hídricos, o algoritmo do modelo busca minimizar o custo total da rede que representa o problema em estudo. Normalmente, são utilizados algoritmos de programação linear muito eficientes, como por exemplo o algoritmo conhecido como *Out-of-Kilter*, utilizado pelo modelo AcquaNet. A forma geral do problema de programação linear com rede de fluxo é (LOUCKS *et al.*, 1981):

Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} Q_{ij} \quad (20)$$

sujeita a

$$\sum Q_{ij} = \sum Q_{ji} \quad (21)$$

para cada nó e

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (22)$$

para cada arco.

A restrição representada pela equação (21) estabelece que a rede deve ser totalmente conservativa, ou seja, a soma das vazões que chega em algum nó deve ser exatamente igual à soma das vazões que saem deste mesmo nó. Já a restrição representada pela equação (22), determina que o fluxo que passa por cada arco deve estar sempre limitado pelas capacidades máxima e mínima deste arco. (ROBERTO & PORTO, 1999).

O modelo AcquaNet obedece a um de sistema de preferências (prioridade) para satisfazer as demandas e o armazenamento do hidrossistema. A prioridade tem valores que variam de 1 a 99, sendo esta uma sequência decrescente no nível de preferência, ou seja, o 1 terá maior preferência e o 99 terá menor preferência.

A Figura 2.6 apresenta a interface do modelo AcquaNet.

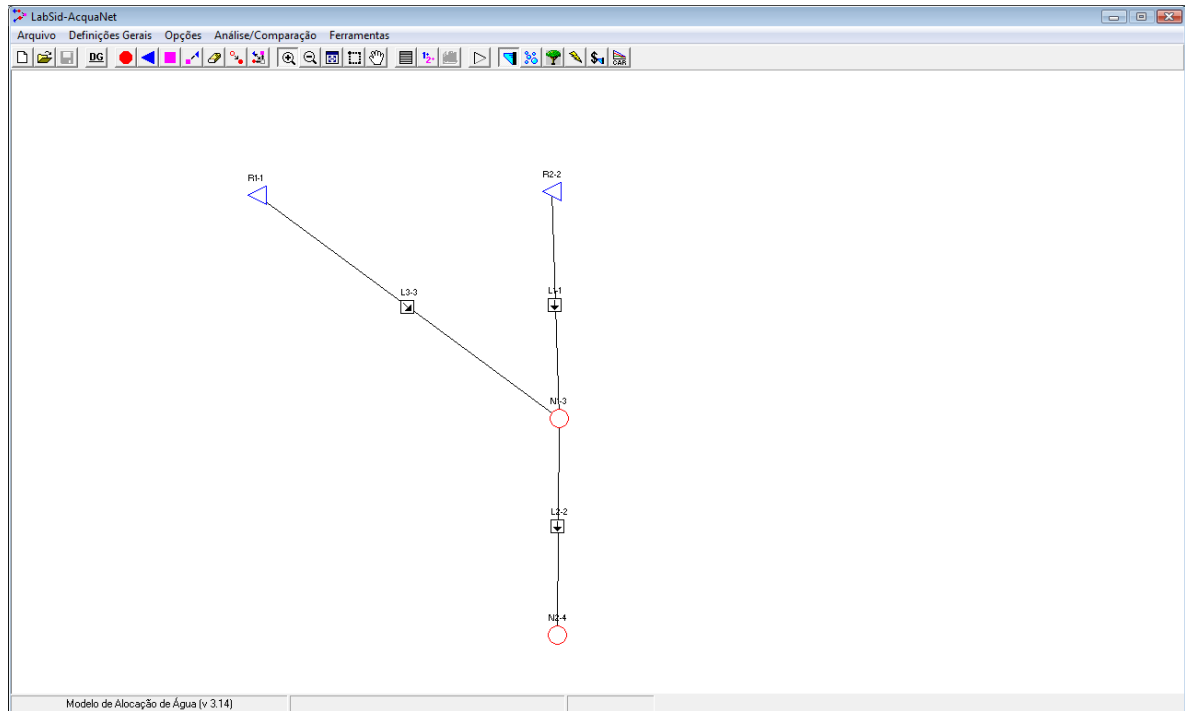


Figura 2.6 - Interface do programa AcquaNet.

### 3 LOCAL DE APLICAÇÃO

Para a aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho, foram escolhidos três locais de aplicação com diferentes escalas espaciais:

- Um reservatório individualizado, o Açude Orós no Ceará;
- O sistema de reservatórios Jaguaribe-Metropolitano do Ceará;
- Os reservatórios que serão beneficiados pela transposição do Rio São Francisco.

Os dados de vazões afluentes para os reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitano do Ceará foram obtidos por meio do Plano de Bacias das bacias do Jaguaribe e região Metropolitana. Para os reservatórios que serão beneficiados pela transposição do Rio São Francisco foram obtidos do estudo de Transposição do Rio São Francisco.

#### 3.1 Reservatório Individualizado – Açude Orós

Para aplicação da metodologia, foi escolhido primeiramente um reservatório individualizado, o Açude Orós, que é o reservatório com a maior quantidade de dados consistentes disponíveis. O reservatório Orós está localizado no leito do Rio Jaguaribe, no município de Orós, Estado do Ceará, aproximadamente a 450 km de Fortaleza e teve sua construção concluída no ano de 1961. Pertence à Bacia do Alto Jaguaribe, barrando o Rio Jaguaribe próximo à cidade de Iguatu; drenando uma área de cerca de 24.000 km<sup>2</sup> e tendo uma capacidade máxima de armazenamento de 1.940 hm<sup>3</sup>.



Figura 3.1 - Açude Orós.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Até a construção do açude Castanhão, o açude Orós era o maior reservatório do Estado do Ceará em capacidade de acumulação de água. Tem como finalidades: perenização do rio Jaguaribe, irrigação do Médio e Baixo Jaguaribe, piscicultura, culturas agrícolas de áreas de montante, turismo e abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza-RMF. (ARAÚJO, 1990).

Tabela 3.1 - Ficha técnica Açude Orós.

#### AÇUDE ORÓS

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.310.493	508.313	Orós	Alto Jaguaribe

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. (m <sup>3</sup> )	V. MORTO (m <sup>3</sup> )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
1.940.000.000	16.870.000	20.211	24.208,87	199,5	180	169

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
1962	DNOCS	Iguatu	DNOCS

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	161,4	113,6	89,5	86,4	100,9	147,1	188,1	217,8	218,9	236,6	214,9	212,8	1.988,0
MÉDIA	5,21	4,06	2,89	2,88	3,25	4,90	6,07	7,03	7,30	7,63	7,16	6,86	5,45

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

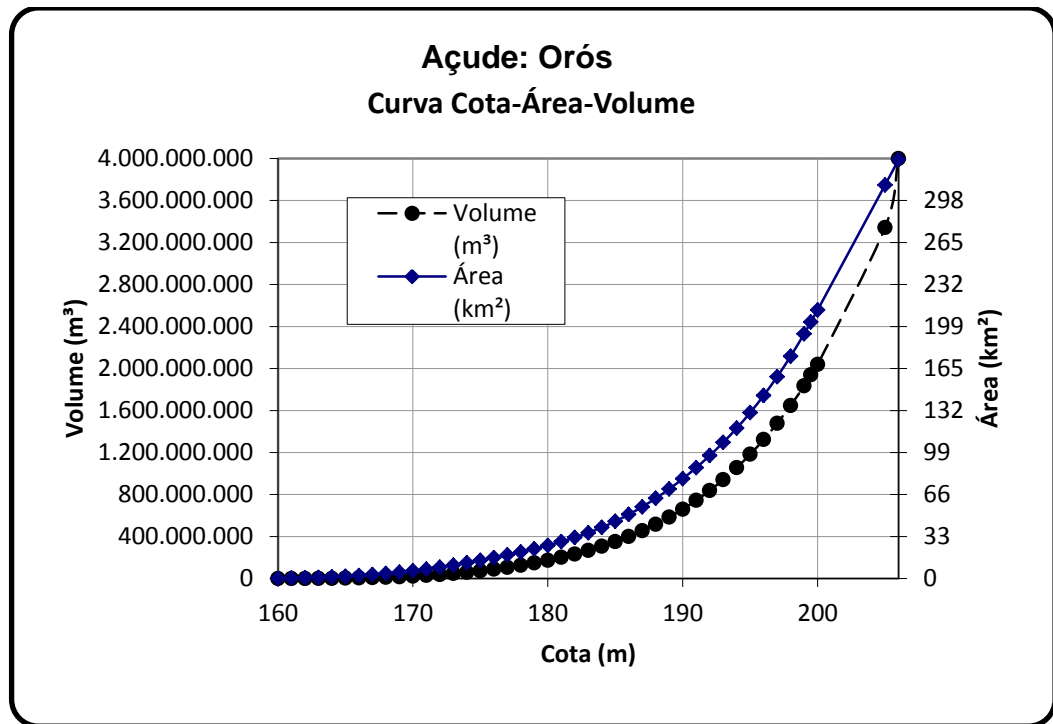


Figura 3.2 - Curva Cota-Área-Volume Orós.  
Fonte: COGERH, 2010.

### 3.2 Sistema Jaguaribe-Metropolitano

O segundo ponto para aplicação da metodologia consiste nos reservatórios que integram a rede de bacias da região Jaguaribe e Metropolitana, no Estado do Ceará. O Sistema Jaguaribe-Metropolitano é o principal sistema de reservatórios deste Estado. A Figura 3.3 apresenta a localização de cada reservatório que compõe o sistema.

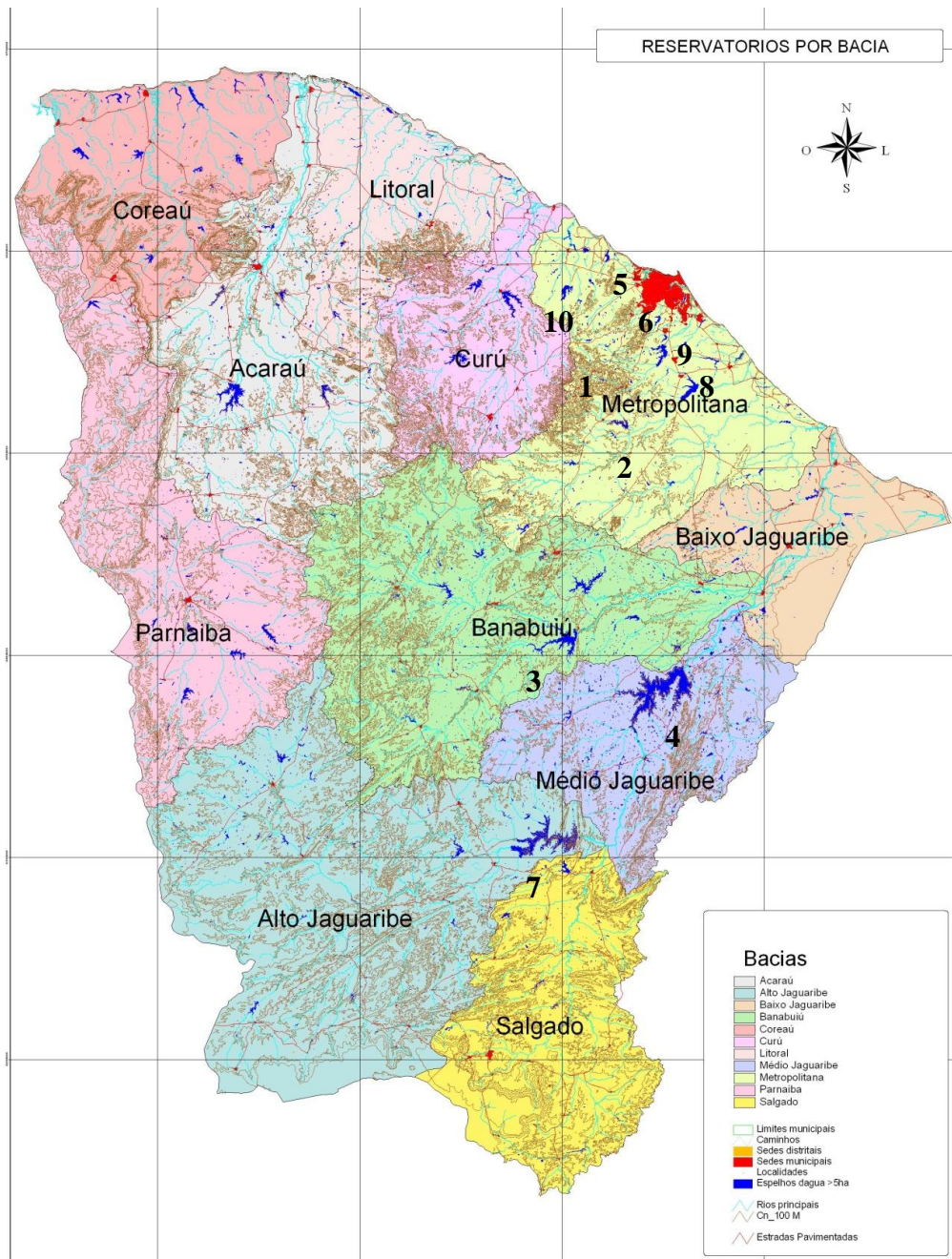


Figura 3.3 – Reservatórios do Ceará por Bacia Hidrográfica.  
 Onde: 1-Acaraú do Meio, 2- Aracoiaba, 3-Banabuiú, 4-Castanhão, 5-Cauhipe, 6-Gavião, 7-Orós, 8-Pacajus, 9-Pacoti-Riachão e 10-Sítios Novos.  
 Fonte: COGERH, 2010.

A rede de reservatórios Jaguaribe-Metropolitana é composta de dez reservatórios descritos a seguir:

- Açude Acarape do Meio - a barragem Eugênio Gudín, do Açude Acarape do Meio, está localizada no município de Redenção, Estado do Ceará, a cerca de 75 km de Fortaleza. Barra o rio Acarape e pertence à bacia hidrográfica Metropolitana. O reservatório tem uma capacidade de acumular 31,5 hm<sup>3</sup>. Tem como finalidade principal o abastecimento d'água da cidade de Fortaleza e de outras que se localizam no percurso da adutora. Secundariamente, destina-se à irrigação de lavouras a jusante da barragem, atende à piscicultura e às culturas agrícolas nas áreas de montante. (ARAUJO, 1990);



Figura 3.4 - Açude Acarape do Meio.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.2 - Ficha técnica Açude Acarape do Meio.

AÇUDE ACARAPE DO MEIO													
LOCALIZAÇÃO													
LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA										
9.536.618	523.593	Redenção	Metropolitanas										
INFORMAÇÕES GERAIS													
CAPAC. (m <sup>3</sup> )	V. MORTO (m <sup>3</sup> )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)							
31.500.000	30.000	220	197,13	130,0200043	60	105,5							
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES													
CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR										
1924	ESTADO	GEMET	AGIR										
EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	58,8	41,0	29,3	33,1	30,7	33,9	42,8	60,7	73,6	97,6	78,2	75,0	654,7
MÉDIA	1,90	1,46	0,95	1,10	0,99	1,13	1,38	1,96	2,45	3,15	2,61	2,42	1,79

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

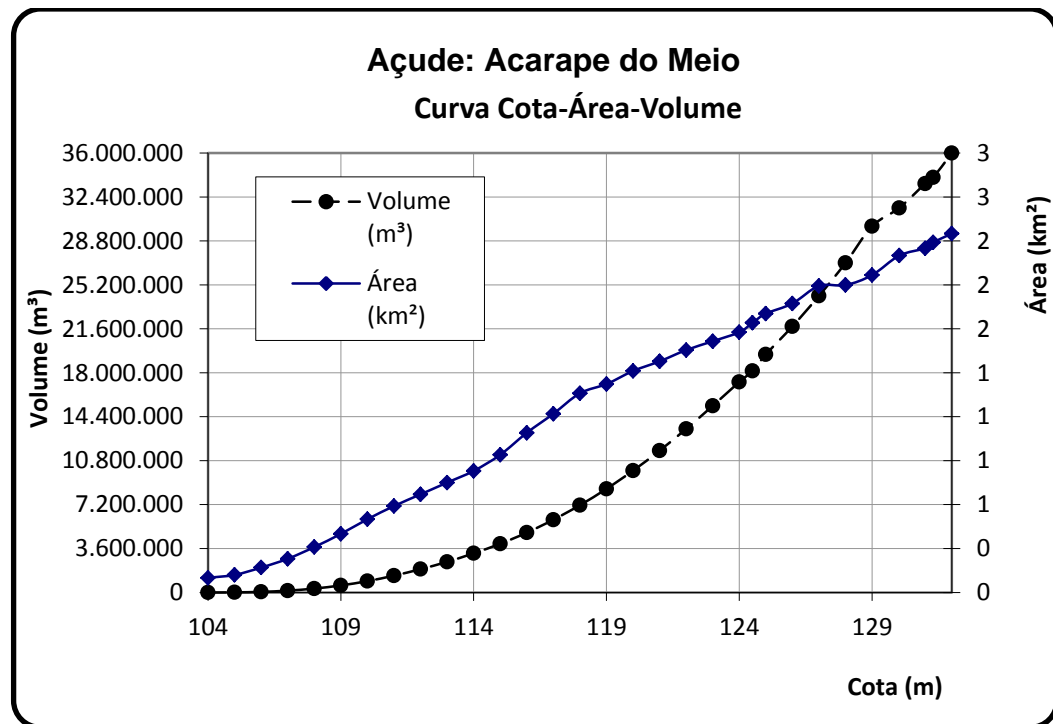


Figura 3.5 - Curva Cota-Área-Volume Açude Acarape do Meio.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Aracoiaba – a barragem Aracoiaba, do Açude Aracoiaba, pertence à bacia hidrográfica Metropolitana e está localizada no município de Aracoiaba, Estado do Ceará, a cerca de 72,5 km de Fortaleza. Barra o rio Aracoiaba, tendo o seu reservatório a capacidade de acumular 170,7 hm<sup>3</sup>;





Figura 3.6 - Açude Aracoiaba.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.3 - Ficha técnica Açude Aracoiaba.

#### AÇUDE ARACOIABA

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.513.200	553.650	Aracoiaba	Metropolitanas

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. (m <sup>3</sup> )	V. MORTO (m <sup>3</sup> )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
170.700.000	5.660.000	1.506	588,60	95	32	75

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
2003	ESTADO	GEMET	AGIR

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
<b>TOTAL</b>	189,0	136,9	102,9	81,8	83,6	108,2	149,0	206,8	245,9	282,3	241,3	241,8	2.069,5
<b>MÉDIA</b>	6,10	4,89	3,32	2,73	2,70	3,61	4,81	6,67	8,20	9,11	8,04	7,80	5,67

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

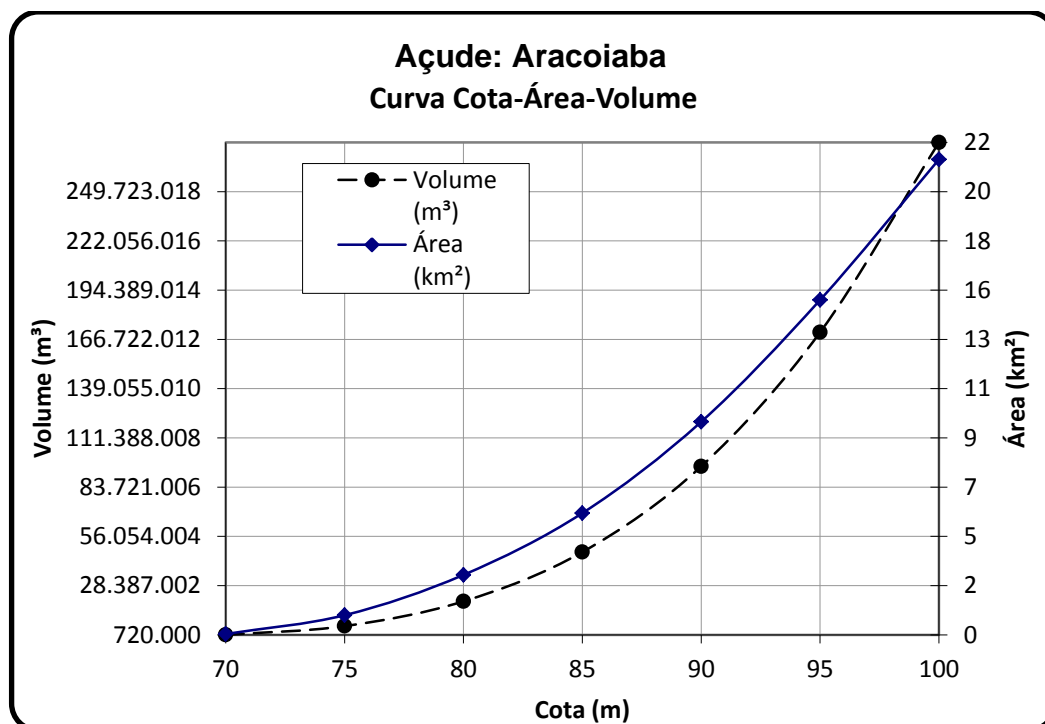


Figura 3.7 - Curva Cota-Área-Volume Açude Aracoiaba.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Banabuiú – a barragem Arrojado Lisboa, do Açude Banabuiú, está localizada no município de Banabuiú, Estado do Ceará, a cerca de 230 km de Fortaleza. Barra o rio Banabuiú que pertence ao sistema do rio Jaguaribe. Tem como finalidades: irrigação das terras do Baixo Jaguaribe, onde se destaca o Projeto de Irrigação Morada Nova, com cerca de 10.000 ha irrigáveis; controle das cheias do rio Banabuiú; piscicultura e aproveitamento das áreas de montante. O reservatório tem uma capacidade para 1601 hm<sup>3</sup>;



Figura 3.8 - Açude Banabuiú.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.4 - Ficha técnica Açude Banabuiú.

#### AÇUDE BANABUIÚ

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.411.109	508.724	Banabuiú	Banabuiú

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. ( $m^3$ )	V. MORTO ( $m^3$ )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. ( $km^2$ )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
1.601.000.000	185.641	14.487	14.243,93	142,5	102	94,12000275

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
1966	DNOCS	Quixeramobim	DNOCS

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	189,0	136,9	102,9	81,8	83,6	108,2	149,0	206,8	245,9	282,3	241,3	241,8	2.069,5
MÉDIA	6,10	4,89	3,32	2,73	2,70	3,61	4,81	6,67	8,20	9,11	8,04	7,80	5,67

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

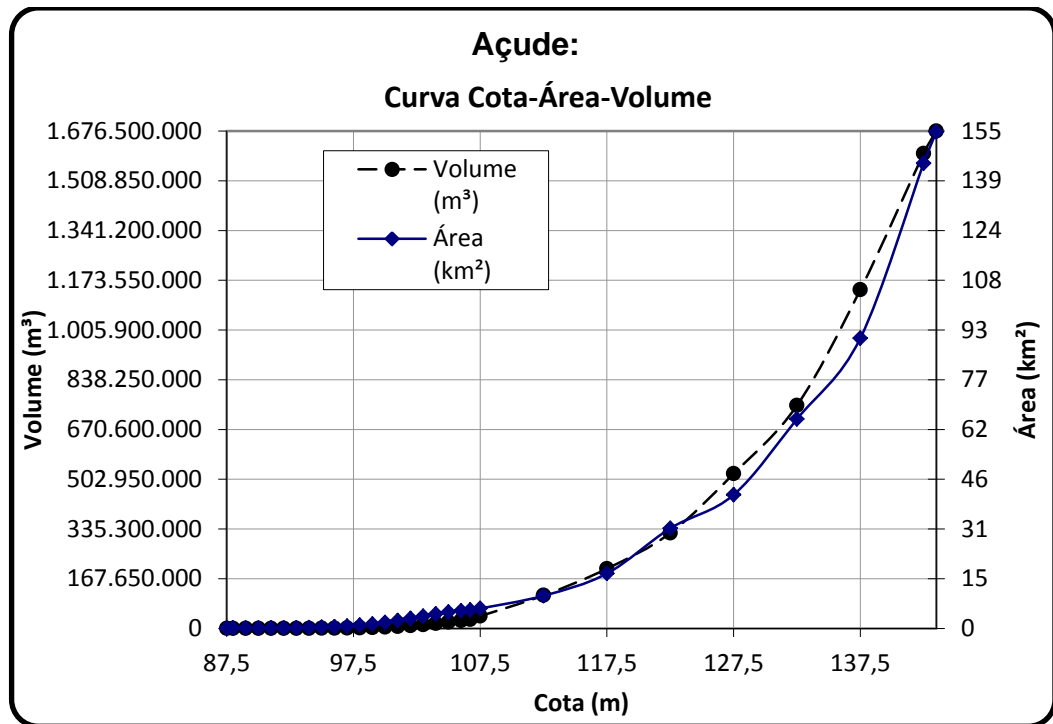


Figura 3.9 - Curva Cota-Área-Volume Açude Banabuiú.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Castanhão - localizado na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe, com sua capacidade de armazenamento em torno de 6700 hm<sup>3</sup>, responde, sozinho, por mais de 35,00% de toda a capacidade de armazenagem de água do Estado. Embora sua barragem esteja localizada no município de Alto Santo, dadas as suas grandes dimensões, o açude Castanhão compreende os limites geográficos de pelo menos quatro municípios cearenses: Jaguaribara (Nova Jaguaribara), Alto Santo, Jaguaretama e Jaguaribe;



Figura 3.10 - Açude Castanhão.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.5 - Ficha Técnica Açude Castanhão.

#### AÇUDE CASTANHÃO

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.393.231	560.587	Alto Santo	Médio Jaguaribe

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. ( $m^3$ )	V. MORTO ( $m^3$ )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. ( $km^2$ )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
6.700.000.000	57.500.000	44.100	44.850,00	106	153	56,5

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
2002	DNOCS	Limoeiro do Norte	DNOCS

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
<b>TOTAL</b>	207,7	149,8	87,7	90,1	112,4	128,7	179,6	243,8	246,7	279,3	256,9	249,5	2.232,2
<b>MÉDIA</b>	6,70	5,35	2,83	3,00	3,63	4,29	5,79	7,86	8,22	9,01	8,56	8,05	6,12

**TOTAL** - mm/mês; **MÉDIA** - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

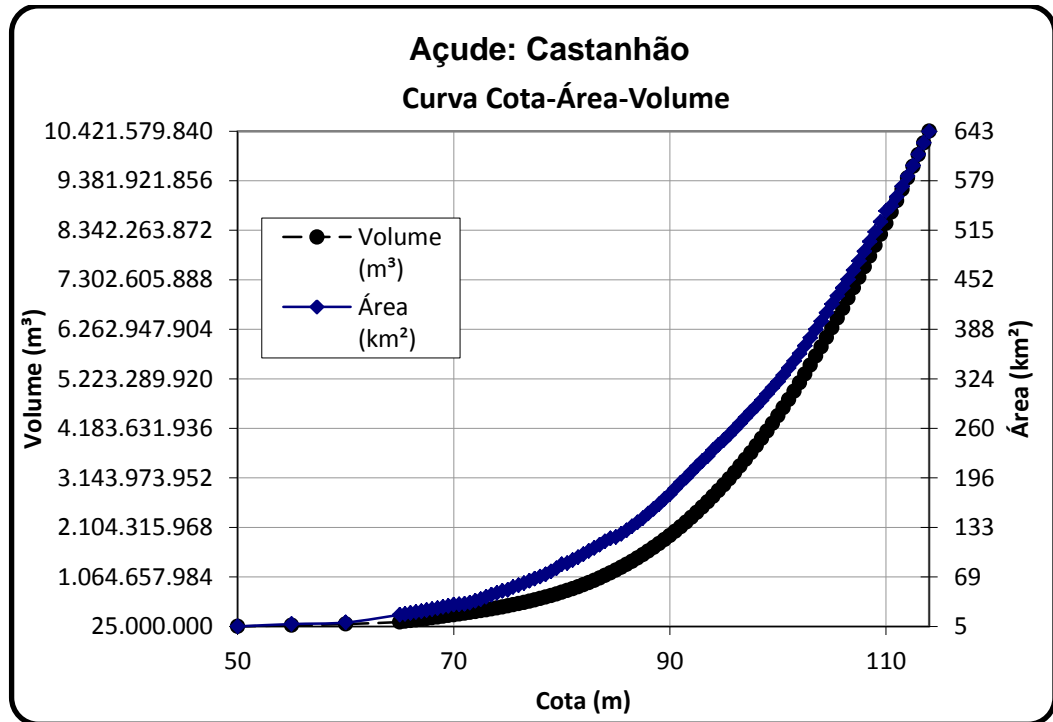


Figura 3.11 - Curva Cota-Área-Volume Açude Castanhão.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Cauhipe – localiza-se no município de Caucaia, Estado do Ceará, e pertence à bacia hidrográfica Metropolitana. Barra o riacho Cauhipe. Seu reservatório tem uma capacidade de acumular 12 hm<sup>3</sup>;



Figura 3.12 - Açude Cauhipe.  
Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.6 - Ficha Técnica Açude Cauhipe.

AÇUDE CAUHIPE													
LOCALIZAÇÃO													
LATITUDE (UTM)			LONGITUDE (UTM)			MUNICÍPIO			BACIA HIDROGRÁFICA				
9.586.984			514.823			Caucaia			Metropolitanas				
INFORMAÇÕES GERAIS													
CAPAC. (m <sup>3</sup> )		V. MORTO (m <sup>3</sup> )		B. HIDRÁULICA (ha)		B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )		C. SANGR. (m)		L. SANGR. (m)		C. TOM. (m)	
12.000.000		874.576		390		88,44		36,88999939		120		31,5	
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES													
CONSTRUÇÃO			ADMINISTRADOR			GERÊNCIA RESPONSÁVEL			TIPO OBSERVADOR				
1999			ESTADO			GEMET			AGIR				
EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
MÉDIA	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

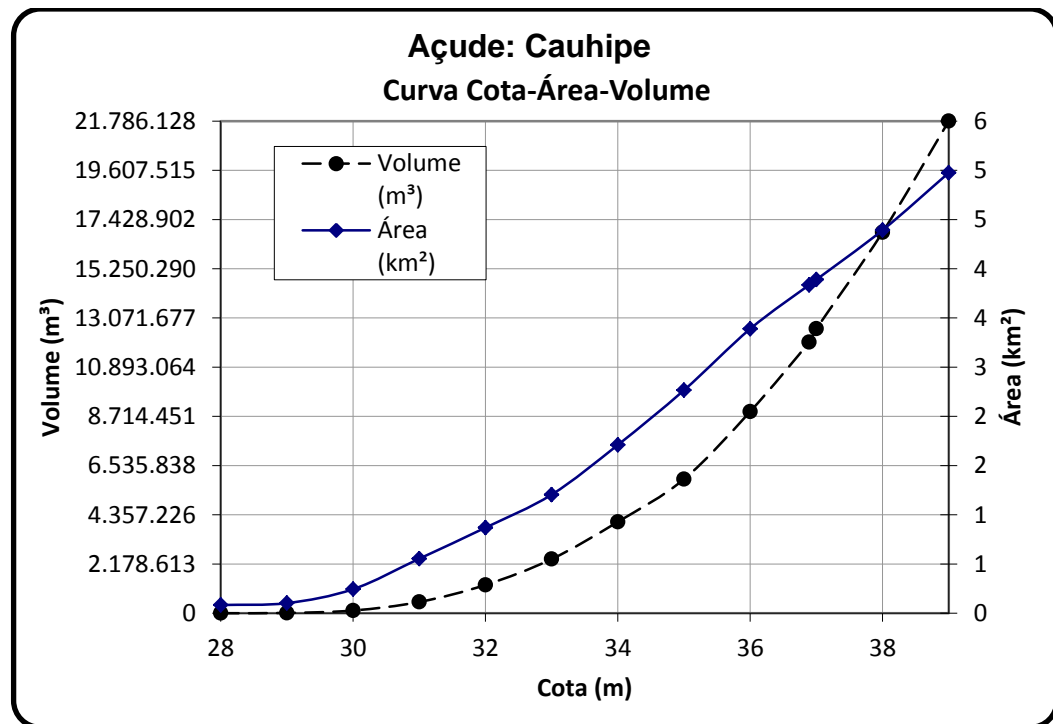


Figura 3.13 - Curva Cota-Área-Volume Açude Cauhipe.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Gavião - O Açude Gavião está localizado no município de Pacatuba, Estado do Ceará, e pertence à bacia hidrográfica Metropolitana. Barra o rio Cocó e tem uma capacidade de acumular 32,9 hm<sup>3</sup>. O açude foi construído para complementar a rede de abastecimento de água potável para a cidade de Fortaleza;



Figura 3.14 - Açude Gavião.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.7 - Ficha técnica Açude Gavião.

#### AÇUDE GAVIÃO

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.568.733	549.534	Pacatuba	Metropolitanas

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. (m <sup>3</sup> )	V. MORTO (m <sup>3</sup> )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
32.900.000	21.230.000	618	94,54	36	19,79999924	34

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
1974	ESTADO	GEMET	AGIR

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
MÉDIA	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.



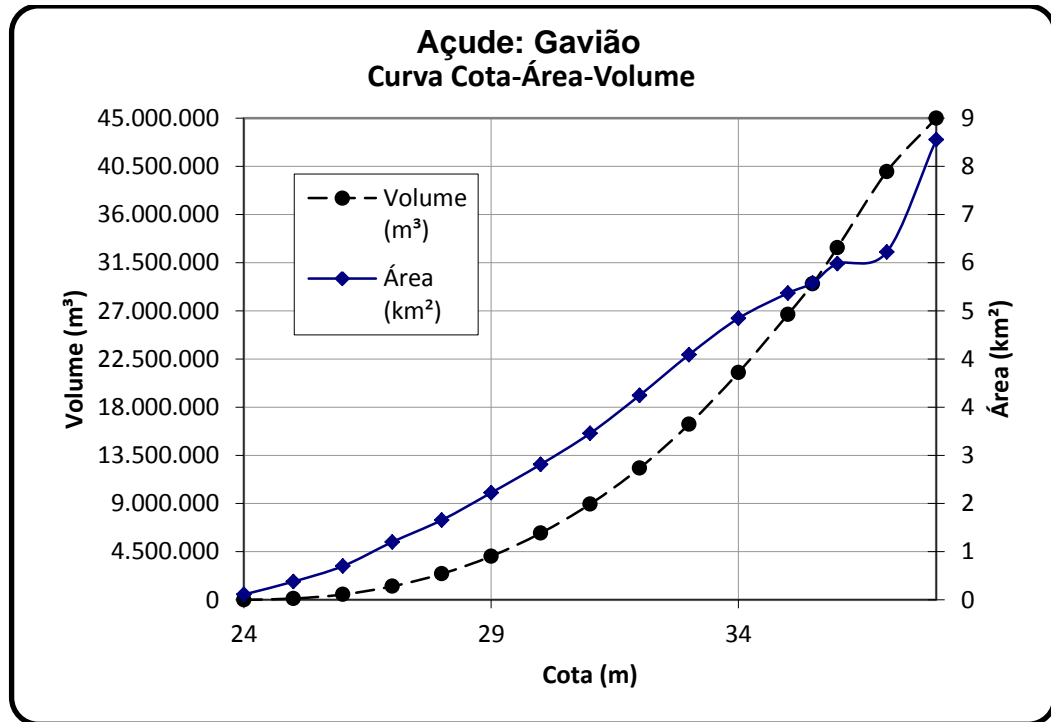


Figura 3.15 - Curva Cota-Área-Volume Açude Gavião.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Orós – sobre o Açude Orós, ver comentários no subitem 3.1;
- Açude Pacajus - localizado no município de Pacajus, Estado do Ceará, e pertencente à bacia hidrográfica Metropolitana, barra o rio Choró e tem uma capacidade de acumular 240 hm<sup>3</sup>;



Figura 3.16 - Açude Pacajus.  
Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.8 - Ficha técnica Açude Pacajus.

**AÇUDE PACAJUS**

**LOCALIZAÇÃO**

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.533.300	568.400	Pacajus	Metropolitanas

**INFORMAÇÕES GERAIS**

CAPAC. (m³)	V. MORTO (m³)	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km²)	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
240.000.000	34.710.000	3.556	4.486,13	38	867	30

**INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES**

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
1992	ESTADO	GEMET	AGIR

**EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
<b>TOTAL</b>	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
<b>MÉDIA</b>	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

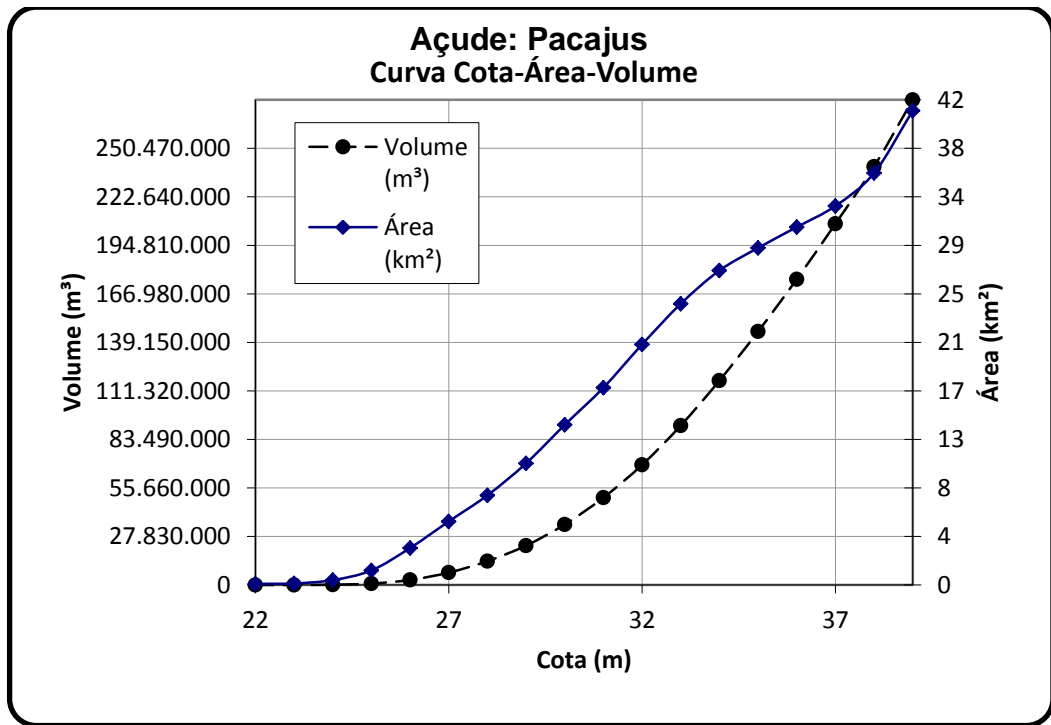


Figura 3.17 - Curva Cota-Área-Volume Açude Pacajus.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Pacoti e Açude Riachão – o Açude Pacoti e o Açude Riachão foram estudados juntos. O Açude Pacoti está localizado no município de Horizonte, enquanto o Açude Riachão na cidade vizinha, em Itaitinga, Estado do Ceará. Ambos pertencem à bacia hidrográfica Metropolitana e barram o rio Pacoti. As capacidades de acumulação de águas dos reservatórios somadas resultam em 426,950 hm³;



Figura 3.18 - Açude Pacoti.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.



Figura 3.19 - Açude Riachão.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.9 - Ficha técnica Açude Pacoti.

<b>AÇUDE PACOTI</b>													
<b>LOCALIZAÇÃO</b>													
LATITUDE (UTM)		LONGITUDE (UTM)		MUNICÍPIO				BACIA HIDROGRÁFICA					
9.554.155		552.178		Horizonte				Metropolitanas					
<b>INFORMAÇÕES GERAIS</b>													
CAPAC. (m <sup>3</sup> )		V. MORTO (m <sup>3</sup> )		B. HIDRÁULICA (ha)		B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )		C. SANGR. (m)		L. SANGR. (m)		C. TOM. (m)	
380.000.000		21.740.000		4.804		1.077,73		45		790		31	
<b>INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES</b>													
CONSTRUÇÃO			ADMINISTRADOR			GERÊNCIA RESPONSÁVEL				TIPO OBSERVADOR			
1981			ESTADO			GEMET				AGIR			
<b>EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE</b>													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
MÉDIA	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

Tabela 3.10 - Ficha técnica Açude Riachão.

<b>AÇUDE RIACHÃO</b>													
<b>LOCALIZAÇÃO</b>													
LATITUDE (UTM)		LONGITUDE (UTM)		MUNICÍPIO				BACIA HIDROGRÁFICA					
9.557.737		553.073		Itaitinga				Metropolitanas					
<b>INFORMAÇÕES GERAIS</b>													
CAPAC. (m <sup>3</sup> )		V. MORTO (m <sup>3</sup> )		B. HIDRÁULICA (ha)		B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )		C. SANGR. (m)		L. SANGR. (m)		C. TOM. (m)	
46.950.000		3.240.000		565		33,68		45		0		31	
<b>INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES</b>													
CONSTRUÇÃO			ADMINISTRADOR			GERÊNCIA RESPONSÁVEL				TIPO OBSERVADOR			
1981			ESTADO			GEMET				AGIR			
<b>EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE</b>													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
TOTAL	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
MÉDIA	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

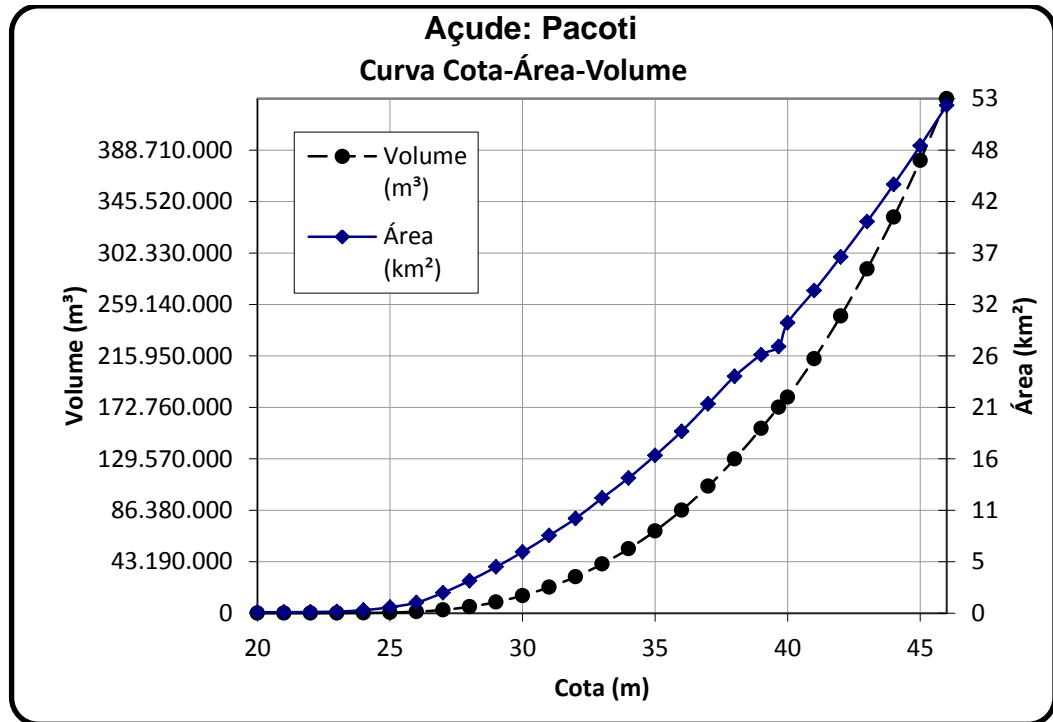


Figura 3.20 - Curva Cota-Área-Volume Açude Pacoti.  
Fonte: COGERH, 2010.

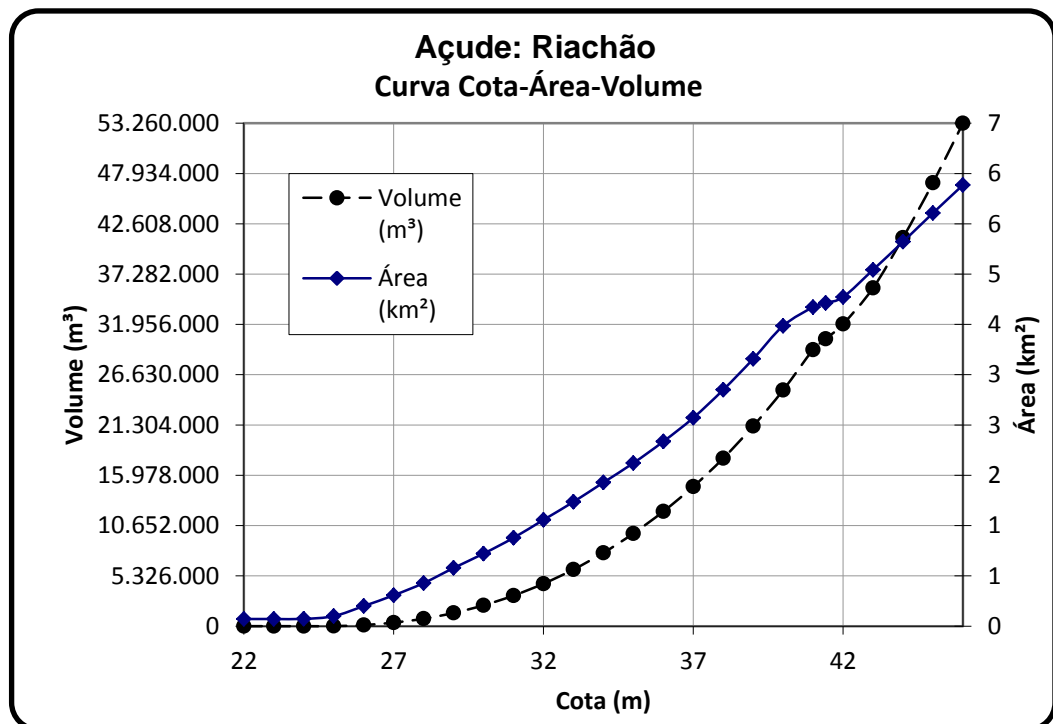


Figura 3.21 - Curva Cota-Área-Volume Açude Riachão.  
Fonte: COGERH, 2010.

- Açude Sítios Novos - o Açude Sítios Novos está localizado no município de Caucaia, Estado do Ceará, e pertence à bacia hidrográfica Metropolitana. Barra o rio São Gonçalo e tem uma capacidade de acumular 126 hm<sup>3</sup>.



Figura 3.22 - Açude Sítios Novos.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

Tabela 3.11 - Ficha técnica Açude Sítios Novos.

#### AÇUDE SÍTIOS NOVOS

##### LOCALIZAÇÃO

LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)	MUNICÍPIO	BACIA HIDROGRÁFICA
9.583.427	504.706	Caucaia	Metropolitanas

##### INFORMAÇÕES GERAIS

CAPAC. (m <sup>3</sup> )	V. MORTO (m <sup>3</sup> )	B. HIDRÁULICA (ha)	B. HIDROGR. (km <sup>2</sup> )	C. SANGR. (m)	L. SANGR. (m)	C. TOM. (m)
126.000.000	18.431.602	3.873	441,71	45,15000153	100	36,68000031

##### INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

CONSTRUÇÃO	ADMINISTRADOR	GERÊNCIA RESPONSÁVEL	TIPO OBSERVADOR
1999	ESTADO	GEMET	AGIR

##### EVAPORAÇÃO NORMAL DO ATMÔMETRO DE PICHE

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ANO
<b>TOTAL</b>	120,1	95,5	72,4	68,1	84,6	94,7	118,3	151,8	167,8	173,5	168,1	154,3	1.469,2
<b>MÉDIA</b>	3,87	3,41	2,34	2,27	2,73	3,16	3,82	4,90	5,59	5,60	5,60	4,98	4,03

TOTAL - mm/mês; MÉDIA - mm/dia.

Fonte: COGERH, 2010.

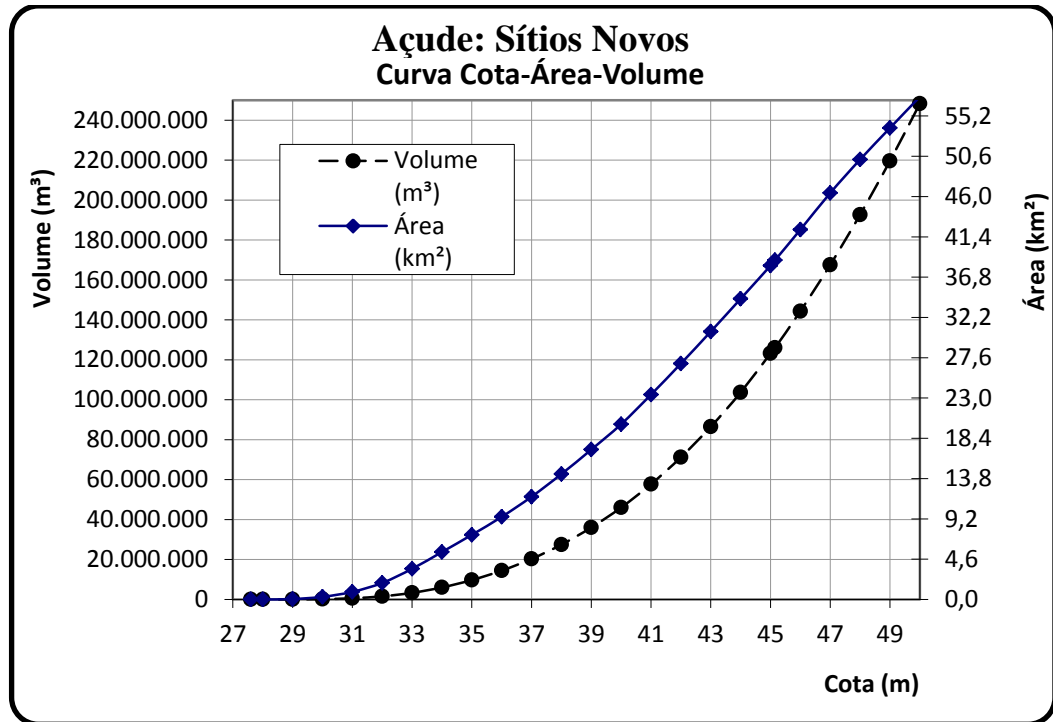


Figura 3.23 - Curva Cota-Área-Volume Açude Sítios Novos.

Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), 2010.

### 3.3 Reservatórios do Nordeste Brasileiro

O estudo de previsão de vazões também foi realizado para a região do Nordeste Setentrional. Situado ao norte do rio São Francisco, abrange parcialmente os Estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Foram estudados 18 reservatórios principais que estão descritos na Tabela 3.12. Estes são os mesmo reservatórios que serão beneficiados pela transposição do Rio São Francisco.

Tabela 3.12 - Localização e volume dos reservatórios.

<b>Reservatório</b>	<b>Estado</b>	<b>Vol. Max. (hm<sup>3</sup>)</b>
Acarape do Meio	Ceará	31,50
Acauã	Paraíba	250,00
Aracoiaba	Ceará	170,70
Armando Ribeiro	Rio Grande do Norte	2400,00
Atalho	Ceará	108,20
Banabuiú	Ceará	1601,00
Barra do Juá	Paraíba	71,48
Castanhão	Ceará	6700,00
Chapéu	Pernambuco	188,00
Curemas	Paraíba	1358,70
Eng. Avidos	Paraíba	300,00
Entremontes	Pernambuco	339,30
Epitácio Pessoa – Boqueirão	Paraíba	535,70
Orós	Ceará	1940,00
Pacajus	Ceará	240,00
Pacoti- Riachão	Ceará	426,95
Pau dos Ferros	Rio Grande do Norte	54,85
Poço da Cruz	Pernambuco	504,00

A Figura 3.24 detalha a localização de cada reservatório beneficiado pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco.





## 4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada ao presente estudo dividiu-se em quatro etapas: modelo de previsão de vazões, métricas para avaliação de desempenho dos modelos, utilização da previsão sazonal na alocação/operação dos reservatórios e aplicação da previsão sazonal no controle de cheias.

### 4.1 Modelo de previsão de vazões

A grande variabilidade climática de um ano para outro (variabilidade interanual) e de uma estação para outra (variabilidade sazonal) têm uma forte influência no desenvolvimento da sociedade, devido às enchentes, às secas, às catástrofes, dentre muitos outros fatores que interferem diretamente no meio ambiente, na agricultura, no setor energético, na qualidade do ar etc. Tendo em vista a necessidade de conhecer o comportamento e o impacto dessa variabilidade, foram criados diversos tipos de modelos de previsão de vazões.

O fluxo de funcionamento do modelo de previsão de vazões utilizado para realização deste trabalho é descrito na Figura 4.1.

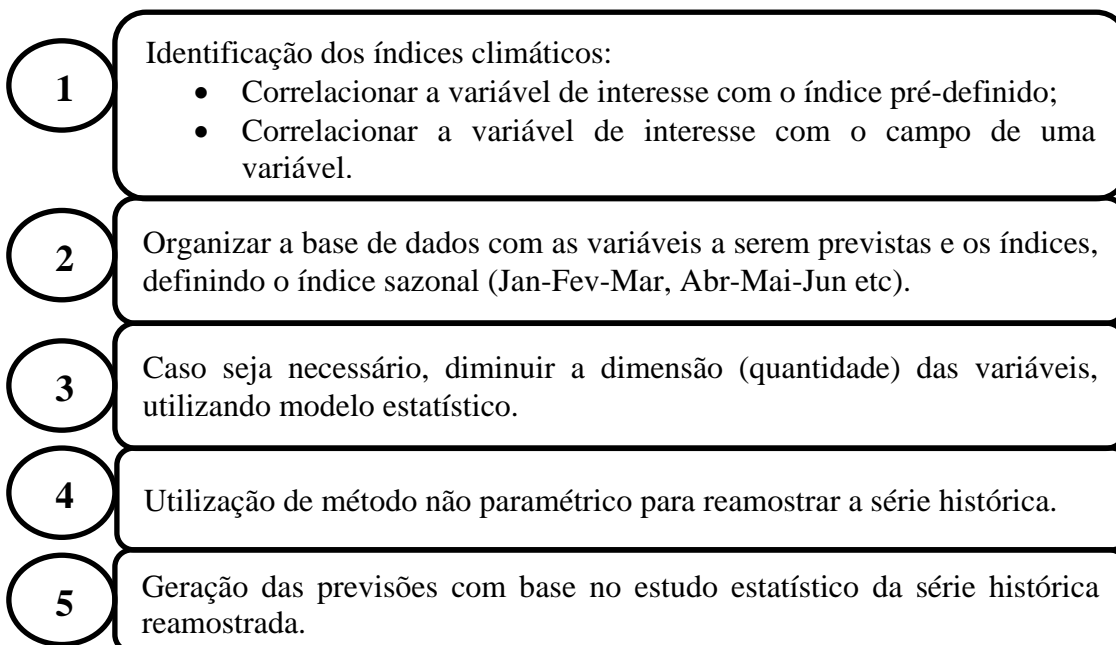


Figura 4.1 - Fluxo do modelo de previsão de vazão.

#### 4.1.1 Reservatório individualizado – Açude Orós

O procedimento utilizado no desenvolvimento de previsões de vazões para o reservatório Orós foi realizado por meio do modelo semiparamétrico que se baseia na regressão linear e no método dos K-vizinhos, utilizando a média anual de vazão e a série de preditores climáticos previamente selecionados, sendo descrito a seguir.

Primeiramente, os dados de vazões do Orós foram organizados de maneira que pudessem ser analisados e correlacionados com os preditores climáticos obtidos do site da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), que é a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos. A NOAA tem como missão “compreender e prever as mudanças no ambiente da Terra e conservar e gerir os recursos marinhos e costeiros para atender às necessidades econômicas, sociais e ambientais”, além de manter os cidadãos informados sobre as mudanças do ambiente ao seu redor. (NOAA, 2011).

A série histórica de vazões estudadas compreende os anos de 1913 a 1996, porém como a NOAA possui dados apenas a partir de 1948, foi necessário restringir a série histórica para o período de 1948 a 1996. A NOAA oferece correlações lineares da variável estudada com alguns preditores, são eles: altura geopotencial, ventos zonais, ventos meridionais, temperatura do ar, temperatura potencial, temperatura da superfície do mar, pressão, dentre várias outras variáveis.

Foi realizado um estudo de correlação com o campo de preditores para todo o planeta. Depois de realizado o estudo de correlação, foram selecionados aqueles preditores que possuíam maiores índices de correlação com as vazões médias anuais do Orós e, em seguida, foram delimitadas regiões de maior correlação, gerando índices para os preditores selecionados nas regiões delimitadas.

U.S. Department of Commerce | National Oceanic & Atmospheric Administration | NOAA Research

**Earth System Research Laboratory**  
Physical Sciences Division

Physical Sciences Division | About | Contact | Research | Data | Products | Outreach

Help

Instructions  
Datasets and variables  
Index time-series info  
Use your own time-series  
Use remote time-series

Background information  
Referencing Plots  
Significance of Correlations  
Cross-Correlation Table

Related Publications  
Create Monthly Time-Series  
Plot monthly composites  
Correlations w/US Climate Division Data  
Plot and Analyze Monthly Time-Series  
Plot daily composites  
NCEP Reanalysis Atlas  
PSD's Complete NCEP Reanalysis Page

In order to help ensure that this site and its page remains available, we would greatly appreciate feedback on its use, particularly in the classroom, for presentations or for research. Mail feedback to PSD data

PSD's gridded datasets and related web apps won't be available on Thursday Oct 21st from 9-10am EDT for maintenance. PSD's complete web and data access will be down starting Friday Oct 22 starting 6am EDT for maintenance.

### Linear Correlations in Atmospheric Seasonal/Monthly Averages

Plot correlations of seasonally averaged variables from the NCEP reanalysis with specified teleconnection and ocean index time-series. Correlations are generally available from Jan 1948 to Sep 2010 .  
New directions for custom time series.

Variable and Date Options:  
# Correlation  Regression

Which variable? (sea level Height)  Analysis level? 1000mb

Beginning month of season Jan  Ending month Jan   
(Optional) Enter months or seasons: index time series leads 0 or lags 0 correlating variable.

For seasons that span a year (e.g. DJF), please enter year of the LAST month of season. Default is 1948/9-2005

Time Series? (SOI (Southern Oscillation Index))  If custom:

(optional) custom title:

Plot Options  
Color? color  shading Type shade

Override default contour interval? Interval:  Range: low high  Scale Plot Size(%)

Plot Region/Type Northern Hemisphere  (For your own lat/lon region, you must choose Custom or Crossection )

If CUSTOM or CROSSECTION:  
Enter lowest lat (90 to 90)  Highest lat:   
Enter western most longitude (0 to 360)  Eastern most longitude

Select projection for CUSTOM: Cylindrical Equal-area

Choose height range for CROSSECTION: 1000mb  to 10mb

OSCAR 250 6562/06029

U.S. Department of Commerce | National Oceanic and Atmospheric Administration  
Earth System Research Laboratory | Physical Sciences Division

Privacy Policy | Accessibility | Disclaimer | USA.gov  
Contact Us | Webmaster

Figura 4.2 - Site NOAA para obtenção das correlações.

A próxima etapa consistiu em carregar todos os dados coletados para programas desenvolvidos pelo autor em linguagem MatLab. Para cada método de cálculo foi desenvolvido um programa diferente. Os dados de entrada para os programas desenvolvidos são as séries de vazões médias anuais e a dos preditores selecionados. Como dados de saída têm-se a série de vazões previstas e a avaliação do desempenho da previsão realizada.

MATLAB

File Edit View Debug Desktop Window Help

Current Directory: C:\MATLAB7\work\KNN\Programa Gros Stepwise

Shortcuts | How to Add | What's New

Workspace

Name	Value	Class

Array Editor - Anos

The variable Anos does not exist.

Command History

```

end
end
Quantis = quantile(VazVis', [.25 .50 .75]); %Calculo
for j=1:Nanos;
Quantis2(:,j) = quantile(voros, [.25 .50 .75])';
end
programa
clc
clear
clc

```

Command Window

```

>>

```

Start

Figura 4.3 – Tela do software MATLAB.

As previsões para o reservatório Orós foram calculadas de duas maneiras diferentes. A primeira é utilizando a Regressão Linear com todos os parâmetros, e a outra, é a Regressão *Stepwise* (passo a passo). Em ambos os cálculos, o que se modifica é apenas a maneira de realizar a regressão, tendo o restante do programa a mesma estrutura.

A rotina de cálculo dos programas é definida pela seguinte estrutura:

- (I) A grande maioria das técnicas da teoria da probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia, em geral, e à análise de séries temporais hidrológicas, em particular, é desenvolvida assumindo que as variáveis são normalmente distribuídas (Gaussiana). (DELLEUR & LANE, 1997). Como as curvas de maior frequência de variáveis hidrológicas são distribuídas de maneira assimétrica, ou estão vinculadas a zero, é frequentemente necessário normalizar essas variáveis a fim de realizar a análise estatística de interesse. Esta é a primeira etapa de cálculo, a normalização de todas as séries anuais utilizando a seguinte equação:

$$x_{pad} = \frac{x^\alpha - \bar{x}^\alpha}{\sigma_x^\alpha} \quad (23)$$

onde  $x$  é o dado a ser normalizado,  $\bar{x}$  é a média da série,  $\sigma_x$  é o desvio padrão da série e  $\alpha$  é um expoente que usualmente pode ser 1/2, 1/3 ou 1/4. (DELLEUR & LANE, 1997). O presente trabalho utilizou 1/3 como expoente. A Figura 4.4 mostra o algoritmo para a normalização em linguagem MatLab;

```

4      %%% Normalizacao dos Dados
5 -    vorospad = ((voros(1,:) .^ alfa) - (mean(voros.^ alfa))) / (std(voros.^ alfa));
6      %%%

```

Figura 4.4 – Algoritmo para cálculo da normalização no MATLAB

- (II) Após normalizadas, é realizada a regressão dos dados. O primeiro tipo de regressão utilizada foi a regressão linear:

$$V_{pad} = \sum Pred_i \times \beta_i + \varepsilon \quad (24)$$

onde  $Pred$  são os preditores selecionados,  $\beta$  são os coeficientes calculados de cada preditor e  $\varepsilon$  é o viés/ruído/resíduo. A regressão *stepwise* (passo a passo) é utilizada quando se possui uma grande variedade de variáveis (preditores) de entrada na regressão. A regressão *stepwise* introduz os preditores passo a passo no modelo, começando com a variável independente mais correlacionada com a vazão. Depois do primeiro passo, o algoritmo seleciona do grupo de variáveis remanescentes aquela que

dá a maior redução na variância residual (não explicada) da variável dependente, isto é, a variável cuja correlação parcial com a vazão é a maior. O programa, então, executa um teste-F parcial na entrada para checar se a variável absorverá uma quantidade significativa da variação em relação àquela removida por variáveis já na regressão. O usuário pode especificar um valor de F mínimo para a inclusão de qualquer variável. O programa avalia se o valor de F obtido em um dado passo satisfaz o mínimo e, se satisfizer, a variável entrará. Similarmente, o programa decide a cada passo se qualquer variável previamente incluída ainda satisfaz um mínimo (também fornecido pelo usuário) e, caso contrário, remove-se tal variável. Em qualquer passo do *stepwise* os resultados são calculados da mesma maneira de uma regressão padrão usando-se um conjunto particular de variáveis. Portanto o passo final da *stepwise* mostra os mesmos coeficientes que uma regressão linear padrão, utilizando os mesmos coeficientes que sobreviveram a todos os passos;

- (III) A etapa posterior à obtenção dos coeficientes por intermédio da regressão é o cálculo dos anos de vazões mais próximas, pelo procedimento dos K-vizinhos de estimativa da função de densidade descritos em Lall & Sharma (1996) e Karlsson & Yakowitz (1987) adaptado ao problema atual. (SOUZA FILHO & LALL, 2003; SOUZA FILHO *et al.*, 2003). O método dos K-vizinhos consiste em realizar uma reamostragem das vazões anuais e das vazões mensais que implicitamente reflete a distribuição de probabilidade condicional. A estratégia básica é selecionar os K-vizinhos mais próximos dos preditores no conjunto de dados históricos, estimando probabilidades para nomear a cada um destes vizinhos, estimando os valores para cada um dos valores reamostrados. O cálculo da distância  $d_i$  entre o valor do vetor de preditores atual  $x^*$  e o valor dos preditores em sua série histórica,  $x_i$ , é descrito na forma de equação:

$$d_i^2 = \sum_{j=1}^p \{(x_j^* - x_{i,j})\gamma_j\}^2 \quad (25)$$

onde  $x^*$  é um vetor  $1 \times p$ ,  $x_i$  é um vetor  $1 \times p$  de preditores durante o ano  $i$ -ésimo usado no modelo ajustado e  $\gamma$ , que vem como resultado da regressão linear, é um vetor  $p \times 1$  dos coeficientes.

```

16   %Calcular K-Vizinhos
17 -   for j=1:Nanos;
18 -       valor=predit(j,:);
19 -       for i=1:Nanos;
20 -           dif= predit(i,:)-valor;
21 -           peso=coef.*dif;
22 -           valor2 (i)=sqrt(peso*peso');
23 -       end
24 -       [Valsort,classif]= sort(valor2);
25 -       AnoClass(j,:)=classif+inicio-1;
26 -       Valordis(j,:)=Valsort;
27 -       Valorsort(j,:)=classif+1;
28 -   end
29
30   %Escolher quantos anos mais próximos trabalhar
31 -   Nprox=30; %N anos proximos
32 -   for i=1:Nanos;
33 -       for j=1:Nprox;
34 -           kvizinhos(i,j)=Valorsort(i,j);
35 -       end
36 -   end

```

Figura 4.5 - Cálculo dos K-vizinhos e seleção dos anos mais próximos.

Juntamente com o cálculo dos anos mais próximos são selecionadas também as vazões correspondentes a esses anos;

- (IV) A última etapa do cálculo é a análise estatística dos resultados das vazões vizinhas, dividindo o resultado em algumas faixas (quantis de 25%, 50% e 75%) e a apresentação dos gráficos com os resultados.

#### 4.1.2 Sistema Jaguaribe-Metropolitano e Reservatórios do Nordeste Brasileiro

Para o sistema Jaguaribe-Metropolitano e para os reservatórios que serão beneficiados pela transposição do São Francisco, também se segue uma metodologia de cálculo semelhante à do reservatório isolado. A principal diferença é no momento de agrupar dados de vazões de vários reservatórios para poder correlacionar com os preditores.

Os dados dos reservatórios são organizados e analisados utilizando a análise de componentes principais (ACP) que consiste, essencialmente, em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geram, por meio de suas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade e de elas serem não correlacionadas entre si, é a de que são obtidos em ordem decrescente de máxima

variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2 que, por sua vez, tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante.

A utilização desse método permite a redução da dimensão dos postos representativos das amostras, apesar de a informação estatística presente nas N-variáveis originais ser a mesma das n-componentes principais. A ACP também pode ser usada para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, as variáveis originais com maior peso (*loadings*) na combinação linear das primeiras componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico.

Logo, a tarefa realizada com estatística multivariada neste trabalho, consiste em interpretar a distribuição dos pontos no gráfico de componentes principais e identificar as variáveis originais com maior peso na combinação linear das componentes principais mais importantes. A CP com maior peso foi escolhida para a previsão de vazões.

Após a obtenção da CP, realizou-se a análise da correlação entre a CP e os preditores no site da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), utilizando a correlação linear com médias mensais/sazonais na atmosfera, de maneira a observar o comportamento da variação dos preditores em relação às CP's.

Para a aplicação do modelo de regressão entre a CP e os índices climáticos, inicialmente normalizou-se a CP. Após a normalização dos dados, aplicou-se o modelo de regressão. Para o sistema Jaguaribe-Metropolitano e dos reservatórios beneficiados pela Transposição do São Francisco escolheram-se três métodos de regressão: regressão linear, *stepwise* (passo a passo) e *pool*.

Quando existem vários períodos de dados coletados para um mesmo dado tem-se a opção de ajuste do modelo de regressão em separado para cada período de tempo. No entanto, se for possível combinar os períodos e executar um modelo de regressão simples, aumentam-se os graus de liberdade em relação às duas regressões separadas e, portanto, ter-se-á melhorado a precisão relativa das estimativas dos parâmetros.

A regressão *pool* é a média de um conjunto de combinações lineares. Para cada reservatório é realizada uma regressão linear das vazões no reservatório com os preditores, obtendo assim diferentes coeficientes para os diferentes reservatórios. A aplicação da regressão *pool* consiste em tirar uma média dos coeficientes de cada preditor e obter uma equação comum para todos os reservatórios. Assim, a equação fica da seguinte maneira:

$$V_{pad} = \sum Pred_i \times \bar{\beta}_i + \varepsilon \quad (26)$$



onde  $Pred$  são os preditores selecionados,  $\bar{\beta}$  são as médias dos coeficientes calculados de cada preditor e  $\varepsilon$  é o viés/ruído/resíduo.

Após a obtenção da equação do modelo de regressão, aplicou-se o procedimento dos K-vizinhos de estimativa da função de densidade descritos em Lall e Sharma (1996) e Karlsson e Yakowitz (1987). (SOUZA FILHO *et al.*, 2003).

## 4.2 Métricas para avaliação de desempenho dos modelos

Após calcular as previsões de vazões para todos os reservatórios, é necessário avaliar o desempenho dos modelos propostos e estudados. Utilizou-se a razão da máxima verossimilhança para avaliar o desempenho do modelo. O cálculo foi realizado com base na razão de máxima verossimilhança da função densidade de probabilidade (FDP) kernel e na razão de máxima verossimilhança da função densidade de probabilidade (FDP) gama.

### 4.2.1 Estimador de máxima verossimilhança

Para calcular este estimador faz-se necessário definir a função de verossimilhança para as observações  $y_1, \dots, y_n$ , correspondentes às variáveis  $Y_1, \dots, Y_n$ , que é dada por:

$$L(\theta) = f(y_1, \dots, y_n; \theta), \quad (27)$$

onde  $f$  é uma densidade de probabilidade conjunta do vetor das observações  $(y_1, \dots, y_n)$  e  $\theta$  é um vetor de parâmetros a ser estimado.

Se  $Y$  é a variável resposta, ou melhor, previsões do modelo de regressão igual ao modelo da Equação (24), partindo da hipótese de que as observações são mutuamente independentes e identicamente distribuídas, a função  $L$  pode ser escrita como:

$$L(\theta; y_1, \dots, y_n) = f(y_1; \theta)f(y_2; \theta) \dots f(y_n; \theta). \quad (28)$$

O princípio da verossimilhança revisto por Lindgren (1976) afirma que: “Uma inferência estatística deve ser consistente com a hipótese de que a melhor explicação de um conjunto de dados é fornecida por  $\hat{\theta}$ , um valor de  $\theta$  que maximiza a função de verossimilhança”. Intuitivamente, maximizar a verossimilhança significa obter a população com a maior probabilidade de ter gerado a amostra.

No caso do modelo de regressão, o vetor de parâmetros de interesse é

$$\theta' = (\beta', \sigma^2), \quad (29)$$

e definindo-se  $L$  como função de  $\beta$  e  $\sigma^2$  tem-se

$$L(\beta, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n f_{Y_i}(y_i | \beta, \sigma^2). \quad (30)$$

Encontrar o vetor de parâmetros estimados que maximizem a função de verossimilhança é equivalente a maximizar a verossimilhança. Portanto, para obter este vetor, deriva-se parcialmente a verossimilhança em relação a cada parâmetro e iguala-se a zero. Este é o método usual de maximização do cálculo.

Na busca por estes parâmetros, a função  $f_{Y_i}$  foi definida de duas formas diferentes para fazer uma comparação, a FDP kernel e a FDP gama.

Na estatística, a estimativa da densidade kernel é uma forma não-paramétrica de estimação da função densidade de probabilidade de uma variável aleatória. Estimativa de densidade de kernel é um problema de suavização de dados fundamentais em que são feitas as inferências sobre a população, com base em uma amostra de dados finitos. A equação (31) apresenta a função densidade de probabilidade kernel:

$$P_{m,t} = f(x|m, t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{(2\pi h^2)}} \exp \left\{ -\frac{(x_{o,t} - x_{m,t,n})^2}{2h^2} \right\}, \quad (31)$$

A FDP gama é definida pela equação (32).

$$y = f_{Y_i}(y_i|\beta, \sigma^2) = f(x|a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}} \quad (32)$$

que calcula em cada um dos valores em  $x$ , usando os parâmetros correspondentes em  $a$  e  $b$ .  $X$ ,  $a$ , e  $b$  podem ser vetores, matrizes ou matrizes multidimensionais, tendo todos o mesmo tamanho.

Os estimadores de máxima verossimilhança são facilmente calculados quando se utilizam ferramentas computacionais. O software MatLab retorna os parâmetros  $a$  e  $b$  da distribuição gama que estimam a máxima verossimilhança, por intermédio da função *gamfit*. Uma entrada escalar é expandida para uma matriz constante com as mesmas dimensões como as outras entradas. Os parâmetros  $a$  e  $b$  devem ser positivos, e os valores em  $x$  devem situar-se no intervalo  $[0, \infty)$ .

E o cálculo do desempenho na previsão, utilizando essa metodologia com a climatologia em comparação aos dados observados totais, é realizado conforme a equação (33):

$$Desempenho = \left( \frac{L(\beta, \sigma^2)_{previsão}}{L(\beta, \sigma^2)_{climatologia}} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (33)$$

onde  $n$  é o número de anos da série histórica utilizada. Quando  $Desempenho > 1$ , significa que houve uma melhora na previsão em relação à climatologia. Ao contrário, quando  $Desempenho < 1$ , significa que houve uma piora na previsão.

### 4.3 Utilização da previsão sazonal na operação de hidrossistemas

As ferramentas técnicas atuais para alocação e operação de hidrossistemas utilizadas pela COGERH consistem em simulações de esvaziamento de reservatórios, que consideram a inexistência de chuvas e horizontes de planejamento entre 6 e 18 meses. A Figura 4.6 apresenta graficamente como se comporta o fluxo de vazões para o Ceará, que nas estações secas tem-se a certeza da inexistência de vazões e nas estações mais úmidas tem-se a incerteza da ocorrência ou não de vazões.

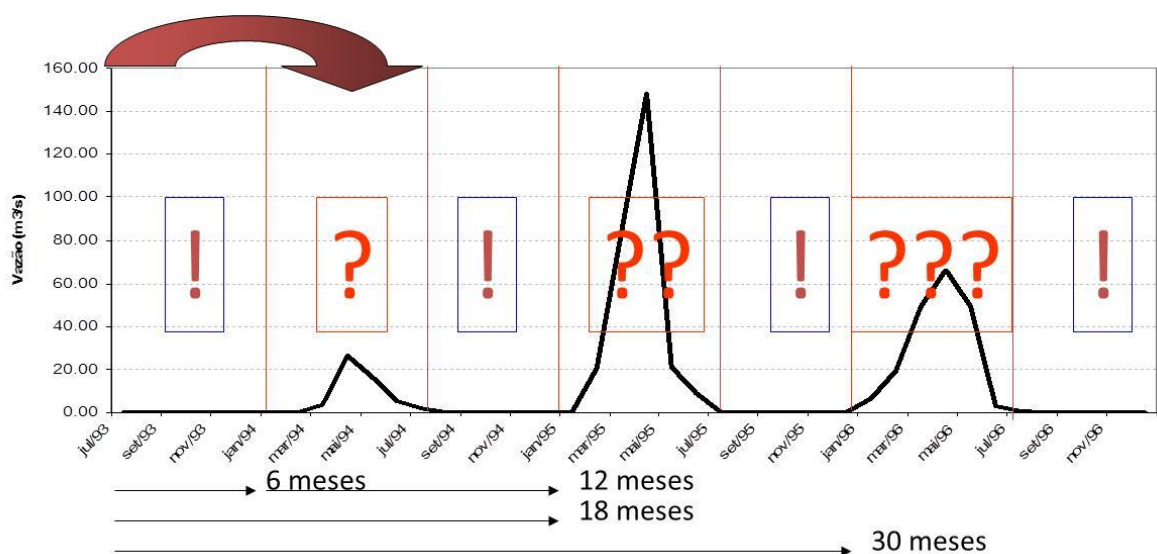


Figura 4.6 - Horizonte de operação do estudo de alocação de água.

A COGERH reconhece que a consideração do aporte hídrico nulo nas simulações é um fator que restringe o uso da água.

A consideração de aporte hídrico nulo nas simulações, apesar de conferir uma margem de segurança na utilização da água, propiciando saldos positivos em termos de reserva hídrica, pode ser um fator de restrição de uso, sobretudo no setor agrícola, tornando importante no futuro a consideração de aspectos probabilísticos climáticos nas simulações, que resultaria em uma alocação menos conservadora. (COGERH, 2010).

A metodologia proposta a seguir objetiva a promoção do desenvolvimento de uma base metodológica para aperfeiçoar o modelo de simulação de reservatórios, considerando aporte não nulo, a priori, fundamentado em estudos de incerteza climática.

A simulação de sistemas de reservatórios foi realizada pelo modelo AcquaNet desenvolvido pelo LabSid (Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão) da Escola

Politécnica da USP, que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas.

O modelo utiliza como dados de entrada a CAV (cota, área e volume), o volume afluente e a taxa de evaporação de cada um dos reservatórios, bem como as demandas de cada localidade. A simulação é realizada para um horizonte de simulação de 24 meses, realizada a partir do mês de julho.

O sistema simulado foi o da região Jaguaribe-Metropolitana, com dados de demanda atualizados em 2010. A simulação gerou resultados de volumes finais de cada reservatório, mês a mês com a mesma quantidade de anos dos dados de vazões. Após serem gerados os resultados com as evoluções de volumes dos reservatórios, foram selecionados apenas os anos mais próximos ao ano que se quis estudar, seguindo a metodologia dos K-vizinhos. Na Figura 4.7 é apresentado um exemplo do resultado da simulação, com 45 curvas de volume final do reservatório, para uma simulação com 18 meses de horizonte.

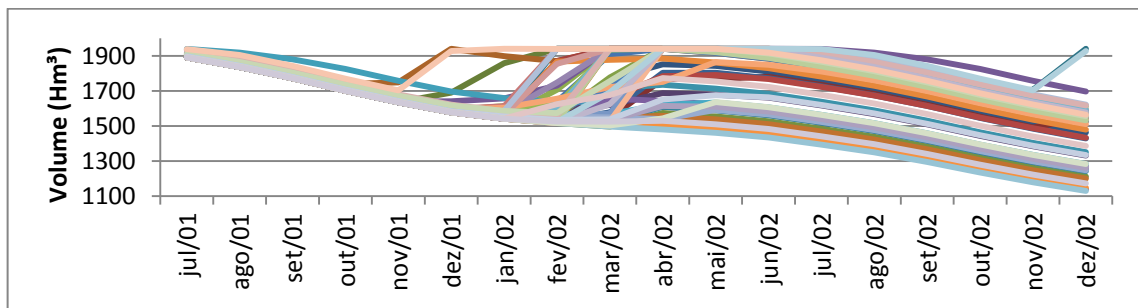


Figura 4.7 - Exemplo de como é mostrado o resultado da simulação: volume final do reservatório.

A intenção do estudo é reduzir a quantidade de trajetórias por meio da aplicação dos K-vizinhos e do estudo estatístico, associando as curvas de previsões de vazões a evolução do estoque do volume de água no reservatório, visando uma maior facilidade na interpretação dos resultados na forma gráfica. Após a aplicação do método dos K-vizinhos, o novo resultado é exposto como na Figura 4.8, dividindo os resultados em quartis de previsão e apresentando uma curva de afluência zero que é a maneira como a COGERH realiza atualmente o estudo para operação e alocação de água.

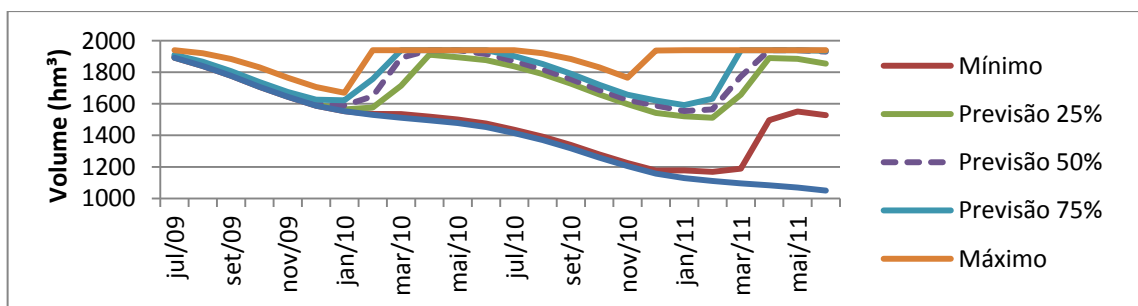


Figura 4.8 - Evolução do reservatório após aplicação da metodologia.

#### 4.4 Utilização da Previsão Sazonal na Operação do Reservatório: Controle de Cheias

Apresenta-se, aqui, uma metodologia para utilização da previsão sazonal, utilizando a informação climática para o controle de cheias em reservatórios. O modelo explicitado a seguir propõe utilizar a série de anos mais próximos (N-anos vizinhos) para realização do estudo de cheias, objetivando dar ao estudo mais qualidade e confiabilidade. Atualmente, o estudo de cheias é realizado utilizando toda a série histórica observada, o que acaba gerando uma visão mais pessimista dos resultados.

##### 4.4.1 Curvas-guias

Uma das regras de operação mais utilizada é a divisão do volume útil do reservatório em diferentes “zonas” que possuem políticas de liberações específicas. Essas regras de operação são chamadas de curvas-guias e usadas para indicar volumes (ou níveis de água) alvos ou ideais do reservatório, visando determinados objetivos. As curvas-guias definem as vazões efluentes, ao longo do ano, em função do volume (ou nível da água) do reservatório. (WURBS, 2005).

O controle de cheias é realizado com base no volume de espera do reservatório. Operações de controle de cheias são baseadas na minimização do risco e das consequências de se fazer liberações que contribuam para inundações a jusante. O trabalho em questão focar-se-á na determinação da curva-guia para controle de cheias, embora a metodologia possa ser aplicada em outros casos. Pode-se definir volume de espera como sendo o volume a ser utilizado no reservatório para o controle de cheias. Na Figura 4.9, apresentada a seguir, observa-se um modelo de curva guia.

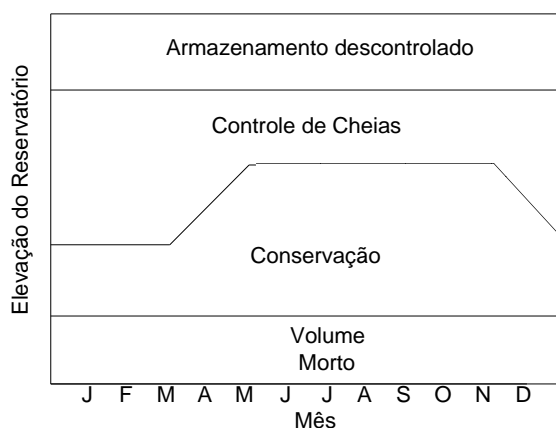


Figura 4.9 – Curva-guia.  
Fonte: Após WURBS, 2005.

Como apresentado na Figura 4.9, o volume de espera pode ser constante ao longo do ano. Valores máximos de volumes de espera são necessários na época de maior precipitação, e valores mínimos podem ser adotados durante os meses de pouca chuva. A curva definida pela relação entre o nível da água necessário para garantir um determinado volume de espera e a época do ano é chamada de “curva-guia para controle de cheias”.

As curvas-guias auxiliam na elaboração de um plano de operação para orientar as decisões de liberação em tempo real. Um plano de operação de um reservatório pode ser expresso em forma de um diagrama que mostra como deve ser o controle de água do reservatório, sendo este diagrama obtido por meio de um conjunto de orientações, curvas guias e especificações que governam o armazenamento em função da liberação do reservatório. As curvas-guias se mostram muito eficientes por serem capazes de mostrar a liberação de um reservatório em função dos níveis de armazenamento, da estação do ano e de outros fatores relacionados. O formato e os tipos de regras refletidas em esquemas de controle de água variam muito para projetos de reservatórios diferentes. (WURBS, 2005).

#### 4.4.1.1 Determinação do Volume de Espera

Segundo Kelman (1987), a operação de reservatórios para fins conservativos é realizada procurando manter o estoque de água o mais elevado possível, porém é usual durante a época chuvosa manter parte do volume útil livre com o objetivo de encaixar o excesso d’água provocado pela afluência de uma cheia. Assim, o reservatório beneficia o vale a jusante, tornando as inundações menos frequentes.

O método da curva volume-duração foi o primeiro método utilizado no Brasil na determinação de volumes de espera e, apesar de suas limitações e dificuldades, é ainda utilizado para a determinação de volumes de espera em reservatórios de alguns subsistemas. Este método foi desenvolvido por Beard (1963) e consiste em uma adaptação da metodologia de Wait (1945) *apud* Kelman (1987) para a determinação do volume útil do reservatório.

Kelman (1987) apresentou uma metodologia adaptada para calcular o volume de espera para controle de cheias, relacionando para cada duração  $D$  o máximo volume afluente em  $D$  dias consecutivos,  $VA_d$ . Assim, pode-se calcular o volume-duração (Figura 4.10) para um dado período, conforme a equação (34).

$$VA_d = \max_{0 \leq t \leq H-D+1} \sum_{j=1}^D (QA_{t+j} \times \Delta t) \quad D = 1, \dots, H \quad (34)$$

Onde:

$VA_d$  → é o máximo volume afluente acumulado para a duração  $D$ ;

$H$  → é o último intervalo de tempo considerado;

$QA_{t+j}$  → é a vazão média diária afluente no intervalo  $t + j$ ;

$t$  → intervalo de tempo (geralmente um dia).

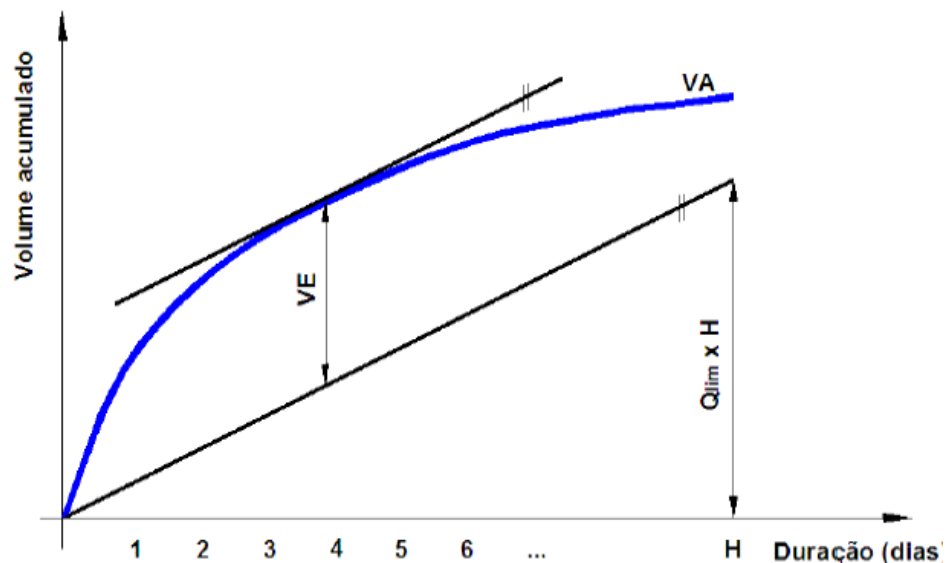


Figura 4.10 - Curva volume-duração (VA) e definição manual do volume de espera.  
Fonte: KELMAN, 1987.

Considerando que existe uma vazão efluente limite ( $Q_{lim}$ ) que possibilita a não ocorrência de inundações a jusante da barragem, o cálculo do volume de espera ( $VE$ ) necessário pode ser obtido pela utilização da Equação (35) ou pela forma gráfica, como apresentado na Figura 4.10.

$$VE = \max[VA_D - D \times Q_{lim} \times \Delta t] \quad D = 1, \dots, H \quad (35)$$

Onde:

$VE$  → é o volume de espera para o ano ou período chuvoso analisado;

$Q_{lim}$  → é a vazão efluente Limite.

Tal procedimento pode ser repetido para o conjunto de  $n$  anos de uma série histórica, sendo definidos  $n$  valores para o volume de espera. Finalmente, a escolha do volume de espera a ser alocado dependerá de quem irá tomar as decisões. Kelman (1987) cita um possível critério para a escolha do volume de espera, o qual adotaria o máximo volume de



espera obtido, que implicaria em estar preparado para o pior evento ocorrido ao longo dos  $n$  anos do registro histórico.

O inconveniente dessa abordagem é não permitir se conhecer a priori a probabilidade de que o volume de espera alocado não seja suficiente num determinado ano (ou período chuvoso). E como consequência disso, a solução mais comum considera o volume de espera como uma variável aleatória, sendo necessário o estudo de frequência e o ajuste de uma distribuição teórica de probabilidades pré-especificadas para falha no amortecimento de cheia de um ano qualquer. (BEARD, 1963; KELMAN, 1987; ONS, 2003; BRAVO, 2006).

A abordagem adotada seleciona amostras de eventos máximos da série histórica para diferentes durações e ajusta uma distribuição de probabilidade para cada uma das durações escolhidas. Assim, pode ser construída uma curva volume-duração associada a uma probabilidade pré-definida de falha ( $\alpha$ ) no amortecimento de cheia de um ano, como apresentada na Figura 4.11. (BEARD, 1963; KELMAN, 1987; ONS, 2003; BRAVO, 2006).

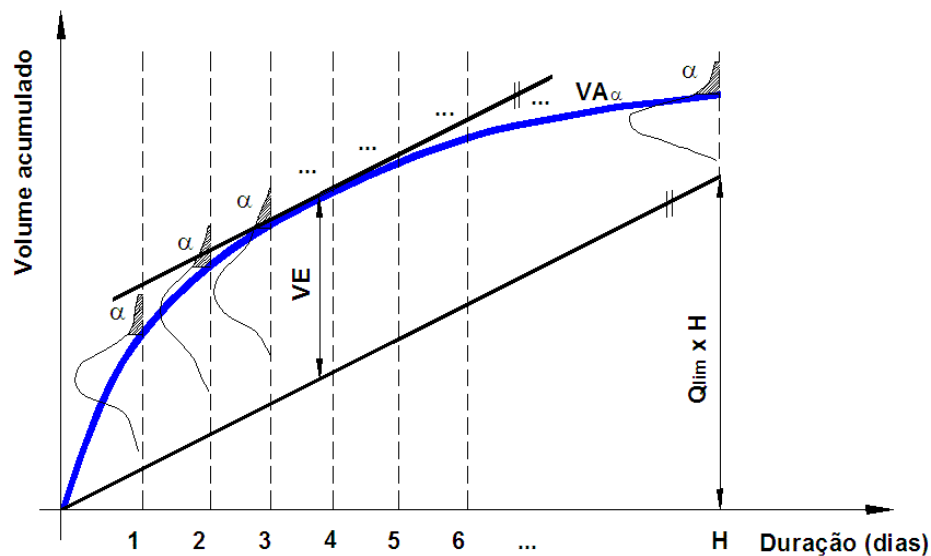


Figura 4.11 - Curva volume-duração definida para uma probabilidade ( $\alpha$ ) de não amortecimento de cheia de um ano ou período chuvoso.

Fonte: Após KELMAN, 1987.

A curva volume-duração da Figura 4.11 é construída a partir da união dos pontos  $VA_{\alpha D}$  definidos, conforme a Equação (36):

$$P[VA_D \geq VA_{\alpha D}] = \alpha \quad (36)$$

Onde:

$P[.] \rightarrow$  representa probabilidade;

$\alpha$  → probabilidade de falha no amortecimento de cheia de um ano.

Segundo Kelman (1987), ONS (2003) e Bravo (2006), a aplicabilidade prática dessa técnica apresenta algumas dificuldades:

- As variações amostrais fazem com que a curva  $VA_{\alpha D}$  não seja côncava, como seria esperado;
- A falta de uma distribuição teórica de probabilidades a ser ajustada que se apresente como uma alternativa superior às outras;
- A técnica define apenas um único volume de espera constante para todo o período chuvoso, não levando em consideração que os volumes de espera podem ser diminuídos a partir de algum intervalo de tempo no decorrer do período chuvoso.

Kelman (1987) desenvolveu o “método das trajetórias críticas” com o objetivo de solucionar as limitações impostas ao método curva volume-duração. O método das trajetórias críticas define o volume de espera em cada intervalo de tempo correspondente ao período chuvoso (ou ano), associado a uma probabilidade pré-definida de não amortecimento de cheia de um ano. O algoritmo utilizado inicia considerando um volume de espera nulo ao final do período chuvoso e posteriormente, via processo recursivo, define o volume de espera em cada dia do período chuvoso (ou ano) com base na Equação (37) apresentada a seguir, conforme Kelman (1987):

$$VE_{t-1,i} = \max[0, (QA_{t-1,i} - Q_{lim}) \times \Delta t + VE_{t,i}] \quad t = 1, \dots, H \quad (37)$$

Onde:

$VE_{t-1,i}$  → volume de espera no dia t-1, em função da vazão afluyente do ano i;

$QA_{t-1,i}$  → vazão afluyente do dia t-1, do ano i;

$Q_{lim}$  → vazão efluyente limite;

$VE_{t,i}$  → volume de espera no dia t, do ano i;

$H$  → índice do último dia do período chuvoso.

A equação (37) define a evolução, ao longo do tempo, do volume de espera para o ano i, que é apresentado de forma gráfica na Figura 4.12, e define a chamada trajetória crítica do ano i. A trajetória crítica é a representação da fronteira que define a região “segura” e a região “não segura / insegura” para operação do reservatório. (Kelman, 1987).

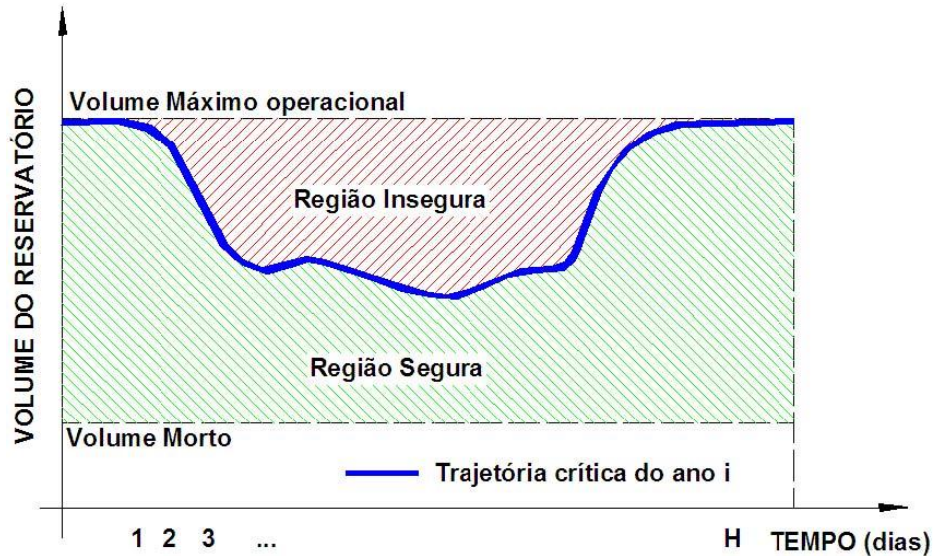


Figura 4.12 - Evolução do volume de espera para o ano  $i$ .  
Fonte: KELMAN, 1987.

Quando existe mais de uma trajetória crítica, cria-se uma curva denominada de curva limite (Kelman, 1987) que servirá para realizar a separação entre a região segura e insegura (Figura 4.13). Esta curva assegura que não ocorrerá vazões efluentes superiores a  $Q_{lim}$  em qualquer situação hidrológica já observada.

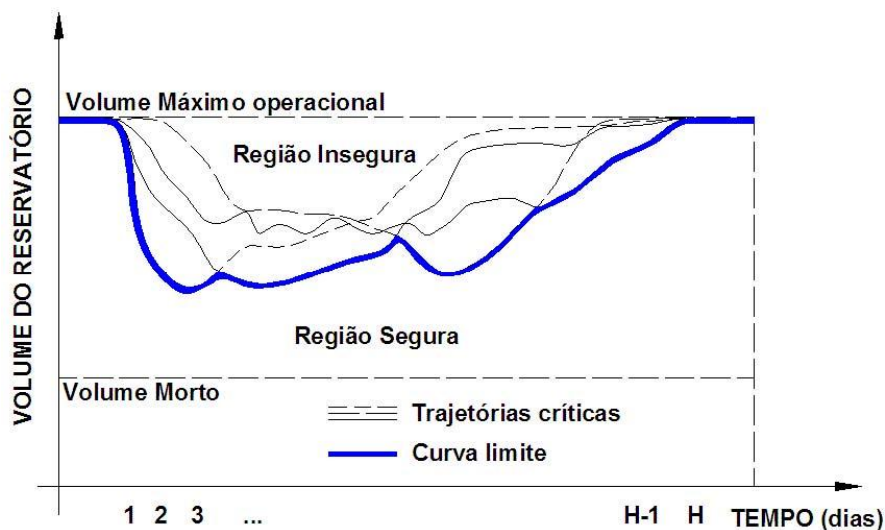


Figura 4.13 - Curva limite em função de  $n$  trajetórias críticas.  
Fonte: KELMAN, 1987.

Kelman (1987) define a regra de operação baseada na curva limite. Caso o nível da água no reservatório seja maior que o nível máximo operacional, a vazão efluente será definida em função da segurança da barragem e, provavelmente, será superior a  $Q_{lim}$ . Porém, se o nível da água no reservatório estiver acima da curva limite e abaixo do nível máximo operacional, a vazão efluente é igual a  $Q_{lim}$ , procurando manter vazio o volume de espera. Mas caso o nível da água no reservatório se encontre abaixo da curva limite não existe vazão de vertimento.

Nos casos em que o volume de espera encontrado por meio da curva limite for insatisfatório por ser inviável, pode-se utilizar uma abordagem probabilística alocando um volume de espera para uma probabilidade  $\alpha$  de falha no amortecimento da cheia. (TAVARES & KELMAN, 1985). Para o uso desta metodologia, são necessárias séries longas de dados de vazões.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Os subitens 5.1, 5.2 e 5.3 demonstram os resultados obtidos para a previsão de vazão, para a operação dos reservatórios e para a determinação do volume de espera (controle de cheias) após a aplicação da metodologia descrita anteriormente.

### 5.1 Previsão de vazão

#### 5.1.1 Seleção dos preditores

Foram selecionados alguns preditores para a realização do estudo, considerando-se a correlação com as vazões dos reservatórios estudados. O estudo apontou uma maior correlação das vazões com três preditores (temperatura da superfície do mar, ventos meridionais e altura geopotencial de 1000mb) em diferentes pontos. O estudo procurou correlações em diferentes espaços de tempo, com horizontes de correlação de três meses a doze meses.

O Instituto Nacional de Meteorologia define altura geopotencial da seguinte forma:

Fisicamente, a altura geopotencial é o trabalho requerido para levantar uma unidade de massa do nível médio do mar até um dado nível de pressão. Ela representa a altitude acima do nível do mar em que está um determinado nível de pressão, embora não seja exatamente a altitude verdadeira medida em metros. Esta grandeza é útil porque um dado nível de pressão não é paralelo a superfície terrestre, e estas variações de altitude do nível de pressão indicam algumas mudanças nas condições meteorológicas. Valores altos de geopotencial indicam alta temperatura na camada até a superfície. (INMET, 2011)

Inicialmente, foram selecionados os preditores apenas para o reservatório Orós. Alguns dos pontos de correlação encontrados foram os mesmos pontos para o sistema Jaguaribe-Metropolitano. A Figura 5.1 mostra a intensidade da correlação da altura geopotencial com as vazões afluentes do reservatório Orós.

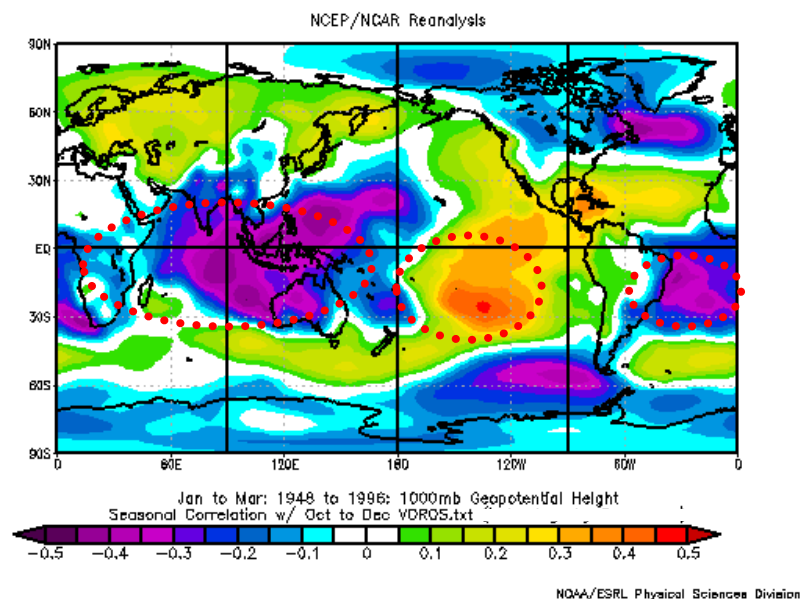


Figura 5.1 - Correlação da altura geopotencial com as vazões afluentes do reservatório Orós no Ceará.

Os círculos em vermelho destacam as regiões onde a correlação tem maior intensidade. Todas as localizações das coordenadas geográficas destes pontos são descritas na Tabela 5.1.

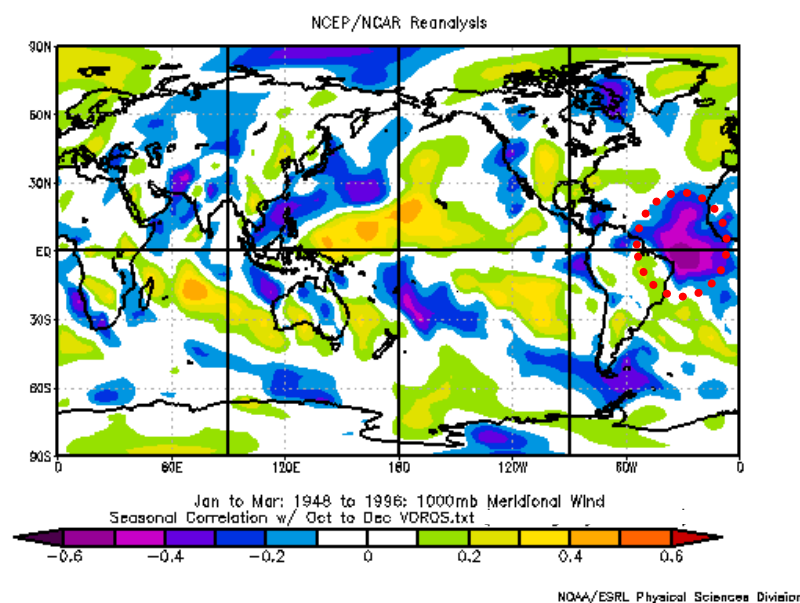


Figura 5.2 - Correlação dos ventos meridionais com as vazões afluentes do reservatório Orós no Ceará.

Para poder levar os dados ao site da NOAA para estudo de correlação entre as vazões estudadas e os preditores, realizou-se a análise das componentes principais das vazões dos reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitano, com o objetivo de reduzir a quantidade de variáveis envolvidas. A Figura 5.3 mostra a importância relativa de cada uma das componentes principais do Sistema Jaguaribe-Metropolitano, sendo a componente principal 1 escolhida para a identificação dos preditores por ela representar individualmente 77% da variabilidade do sistema.

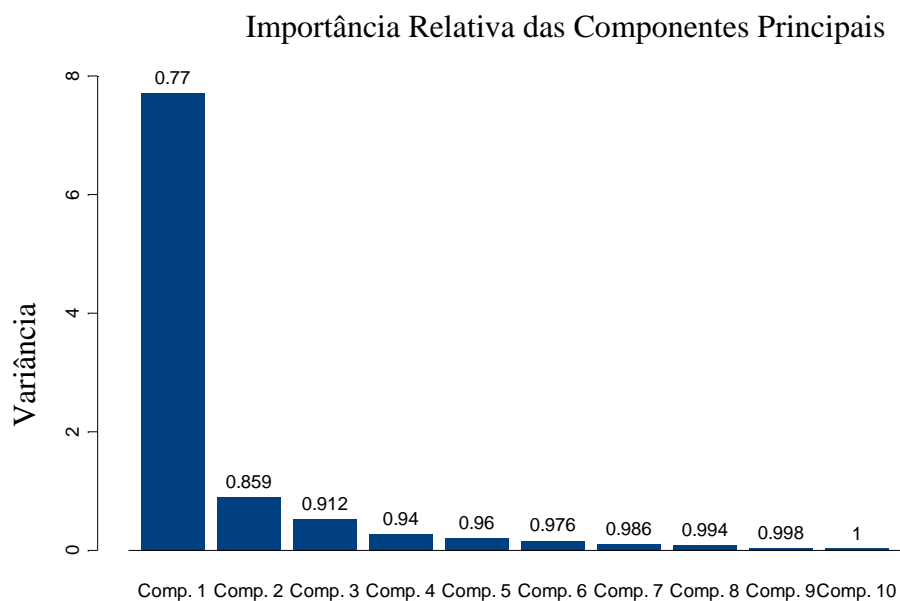


Figura 5.3 - Importância relativa das componentes principais do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

A seguir serão mostrados alguns dos pontos de maior correlação dos preditores com a componente principal 1.

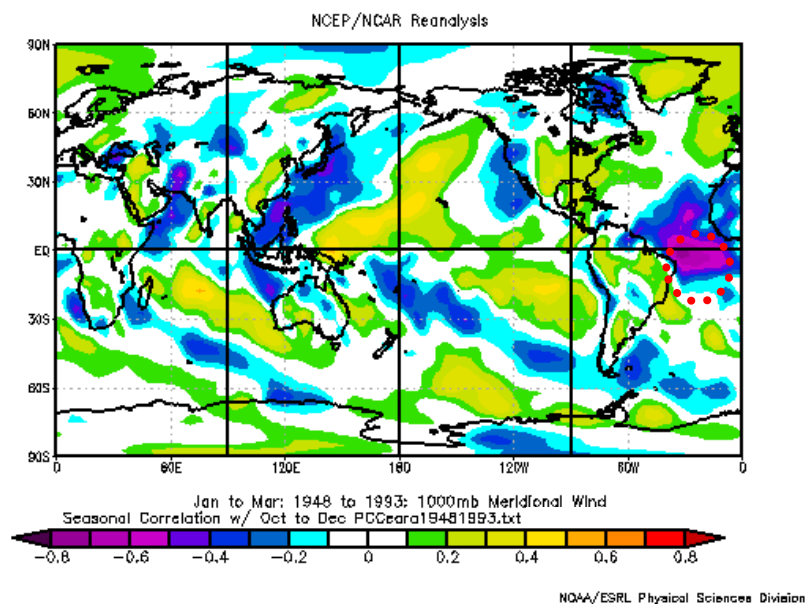


Figura 5.4 - Correlação dos ventos meridionais com a componente principal das vazões afluentes dos reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano no Ceará.

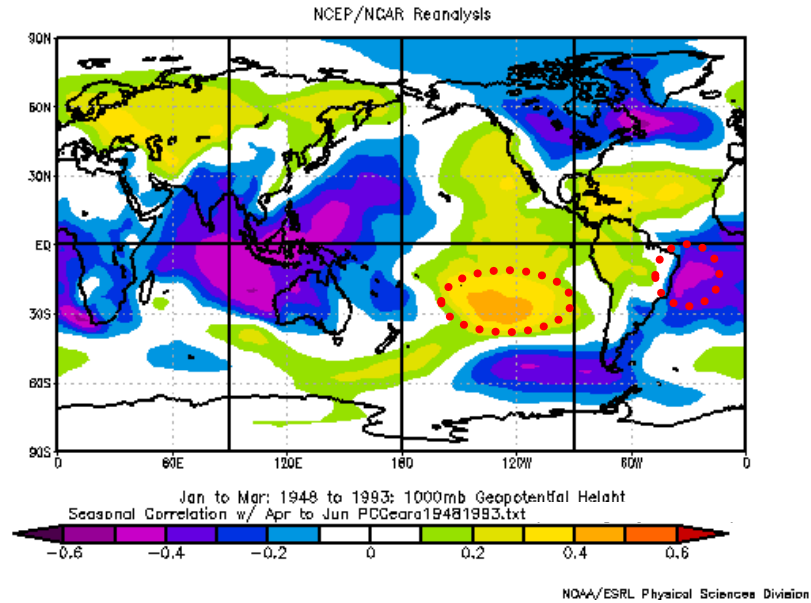


Figura 5.5 - Correlação da altura geopotencial com a componente principal das vazões afluentes dos reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano no Ceará.

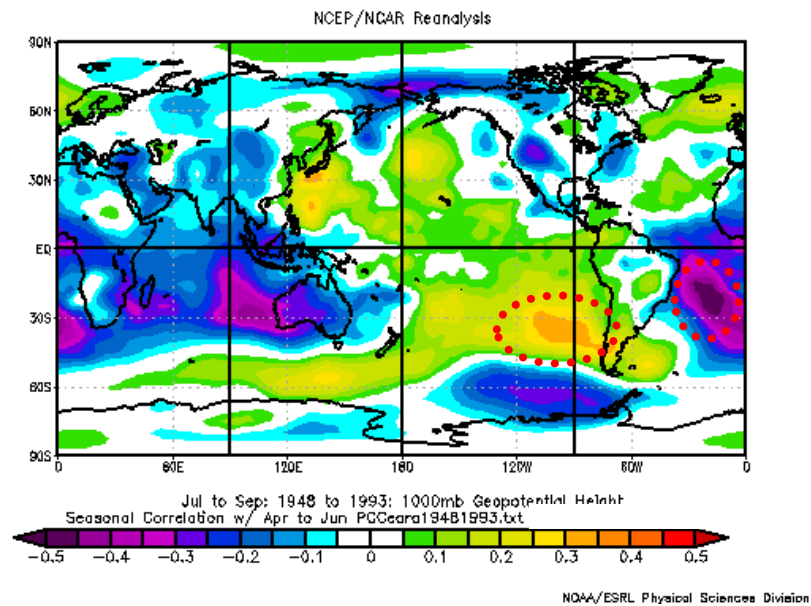


Figura 5.6 - Correlação da altura geopotencial com a componente principal das vazões afluentes dos reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano no Ceará.

Os círculos vermelhos nos gráficos de correlação apontam as zonas de maior correlação entre os preditores e as vazões afluentes nos reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

A Figura 5.5 e a Figura 5.6 mostram que ao mudar-se o período de início do estudo, primeiramente utilizando as anomalias de Janeiro a Março e depois as anomalias de Julho a Setembro, a região de maior correlação se deslocou para a direita.



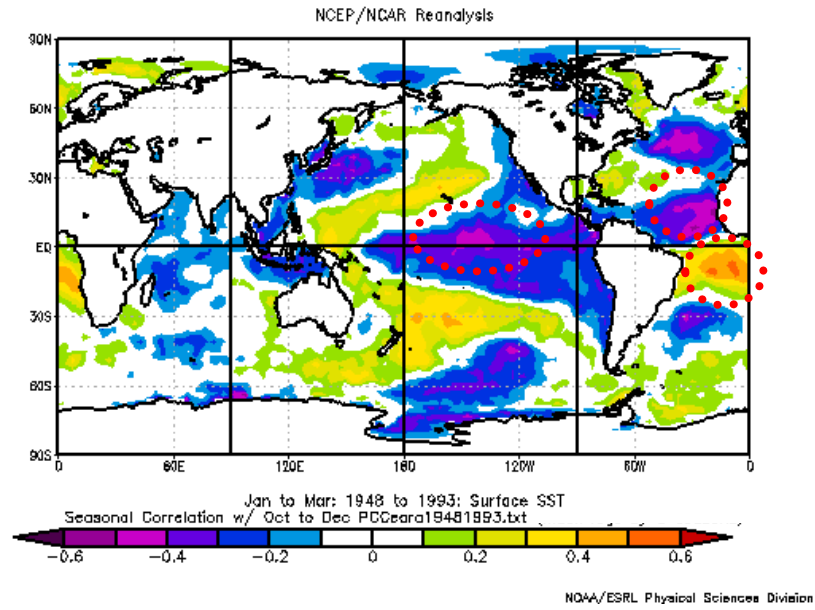


Figura 5.7 - Correlação da temperatura da superfície do mar com a componente principal das vazões afluentes dos reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano no Ceará.

Quando o estudo foi realizado para a temperatura da superfície do mar, percebeu-se resultado semelhante ao encontrado por Souza Filho & Lall (2003), em que a maior correlação foi para as zonas de Niño 3.4 e a região do Dipolo do Atlântico.

A Tabela 5.1 apresenta as coordenadas geográficas de todos os preditores selecionados para o estudo.

Tabela 5.1 - Coordenadas geográficas dos preditores selecionados com lag de 6 meses.

<b>Reservatórios</b>	<b>Anomalias</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Orós	GEOPOTENCIAL 1	30° Norte a 30° Sul	70° Leste a 180° Leste
	GEOPOTENCIAL 2	0° a 35° Sul	120° Oeste a 160° Oeste
	GEOPOTENCIAL 3	25° Sul a 45° Sul	80° Oeste a 120° Oeste
	GEOPOTENCIAL 4	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
	GEOPOTENCIAL 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
	TSM 1	1° Norte a 25,7° Sul	2° Oeste a 30° Oeste
	TSM 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
	TSM DIP	5° Norte a 20° Norte	30° Oeste a 60° Oeste
	TSM DIP	0° a 20° Sul	30° Oeste a 10° Leste
	Ventos Meridionais 1	15° Norte a 10° Sul	10° Oeste a 45° Oeste
	Ventos Merid. 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
Jaguaribe-Metropolitano Nordeste do Brasil	GEOPOTENCIAL 1	17,5° Sul a 35° Sul	110° Oeste a 150° Oeste
	GEOPOTENCIAL 2	5° Sul a 25° Sul	15° Oeste a 40° Oeste
	GEOPOTENCIAL 3	25° Sul a 45° Sul	80° Oeste a 120° Oeste
	GEOPOTENCIAL 4	12,5° Sul a 30° Sul	10° Oeste a 30° Oeste
	GEOPOTENCIAL 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
	TSM 1	2,9° Sul a 10,5° Sul	129,4° Oeste a 159,4° Oeste
	TSM 2	4,8° Norte a 20° Norte	9,4° Oeste a 39,4° Oeste
	TSM 3	1° Norte a 20° Sul	1,9° Oeste a 24,4° Oeste
	TSM 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste
	TSM DIP	5° Norte a 20° Norte	30° oeste a 60° Oeste
	TSM DIP	0° a 20° Sul	30° oeste a 10° Leste
	Ventos Meridionais 1	5° Norte a 5° Sul	20° Oeste a 40° Oeste
	Ventos Merid. 34	5° Norte a 5° Sul	90° Oeste a 150° Oeste

Algumas regiões de maior correlação se mantiveram quando houve mudança de escala individual (reservatório Orós) para escala regional (sistema Jaguaribe-Metropolitano e Nordeste do Brasil). Pode-se citar as regiões GEOPOTENCIAL 3 e TSM 1 para o reservatório Orós que foram semelhantes as regiões GEOPOTENCIAL 3 e TSM 3 para o sistema Jaguaribe-Metropolitano e Nordeste do Brasil.

### 5.1.2 Reservatório Individualizado – Açude Orós

Desenvolveram-se três modelos de previsão semi-paramétricos para realizar a previsão de vazão, o primeiro segue a mesma linha descrita por Souza Filho & Lall (2003), utilizando como preditor a temperatura da superfície do mar em dois locais, região do Niño 3.4 e a região do Dipolo do Atlântico; o segundo utilizou alguns dos preditores selecionados, realizando regressão linear e o terceiro utilizou também alguns dos preditores selecionados, realizando a regressão passo a passo (*stepwise*), com o objetivo de reduzir a quantidade de preditores.

- a) Regressão linear utilizando como preditores a temperatura da superfície do mar em duas regiões: Niño3.4 e dipolo do Atlântico

Os resultados a seguir utilizaram dados de 1913 a 1996. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os 30 (trinta) anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia foi desenvolvida utilizando a regressão linear. A Figura 5.8 apresenta os valores observados ano a ano, assim como os quantis 25%, 50% e 75% destes valores. Os valores previstos também são mostrados conforme o gráfico de áreas, dividindo os valores previstos em quantis.

Percebe-se que, tanto para os anos mais úmidos quanto para os mais secos, a previsão reflete bem a tendência da variação do que foi simulado em comparação com os valores observados.

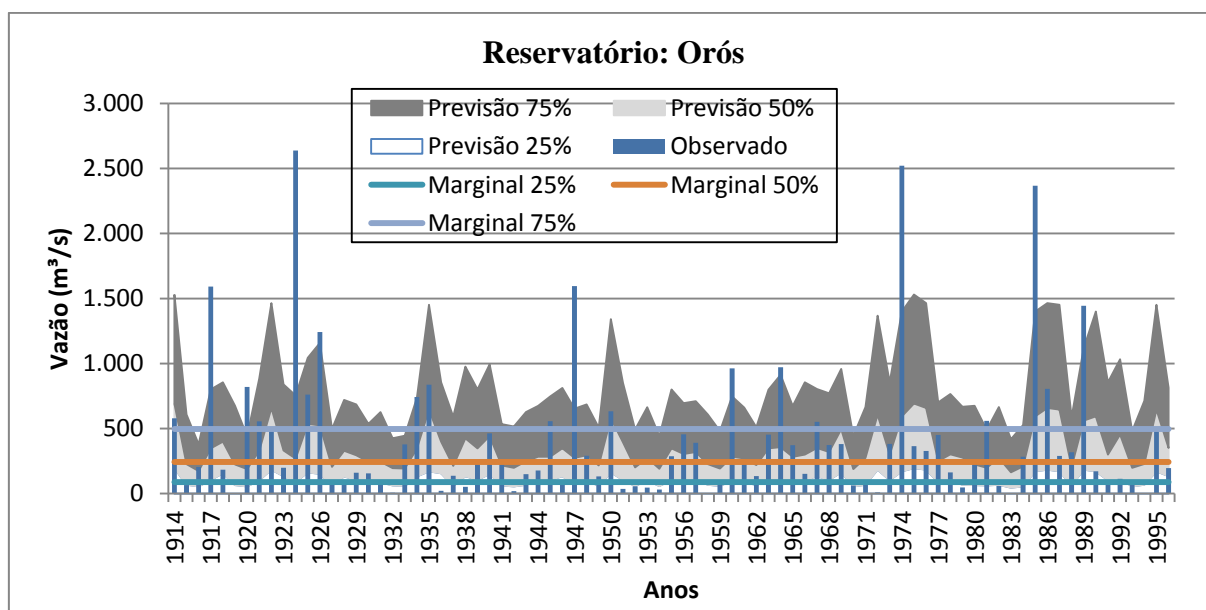


Figura 5.8 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

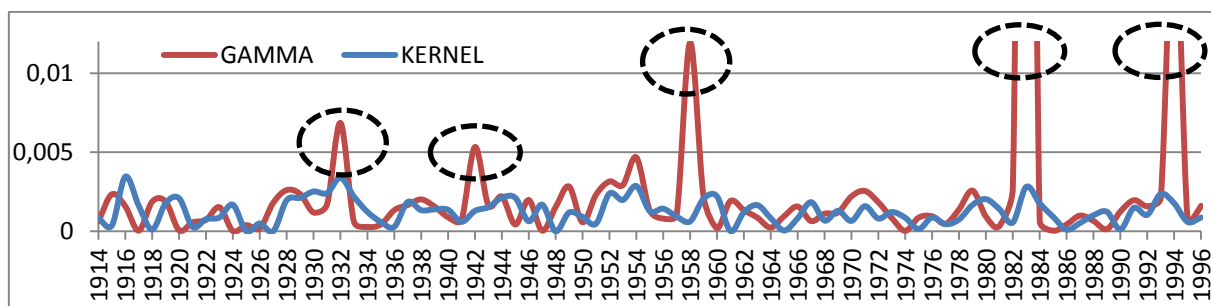


Figura 5.9 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

A Figura 5.9 apresenta marcado com um círculo os anos onde foi obtida uma maior verossimilhança em comparação ao observado, e a Tabela 5.2 mostra os anos mais próximos dos anos de maior verossimilhança com as respectivas vazões. Percebe-se que para os anos de menor vazão foram obtidos valores maiores de máxima verossimilhança.

Tabela 5.2 - Vazões em  $m^3/s$  para os anos de maior verossimilhança.

	1932(Vaz=6,998)		1942(Vaz=19,492)		1958(Vaz=4,48)		1983(Vaz=0,559)		1994(Vaz=1,044)	
	K-Viz.	Vazões	K-Viz.	Vazões	K-Viz.	Vazões	K-Viz.	Vazões	K-Viz.	Vazões
1	1920	820,382	1993	68,187	1915	65,438	1970	62,675	1988	317,698
2	1981	558,659	1984	283,214	1931	102,570	1920	820,382	1921	555,659
3	1954	31,421	1941	254,607	1927	86,493	1954	31,421	1958	4,480
4	1933	378,134	1988	317,698	1924	2638,222	1932	6,998	1966	151,664
5	1983	0,559	1916	205,427	1962	134,297	1927	86,493	1973	381,561
6	1952	55,349	1983	0,559	1966	151,664	1941	254,607	1915	65,438
7	1970	62,675	1970	62,675	1994	1,044	1993	68,187	1924	2638,222
8	1919	0,000	1920	820,382	1991	87,616	1919	0,000	1927	86,493
9	1980	229,707	1927	86,493	1930	156,109	1980	229,707	1991	87,616
10	1916	205,427	1994	1,044	1977	451,239	1981	558,659	1992	113,248
11	1949	131,873	1915	65,438	1980	229,707	1915	65,438	1931	102,570
12	1927	86,493	1958	4,480	1919	0,000	1916	205,427	1964	971,752
13	1943	149,375	1932	6,998	1964	971,752	1930	156,109	1962	134,297
14	1953	45,463	1954	31,421	1973	381,561	1958	4,480	1941	254,607
15	1944	177,984	1919	0,000	1960	962,634	1933	378,134	1993	68,187
16	1993	68,187	1980	229,707	1921	555,659	1962	134,297	1977	451,239
17	1941	254,607	1962	134,297	1988	317,698	1952	55,349	1930	156,109
18	1937	137,657	1931	102,570	1945	556,689	1931	102,570	1960	962,634
19	1930	156,109	1921	555,659	1970	62,675	1944	177,984	1970	62,675
20	1929	160,696	1966	151,664	1941	254,607	1929	160,696	1926	1242,173
21	1982	58,006	1924	2638,222	1929	160,696	1953	45,463	1980	229,707
22	1928	104,725	1981	558,659	1978	163,425	1949	131,873	1919	0,000
23	1961	251,945	1933	378,134	1983	0,559	1988	317,698	1945	556,689
24	1962	134,297	1930	156,109	1948	291,208	1977	451,239	1983	0,559
25	1915	65,438	1973	381,561	1954	31,421	1928	104,725	1923	198,809
26	1948	291,208	1991	87,616	1946	89,362	1948	291,208	1978	163,425
27	1971	67,682	1977	451,239	1993	68,187	1924	2638,222	1995	485,211
28	1931	102,570	1952	55,349	1923	198,809	1942	19,492	1942	19,492
29	1934	742,288	1929	160,696	1920	820,382	1994	1,044	1920	820,382
30	1958	4,480	1964	971,752	1944	177,984	1961	251,945	1946	89,362
Previsão 25%	62,675		55,349		68,187		45,463		68,187	
Previsão 50%	133,085		142,9805		158,4025		118,299		159,767	
Previsão 75%	229,707		317,698		381,561		254,607		485,211	

A Equação (38) demonstra como foi calculada a distância dos anos mais próximos.

$$d_i^2 = \{(Dip_j^* - Dip_{i,j})0,6209\}^2 + \{(Nino_j^* - Nino_{i,j})(-0,3977)\}^2 \quad (38)$$

onde *Dip* e *Nino* representam, respectivamente, os valores das anomalias no ano estudado, seguidos de seus respectivos coeficientes calculados oriundos da regressão linear.

b) Regressão linear utilizando os demais preditores.

Os resultados a seguir basearam-se nos dados de 1948 a 1996. A metodologia se assemelha ao método utilizado no item “a” que se vale da regressão linear, porém a quantidade de anos próximos utilizados para a previsão foi quinze, e essa mudança deve-se ao fato do uso de uma série histórica de dados menor. Para esta simulação, valeu-se de todos os preditores selecionados para o reservatório Orós já descritos na Tabela 5.1. A Figura 5.10 segue com os valores observados ano a ano, assim como os quantis 25%, 50% e 75% destes valores. Os valores previstos também são mostrados no gráfico de áreas, dividindo os valores previstos em quantis.

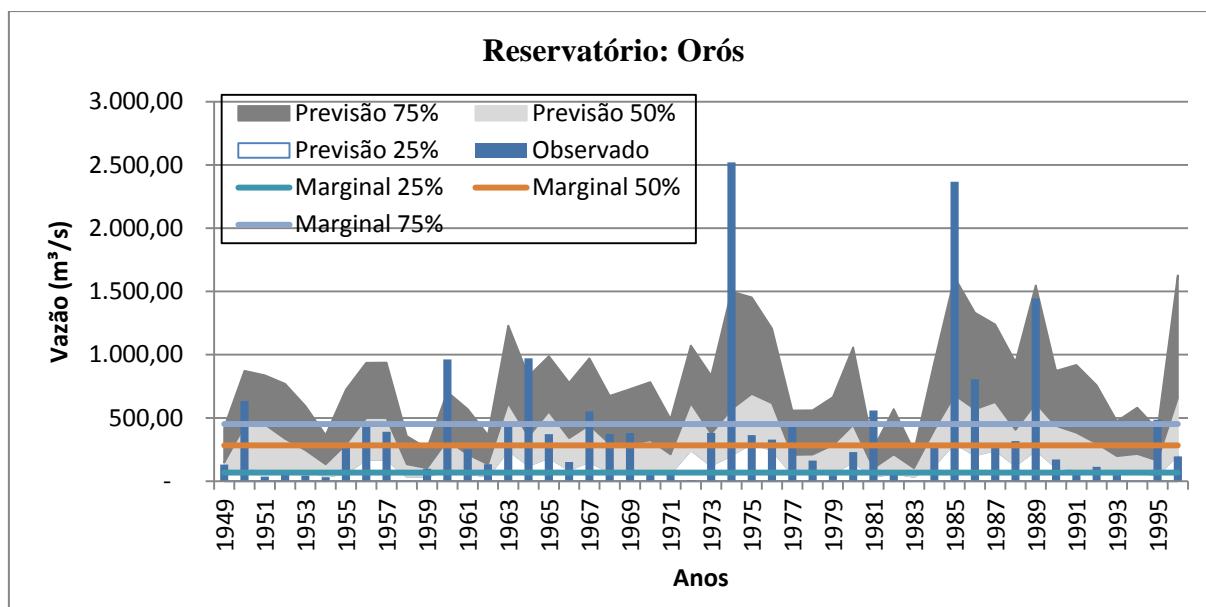


Figura 5.10 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

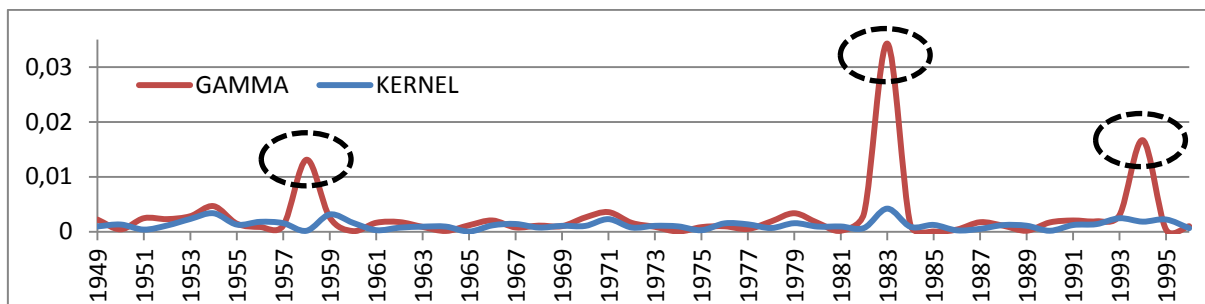


Figura 5.11 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

Mesmo diminuindo a série histórica e aumentando a quantidade de preditores de maneira semelhante ao cálculo realizado no subitem 5.1.2.a, os anos de maior verossimilhança foram 1958, 1983 e 1984.

Tabela 5.3 - Coeficientes da regressão linear.

Geo1	Geo2	Geo3	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSMnino34
-0,0248	-0,0834	-0,3474	-0,0892	0,0103	0,2988	0,2803	-0,3517

A Tabela 5.3 informa os coeficientes oriundos da regressão linear, utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

c) Regressão passo a passo (*Stepwise*) utilizando os demais preditores.

Os resultados a seguir valeram-se dos dados de 1948 a 1996. A metodologia se difere da aplicada no item “b” pelo fato de servir-se da regressão passo a passo (*stepwise*), explicada anteriormente. Para esta simulação, utilizaram-se todos os preditores selecionados para o reservatório Orós descritos na Tabela 5.1. A Figura 5.12 exhibe os valores observados ano a ano, bem como os quantis 25%, 50% e 75% destes valores. Os valores previstos, também, são mostrados no gráfico de áreas, dividindo os valores previstos em quantis.

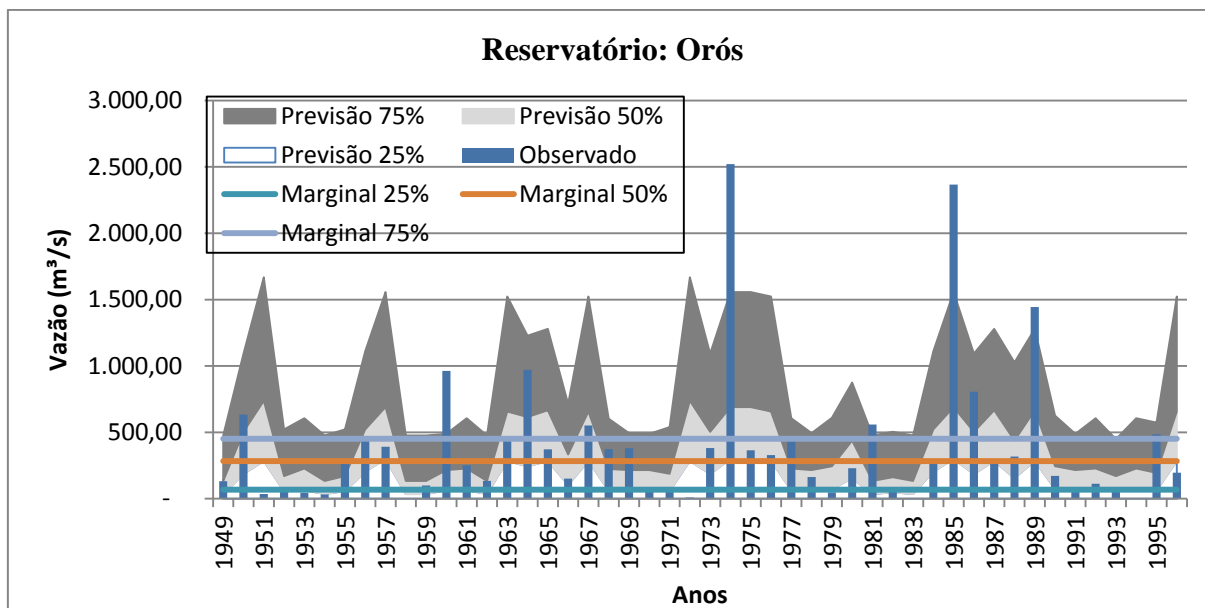


Figura 5.12 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

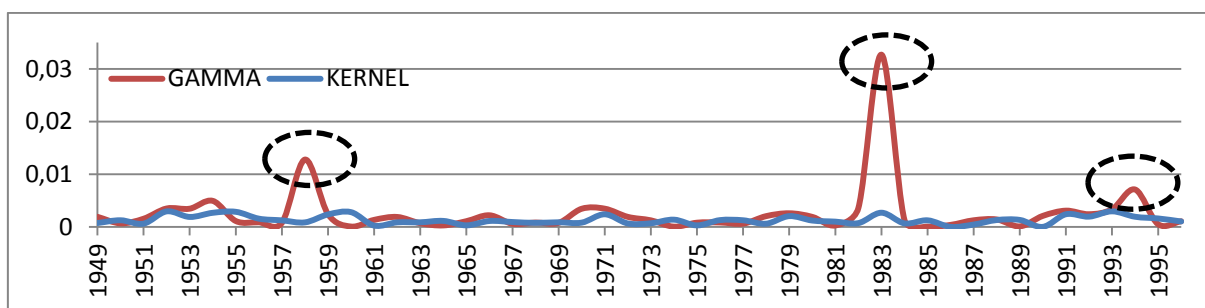


Figura 5.13 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

Note-se que mesmo diminuindo a série histórica, aumentando a quantidade de preditores e mudando o tipo de regressão, de maneira semelhante ao cálculo realizado no subitem 5.1.2.a, os anos de maior verossimilhança foram 1958, 1983 e 1984.

Tabela 5.4 - Coeficientes da regressão *stepwise*.

Geo1	Geo2	Geo3	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSMnino34
-	-	- 0,5312	-	-	-	-	-

A Tabela 5.4 expõe os coeficientes oriundos da regressão *stepwise* e os utilizados para o cálculo dos anos vizinhos. Após a realização da regressão, restou apenas um preditor, a altura geopotencial da região 3.

Tabela 5.5 - Comparativo do desempenho do Orós com os diferentes tipos de regressão.

RESERVATÓRIO	R. Linear (2 Preditores)		R. Linear (Todos os Preditores)		R. Stepwise	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,5137	1,1162	1,1038	1,2482	0,5940	1,2174

Percebe-se que o desempenho do modelo com a regressão linear utilizando todos os preditores obteve um ganho de desempenho quando comparado com os demais modelos.

### 5.1.3 Sistema Jaguaribe-Metropolitano

Neste item, serão apresentados apenas os resultados dos modelos para os principais reservatórios: Orós, Banabuiú e Castanhão. Os demais gráficos com resultados estarão contidos no apêndice.

- a) Regressão *Pool* utilizando como preditores a temperatura da superfície do mar em duas regiões: Nino3.4 e dipolo do Atlântico

Os resultados a seguir serviram-se de dados de 1931 a 1990. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os trinta anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia foi desenvolvida utilizando a regressão *pool* que nada mais é do que um conjunto de regressões lineares. Foram utilizados apenas dois preditores, a temperatura da superfície do mar em duas regiões: Nino 3.4 e dipolo do Atlântico. As figuras seguintes demonstram os valores observados ano a ano, assim como os quantis 25%, 50% e 75% destes valores. Os valores previstos também são mostrados através do gráfico de áreas, dividindo os valores previstos em quantis.



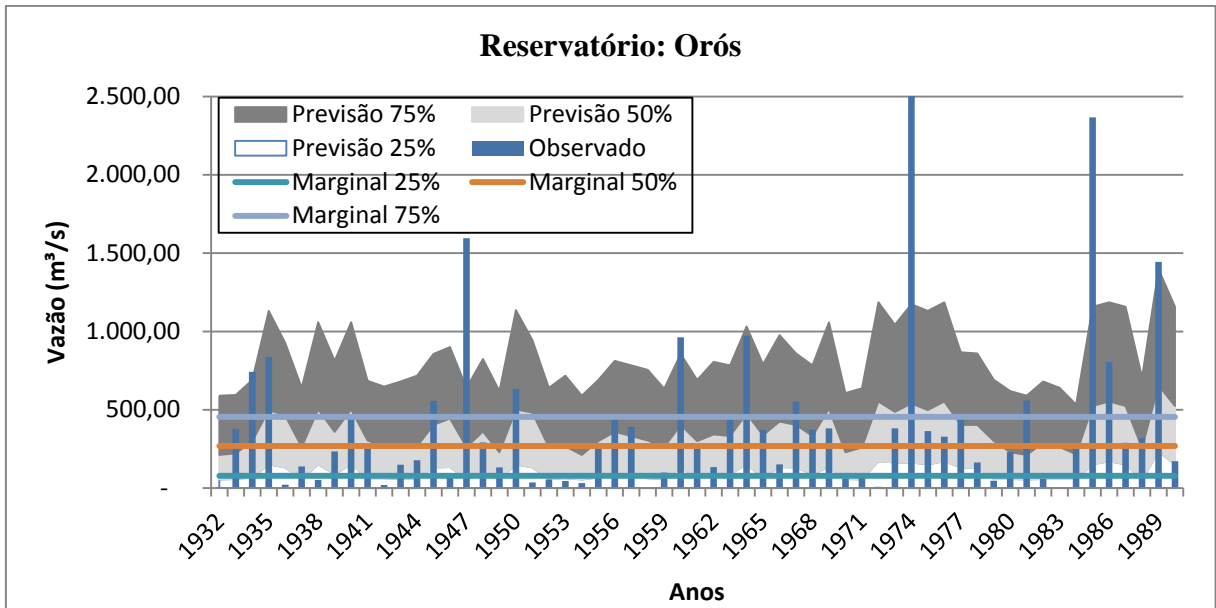


Figura 5.14 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

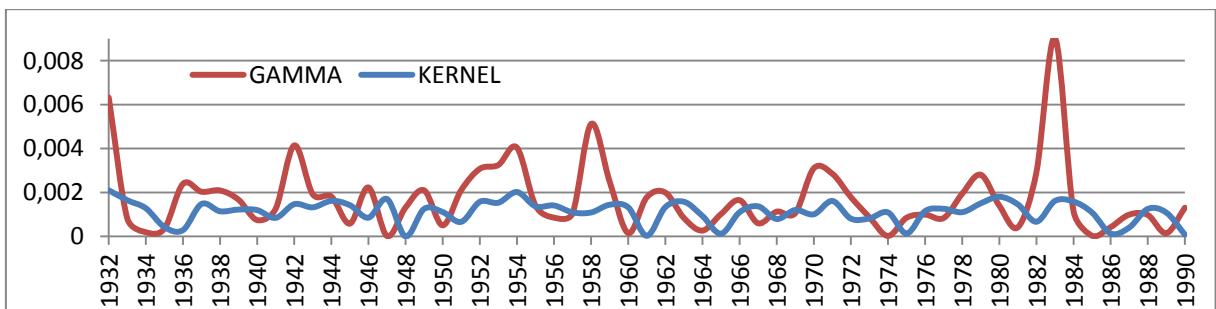


Figura 5.15 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

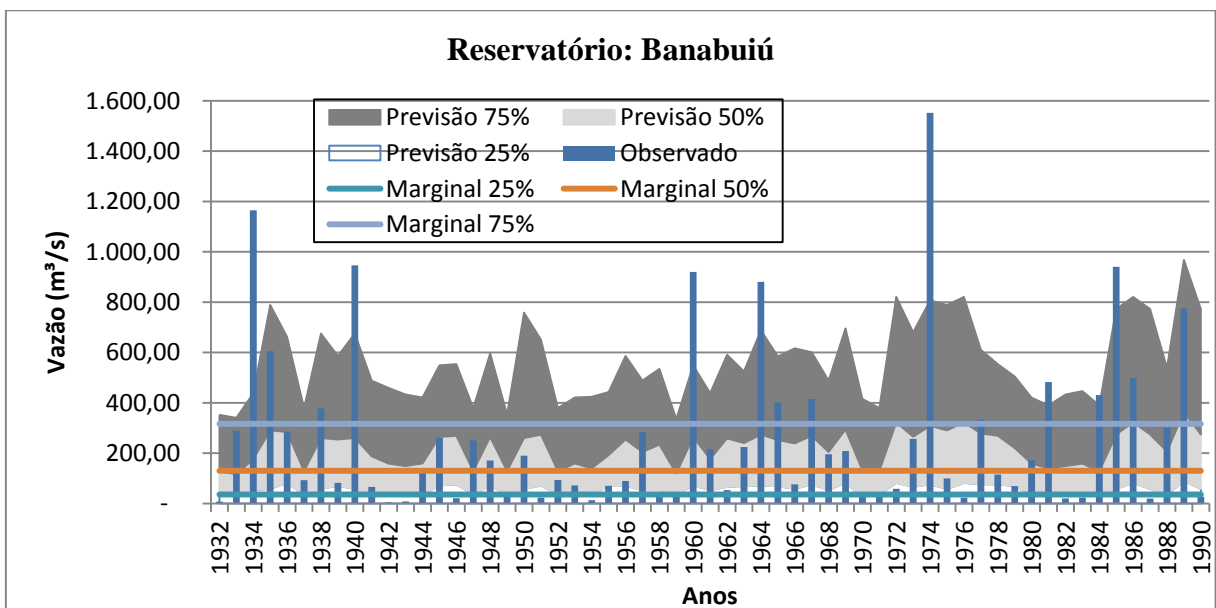


Figura 5.16 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

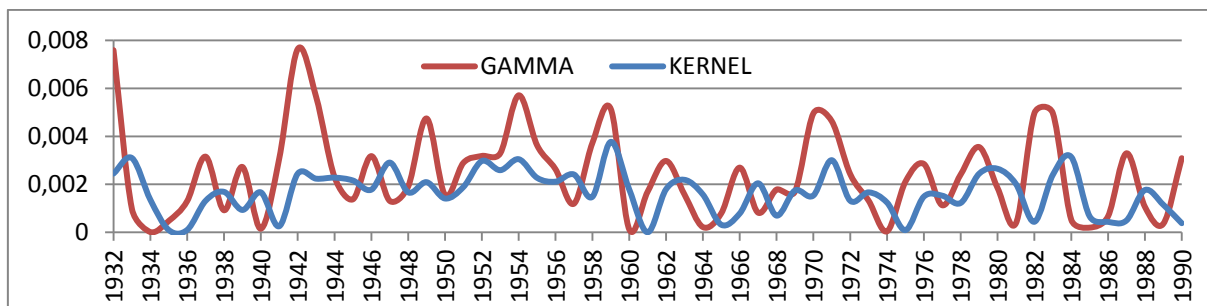


Figura 5.17 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

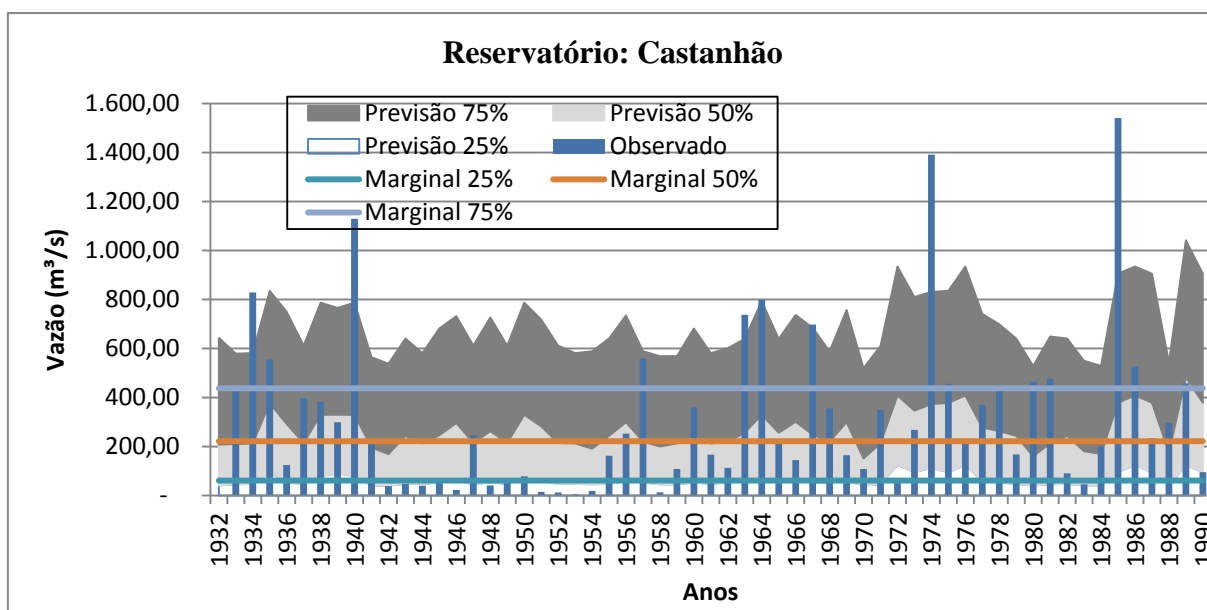


Figura 5.18 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

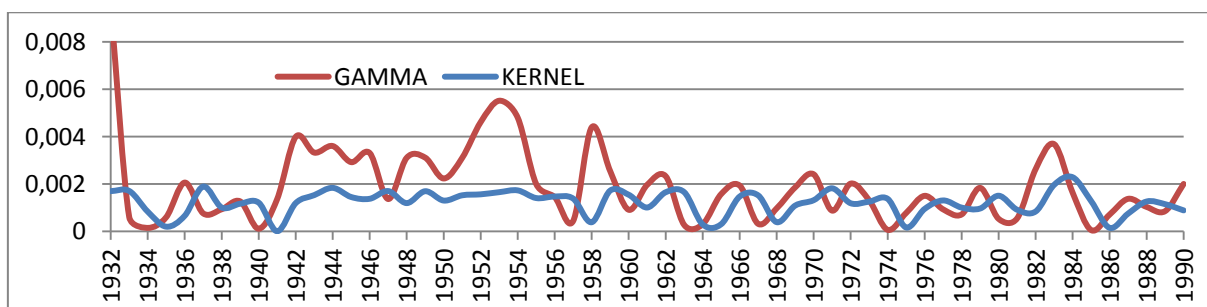


Figura 5.19 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

Tabela 5.6 - Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,92	1,11
BANABUIU	0,92	1,06
CASTANHÃO	0,98	1,06

A Tabela 5.6 faz um comparativo resumido do desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Equação (39) apresenta como foi calculada a distância dos anos mais próximos.

$$d_i^2 = \{(Dip_j^* - Dip_{i,j})0,4732\}^2 + \{(Nino_j^* - Nino_{i,j})(-0,2342)\}^2 \quad (39)$$

onde *Dip* e *Nino* representam, respectivamente, os valores das anomalias no ano estudado, seguidos de seus respectivos coeficientes calculados oriundos da regressão linear.

#### b) Regressão *Pool* utilizando os demais preditores

Os resultados a seguir utilizaram dados de vazões e preditores entre os anos 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os quinze anos mais próximos do ano previsto e a metodologia foi desenvolvida utilizando-se a regressão *pool*, assim como no item anterior. Para esta simulação foram aplicados os demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1

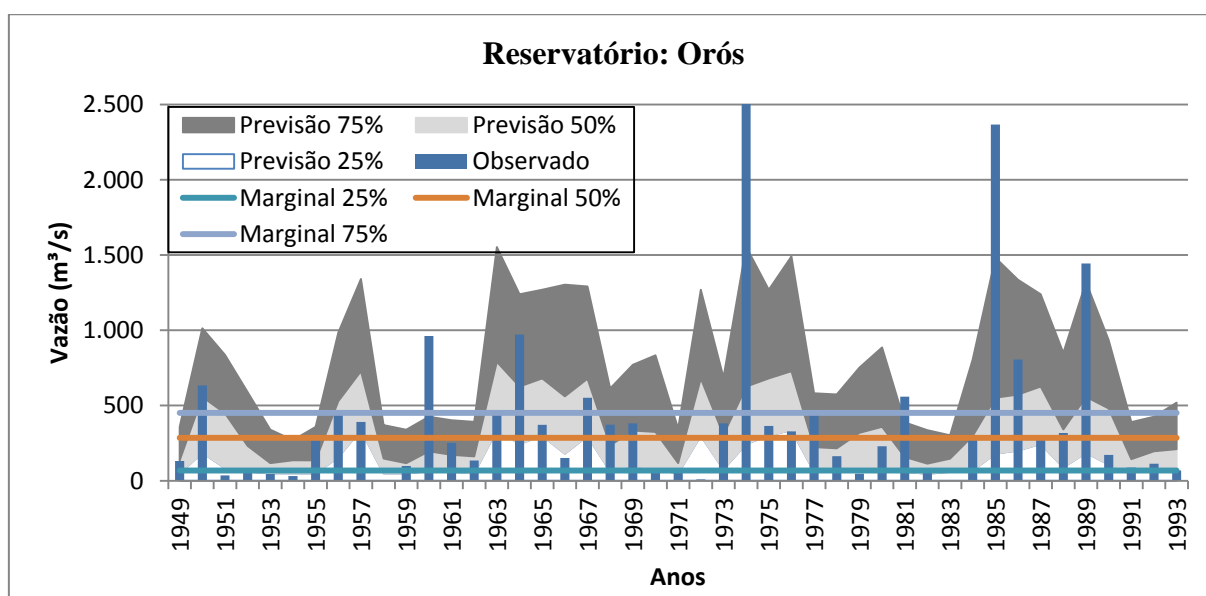


Figura 5.20 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

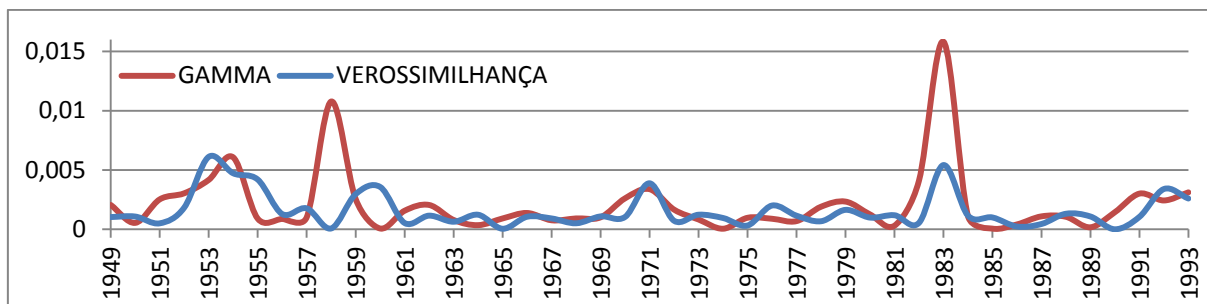


Figura 5.21 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

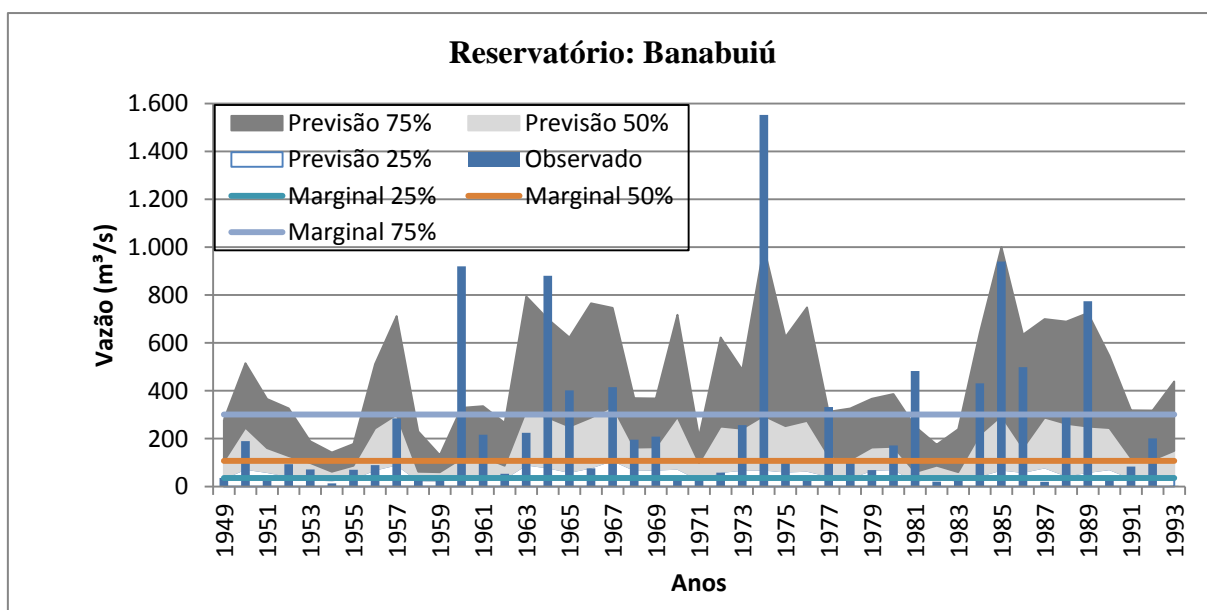


Figura 5.22 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

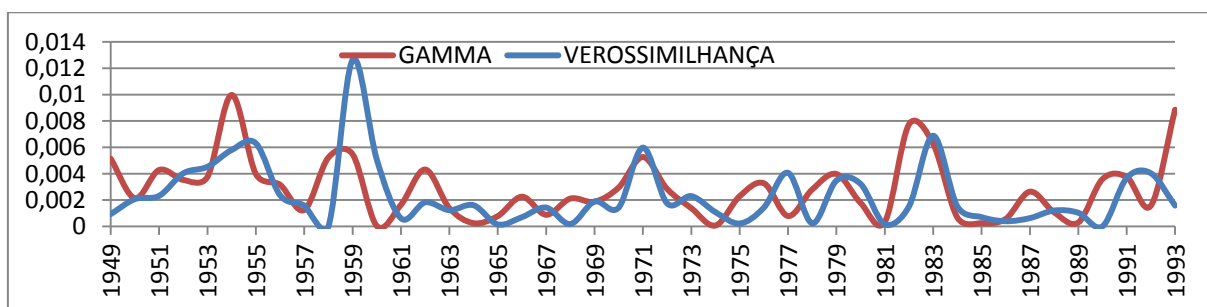


Figura 5.23 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

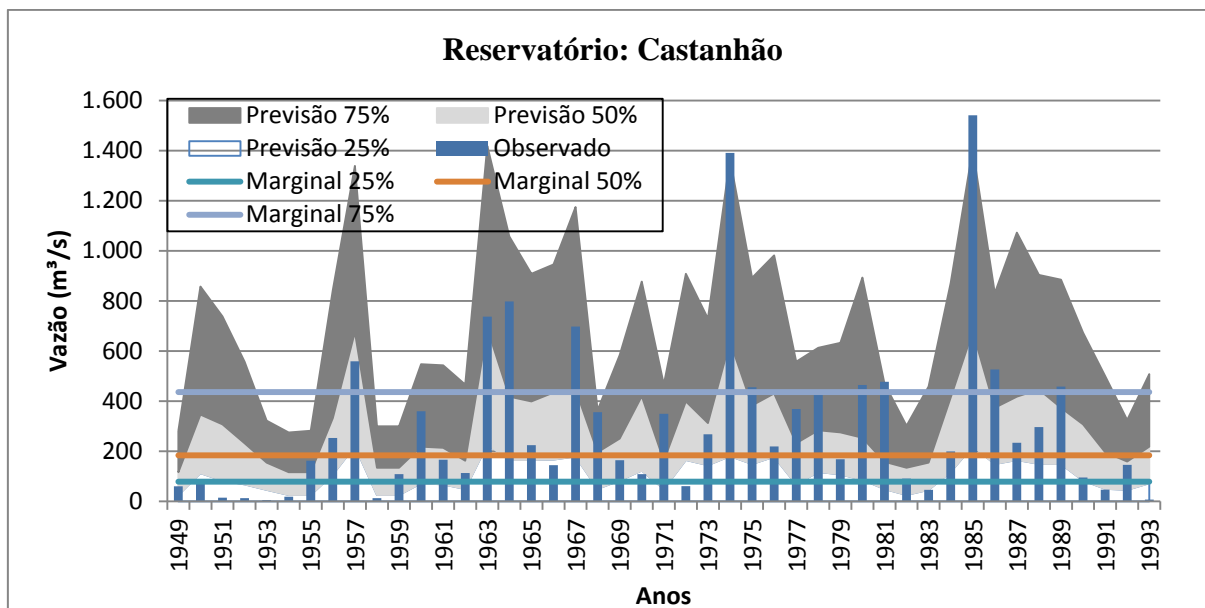


Figura 5.24 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

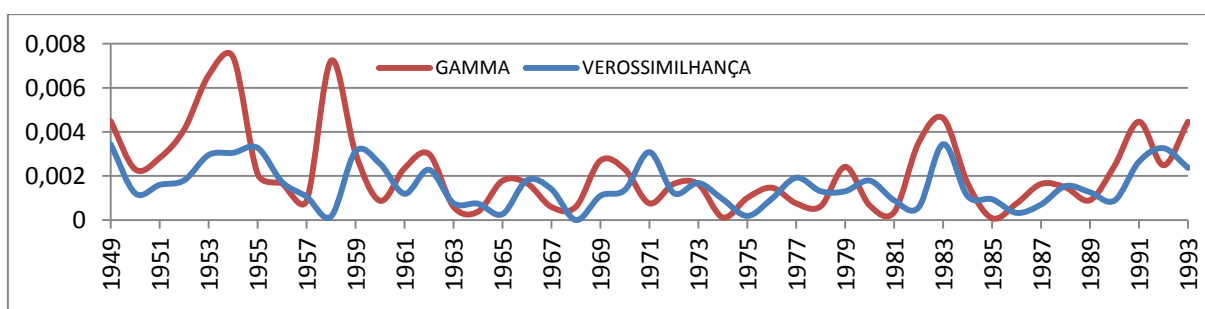


Figura 5.25 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

Tabela 5.7 - Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	1,0392	1,2320
BANABUIU	0,7703	1,1534
CASTANHÃO	0,9727	1,2365

A Tabela 5.7 faz um comparativo de forma resumida do desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.8 apresenta os coeficientes oriundos da regressão linear utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.8 - Coeficientes da regressão linear.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
-0,069	0,1549	0,0994	-0,5095	-0,1194	-0,233	-0,2676	0,1317	0,209	-0,0047	-0,2704

## c) Regressão Linear utilizando os demais preditores

Os resultados tiveram como ponto de partida os dados de 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os quinze anos mais próximos do ano previsto e a metodologia desenvolveu-se com base na regressão linear. Para esta simulação foram utilizados os demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1.

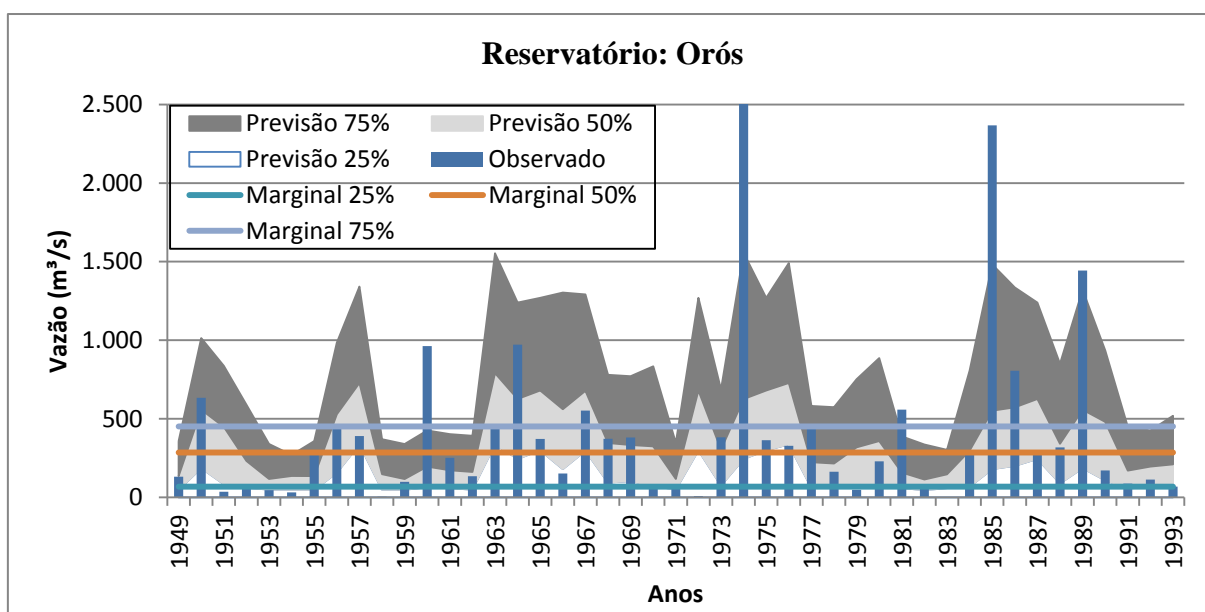


Figura 5.26 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

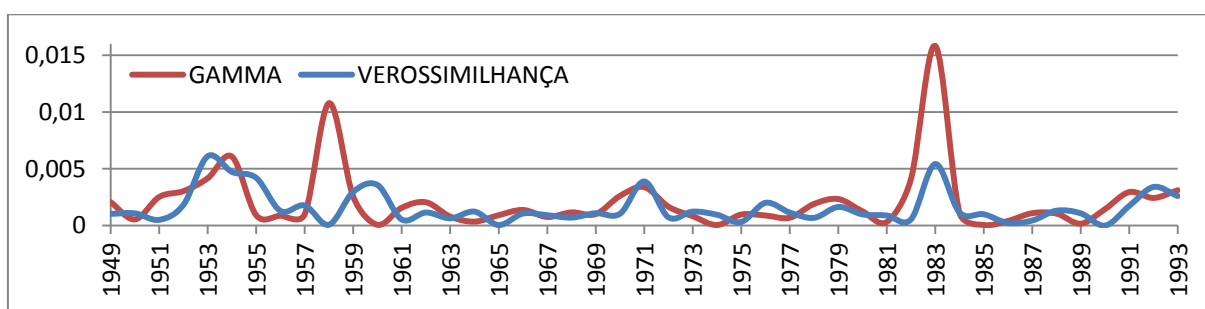


Figura 5.27 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

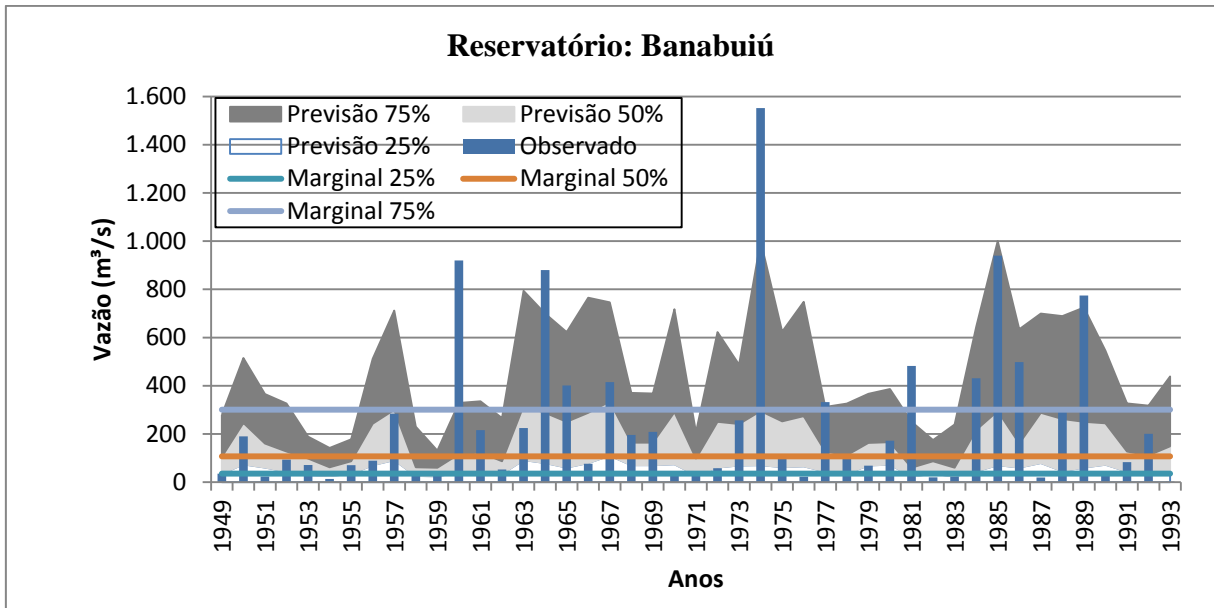


Figura 5.28 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

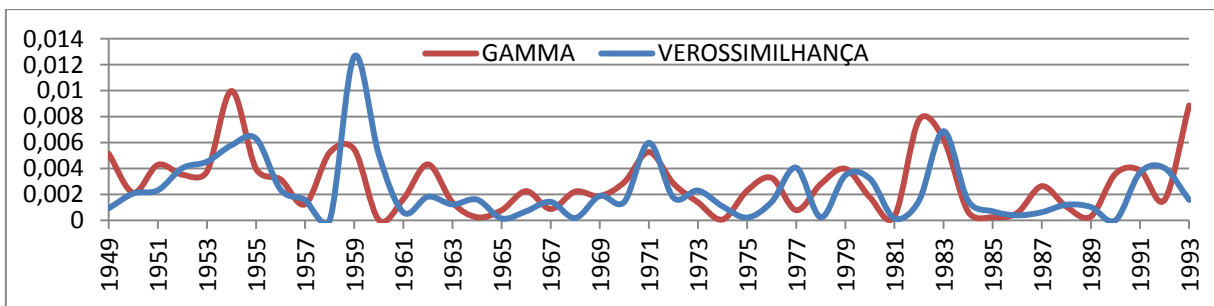


Figura 5.29 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

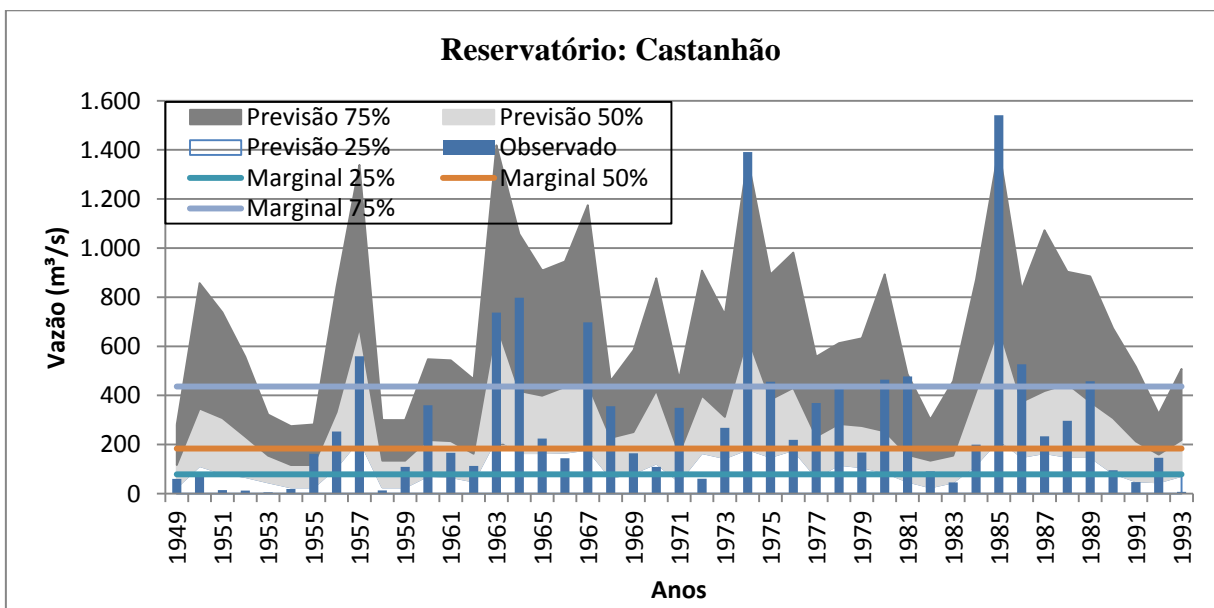


Figura 5.30 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

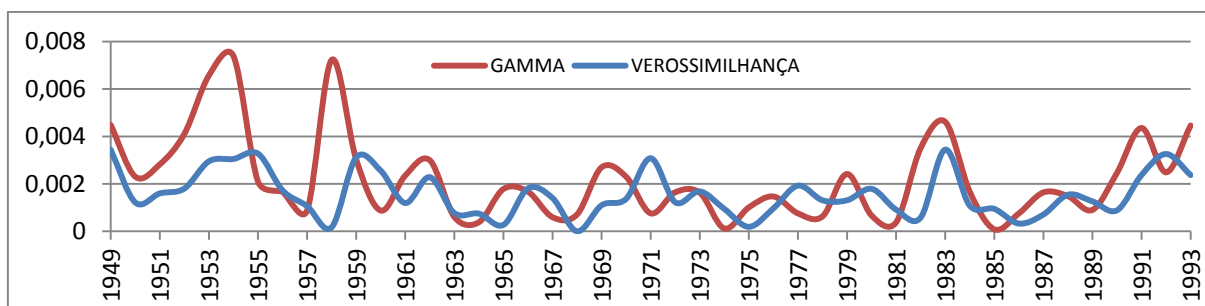


Figura 5.31 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

Tabela 5.9 - Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiu x Castanhão.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	1,0518	1,2391
BANABUIU	0,7704	1,1532
CASTANHÃO	0,9886	1,2415

A Tabela 5.9 indica um comparativo entre o desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.10 apresenta os coeficientes oriundos da regressão linear, utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.10 - Coeficientes da Regressão Linear.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
-0,0375	0,3474	0,3073	-1,4605	-0,4329	-0,6446	0,8080	0,0794	0,6170	0,0965	-0,5681

d) Regressão passo a passo (*Stepwise*) utilizando os demais preditores

Os resultados a seguir utilizaram dados de 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos valeu-se dos quinze anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia desenvolvida utilizou a regressão passo a passo (*stepwise*). Para esta simulação, serviu-se dos demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1



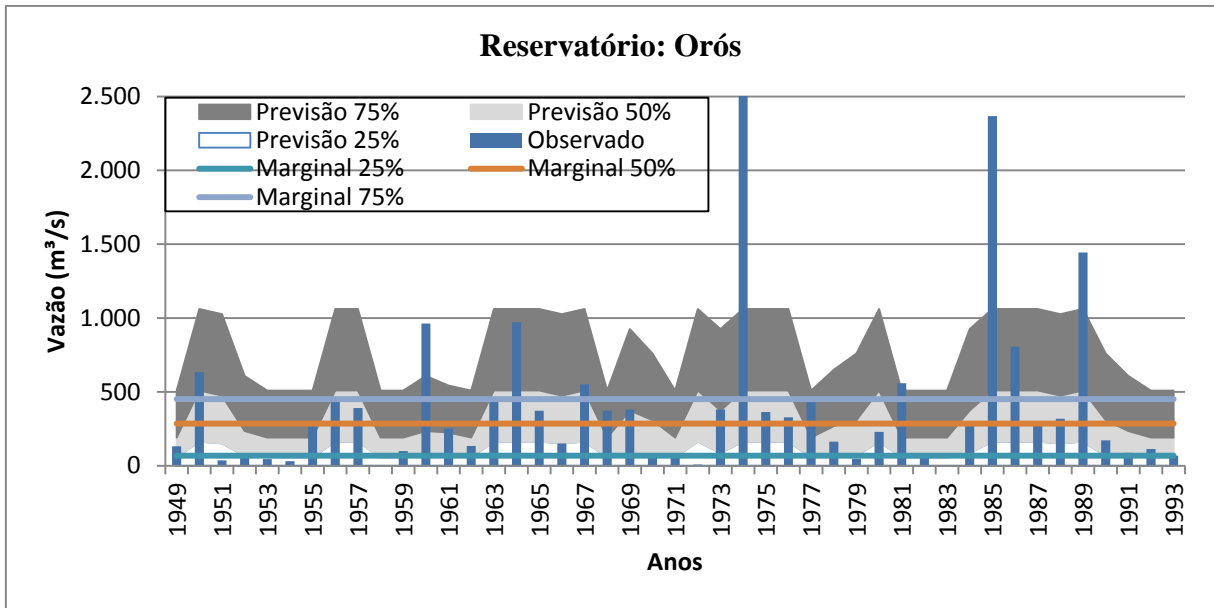


Figura 5.32 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

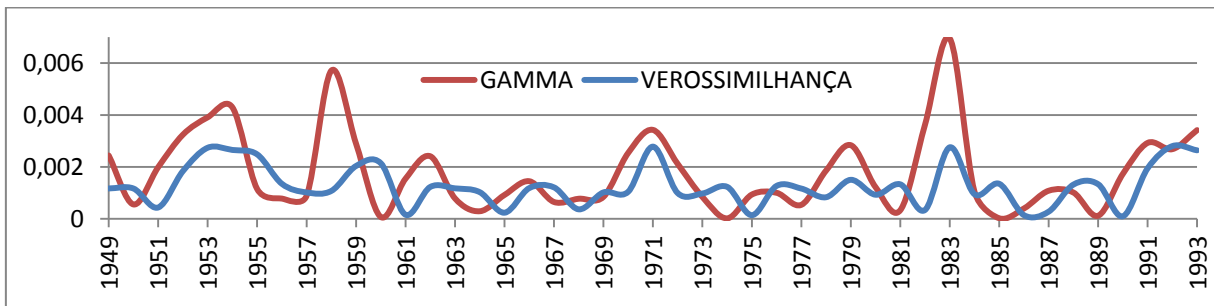


Figura 5.33 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

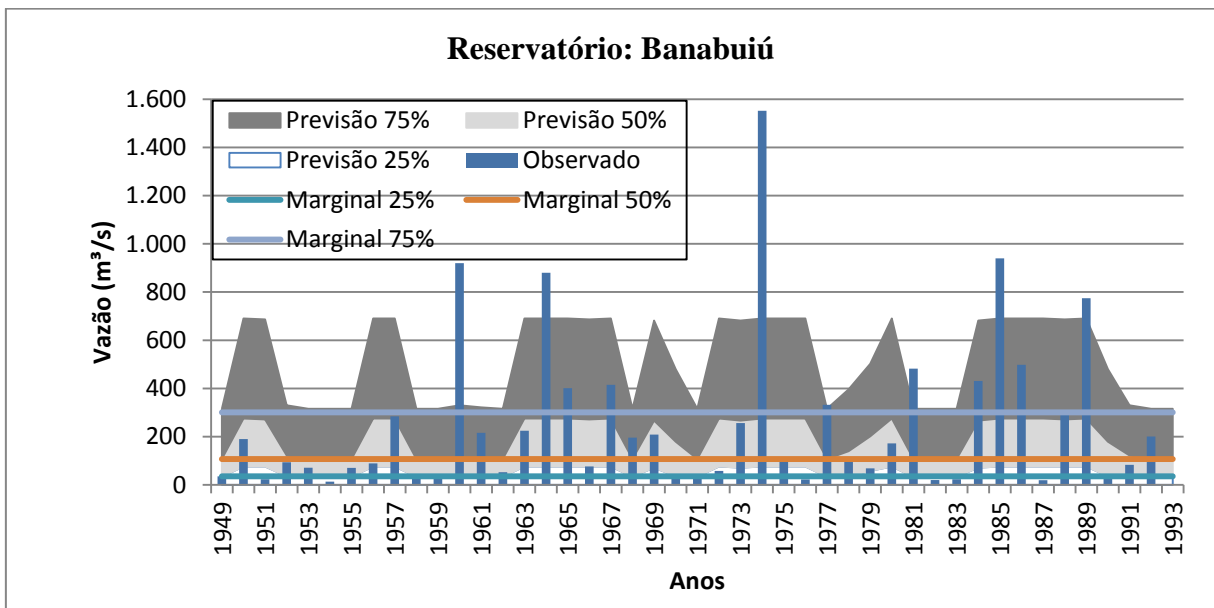


Figura 5.34 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

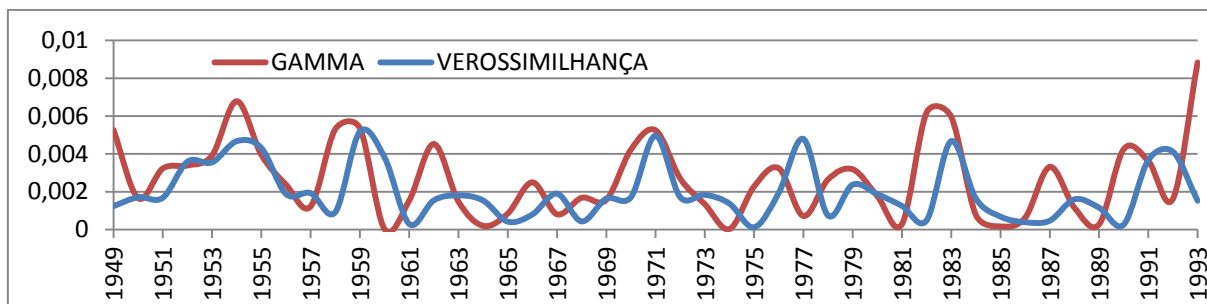


Figura 5.35 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

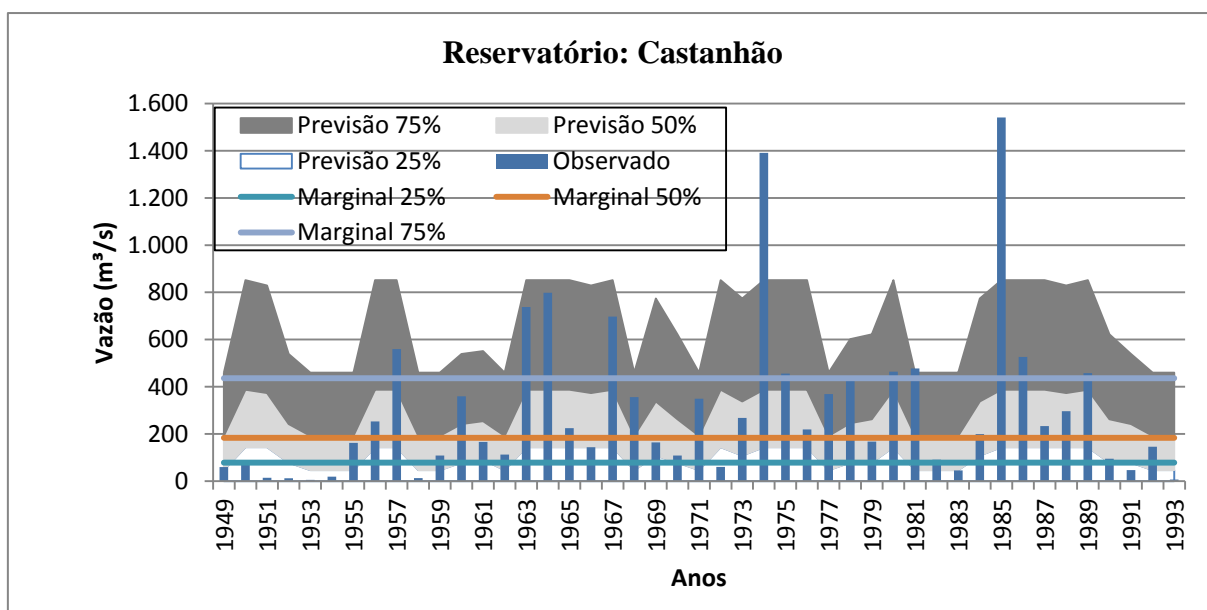


Figura 5.36 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

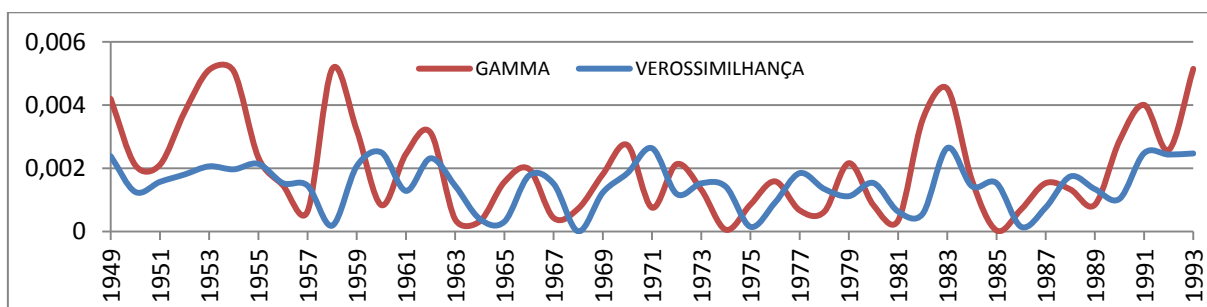


Figura 5.37 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

Tabela 5.11 - Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9437	1,2533
BANABUIU	0,8583	1,1308
CASTANHÃO	0,9821	1,2630

A Tabela 5.11 faz-se um resumo do comparativo do desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.12 apresenta os coeficientes oriundos da regressão *stepwise*, utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.12 - Coeficientes da regressão *stepwise*.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
0,0000	0,0000	0,0000	-1,3358	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 5.13 – Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão com os diferentes tipos de regressão.

RESERVATÓRIO	R. Pool (2 Preditores)		R. Pool (Todos os Preditores)		R. Linear		R. Stepwise	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9229	1,1147	1,0392	1,2320	1,0518	1,2391	0,9437	1,2533
BANABUIU	0,9197	1,0603	0,7703	1,1534	0,7704	1,1532	0,8583	1,1308
CASTANHÃO	0,9841	1,0574	0,9727	1,2365	0,9886	1,2415	0,9821	1,2630

#### 5.1.4 Reservatórios do Nordeste Brasileiro

- a) Regressão *Pool* utilizando como preditores a temperatura da superfície do mar em duas regiões: Nino3.4 e dipolo do Atlântico

Os resultados a seguir basearam-se nos dados de vazões e preditores para os anos de 1931 a 1990. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os trinta anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia foi desenvolvida utilizando a regressão *pool* que nada mais é do que um conjunto de regressões lineares. Foram usados apenas dois preditores, a temperatura da superfície do mar em duas regiões: nino3.4 e dipolo do Atlântico. As figuras a seguir apontam os valores observados ano a ano, assim como os quantis 25%, 50% e 75% destes valores. Os valores previstos também são mostrados no gráfico de áreas, dividindo os valores previstos em quantis.

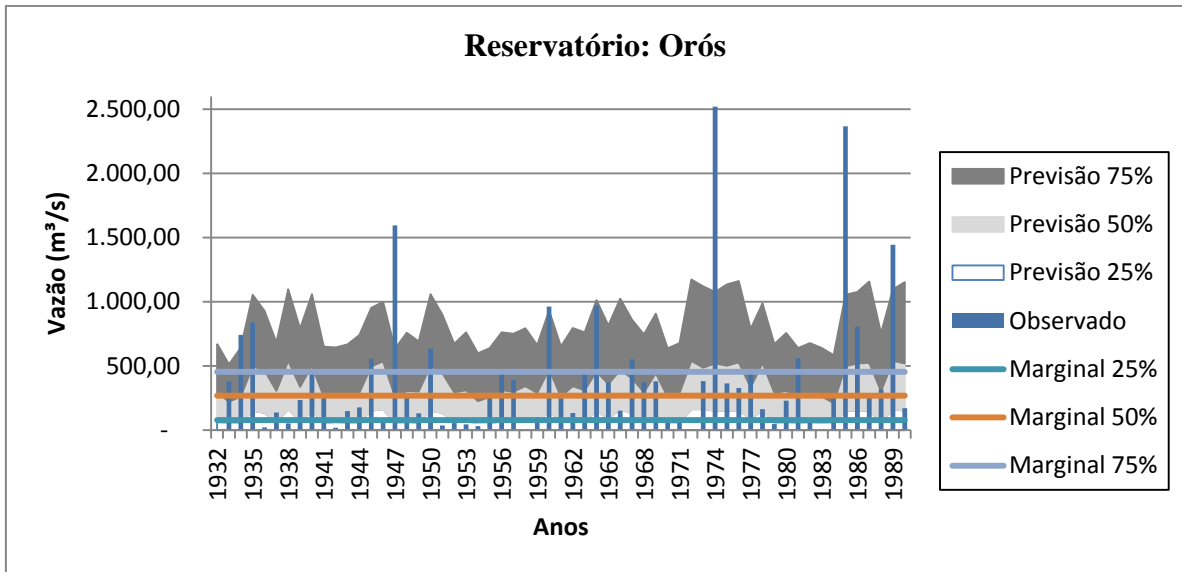


Figura 5.38 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

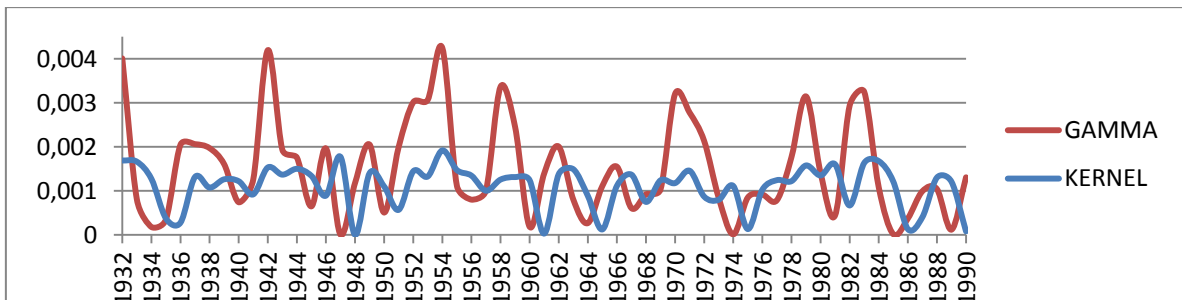


Figura 5.39 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

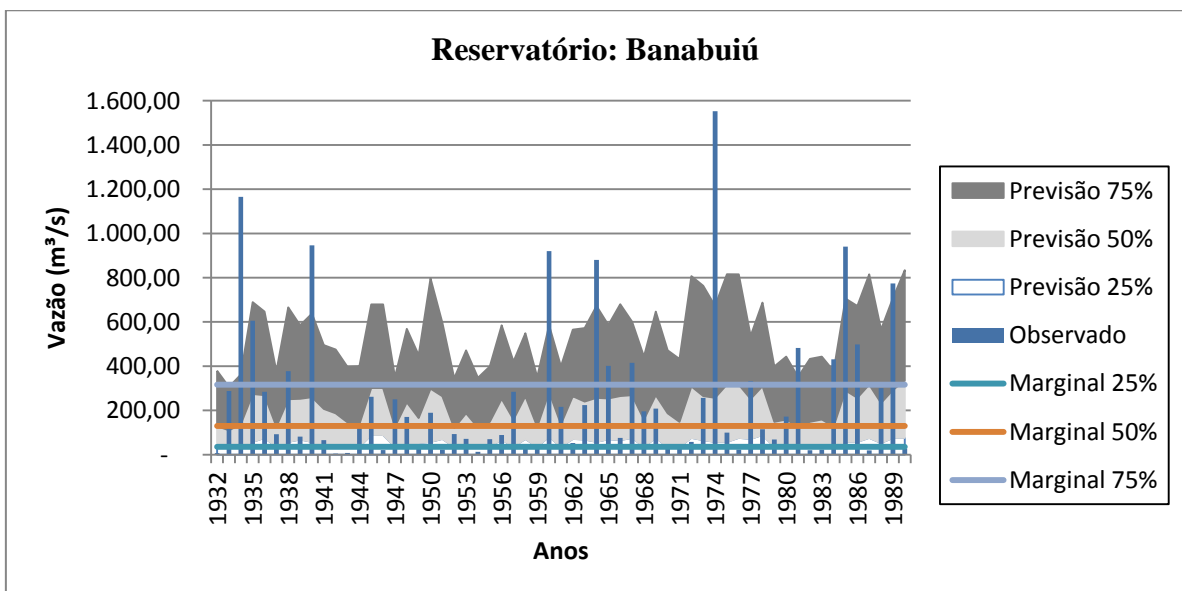


Figura 5.40 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

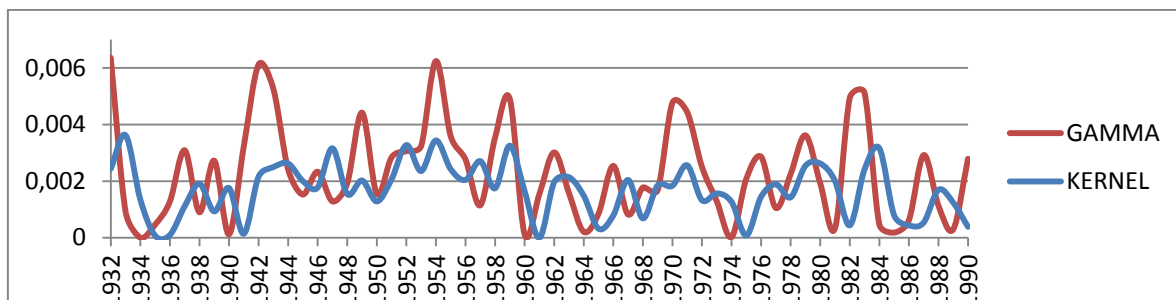


Figura 5.41 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

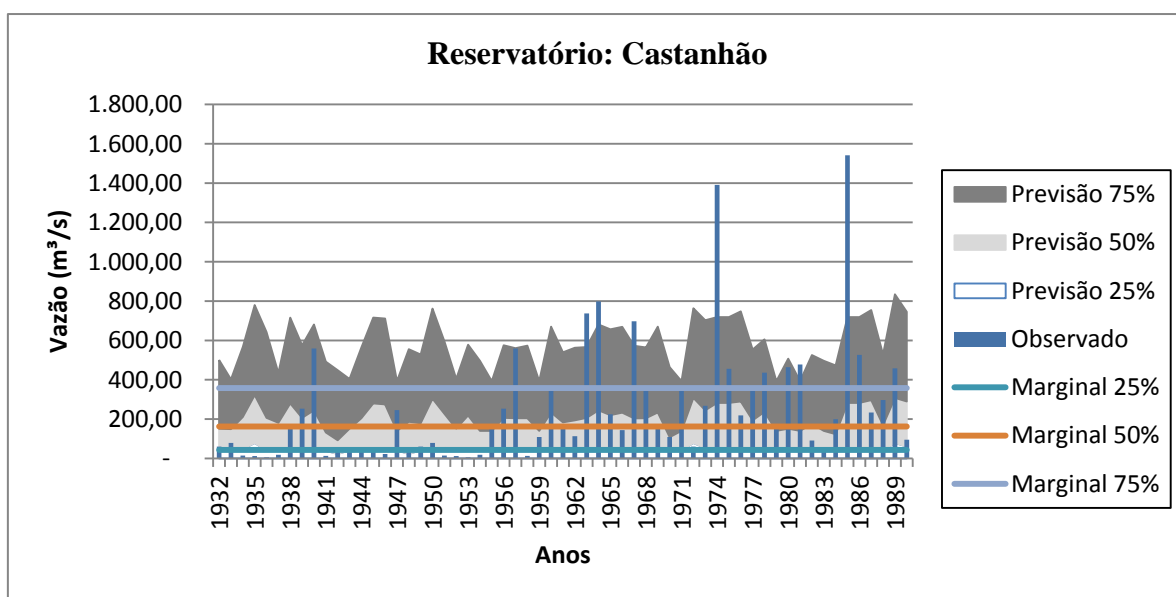


Figura 5.42 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

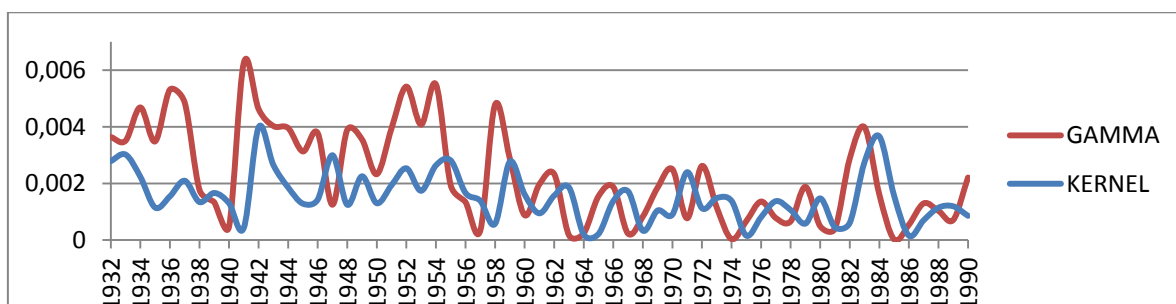


Figura 5.43 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

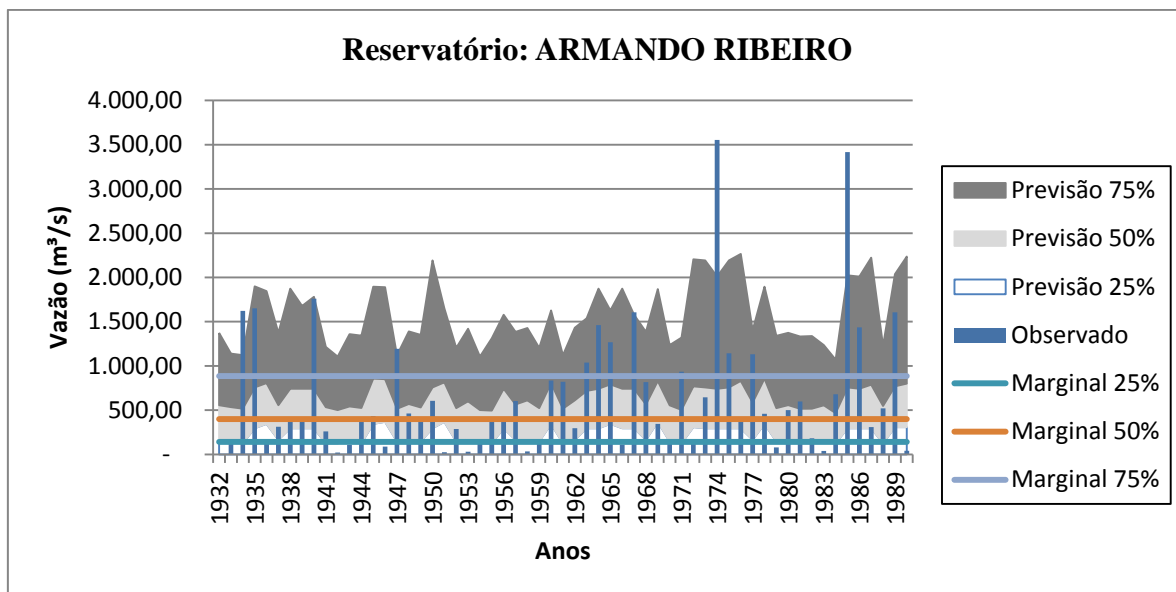


Figura 5.44 - Gráfico da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

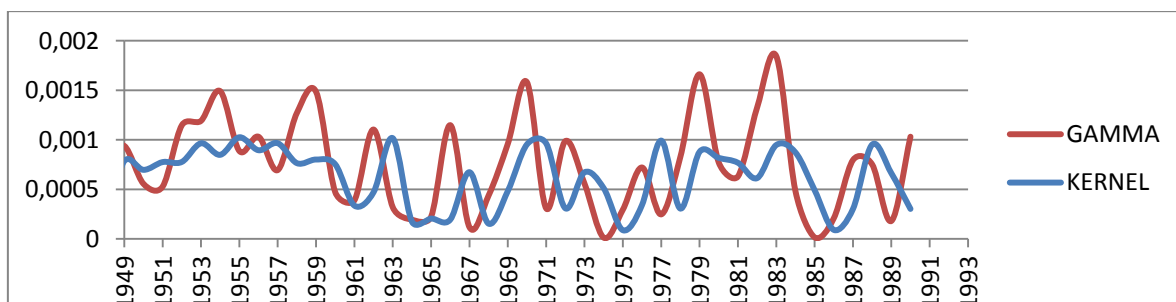


Figura 5.45 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

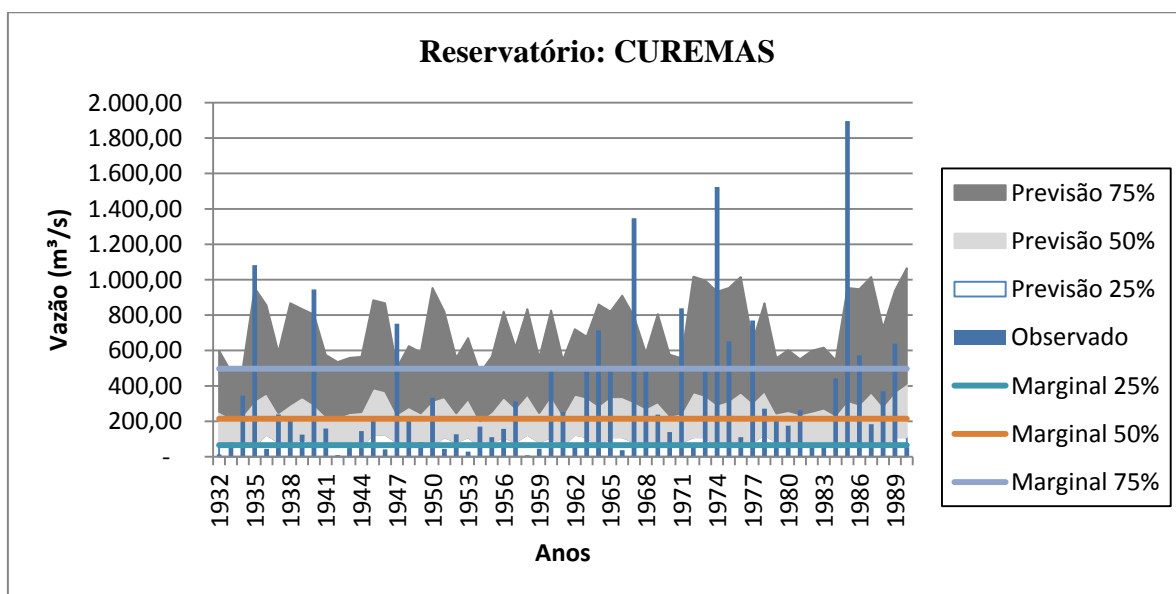


Figura 5.46 - Gráfico da previsão para o Reservatório Curemas.

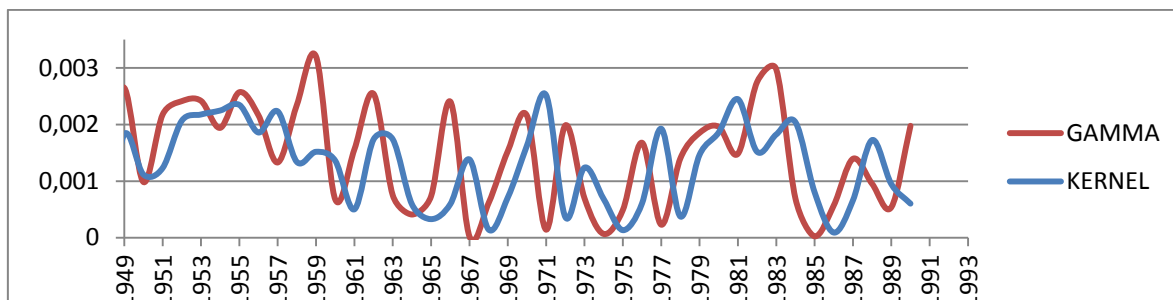


Figura 5.47 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Curemas.

A Tabela 5.14 indica um comparativo entre o desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Equação (40) aponta como foi calculada a distância dos anos mais próximos.

$$d_i^2 = \{(Dip_j^* - Dip_{i,j})0,4836\}^2 + \{(Nino_j^* - Nino_{i,j})(-0,1715)\}^2 \quad (40)$$

onde  $Dip$  e  $Nino$  representam, respectivamente, os valores das anomalias no ano estudado, seguidos de seus respectivos coeficientes calculados oriundos da regressão linear.

Tabela 5.14 – Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão x Armando Ribeiro x Curemas.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9106	1,0142
BANABUIU	0,9005	0,9861
CASTANHÃO	0,9962	1,0087
ARMANDO RIBEIRO	1,0356	1,0227
CUREMAS	1,0849	1,0283

#### b) Regressão *Pool* utilizando os demais preditores

Os resultados a seguir utilizaram dados de 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os quinze anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia foi desenvolvida com apoio da regressão *pool*, assim como no item anterior. Para esta simulação foram utilizados os demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1

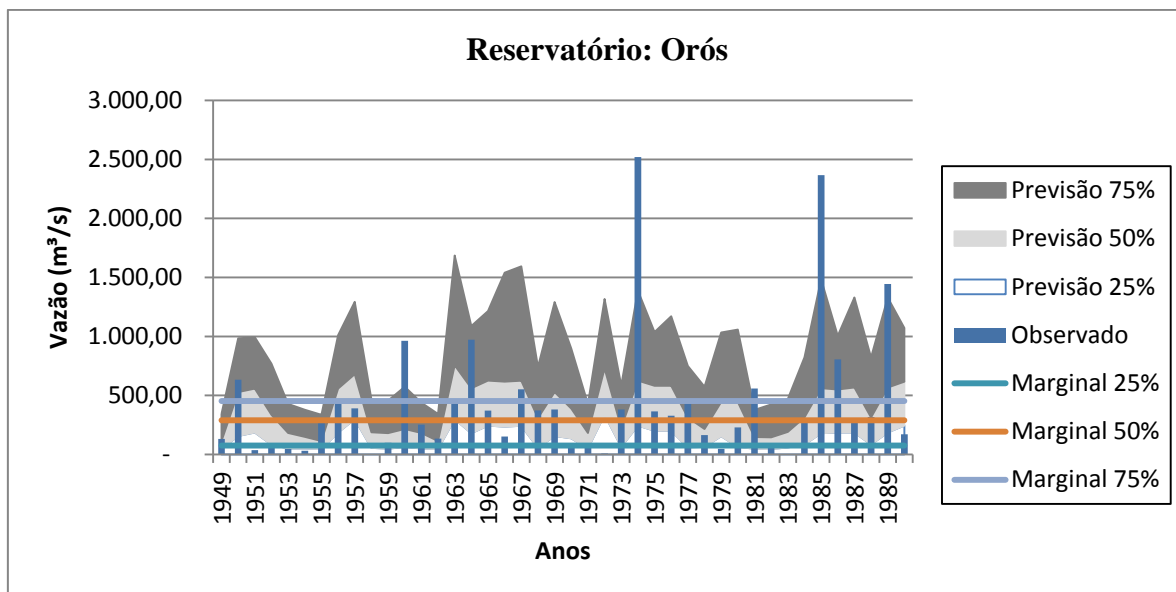


Figura 5.48 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

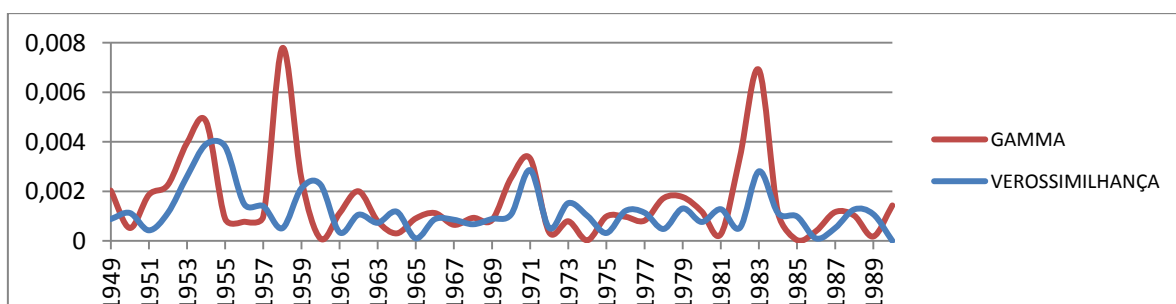


Figura 5.49 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

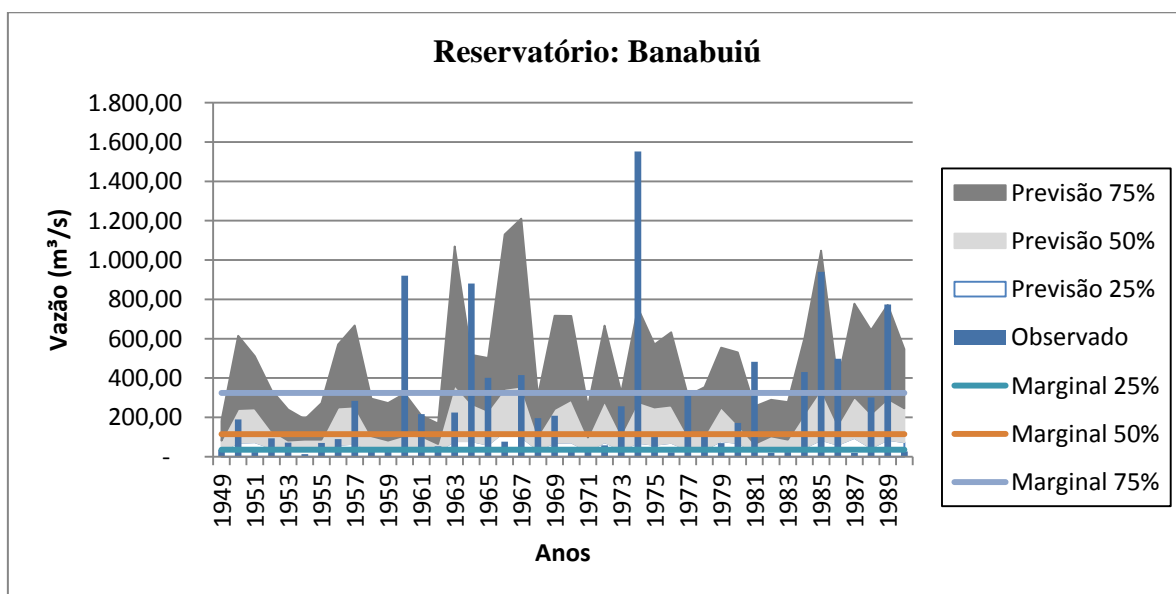


Figura 5.50 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.



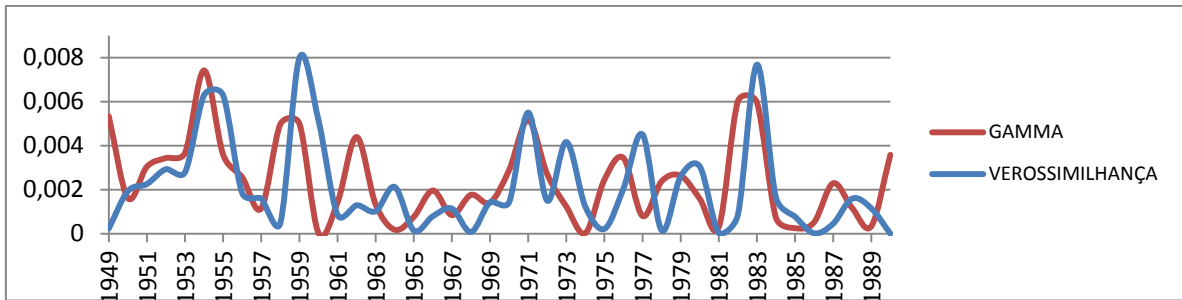


Figura 5.51 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

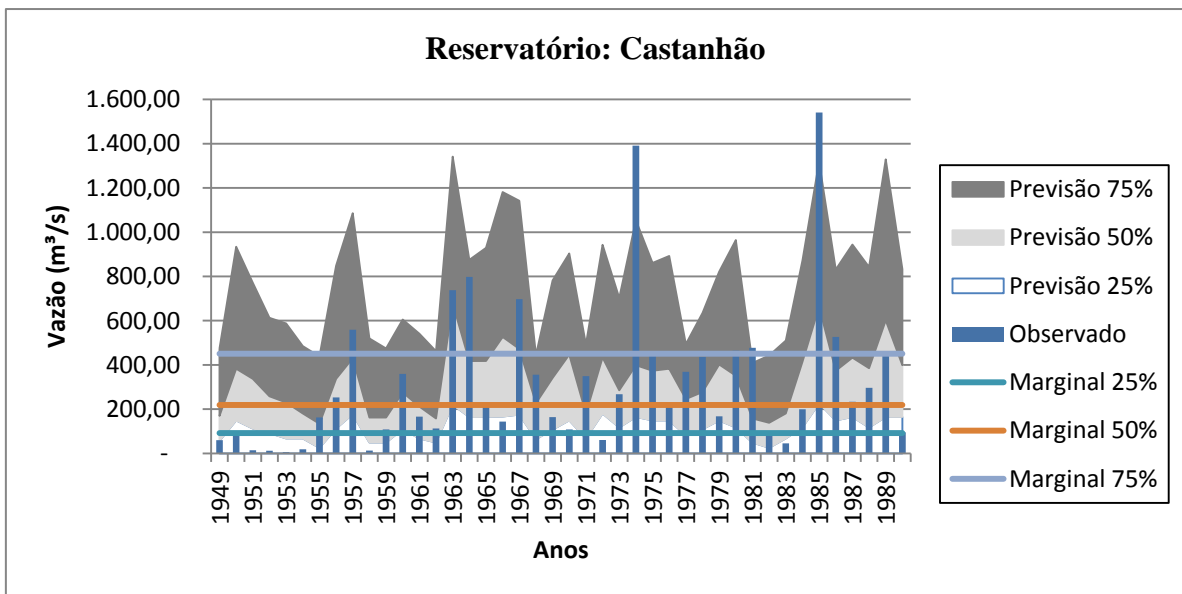


Figura 5.52 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

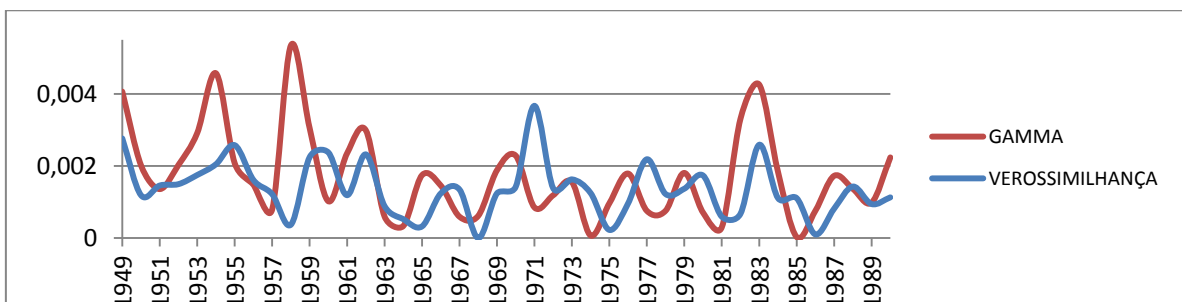


Figura 5.53 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

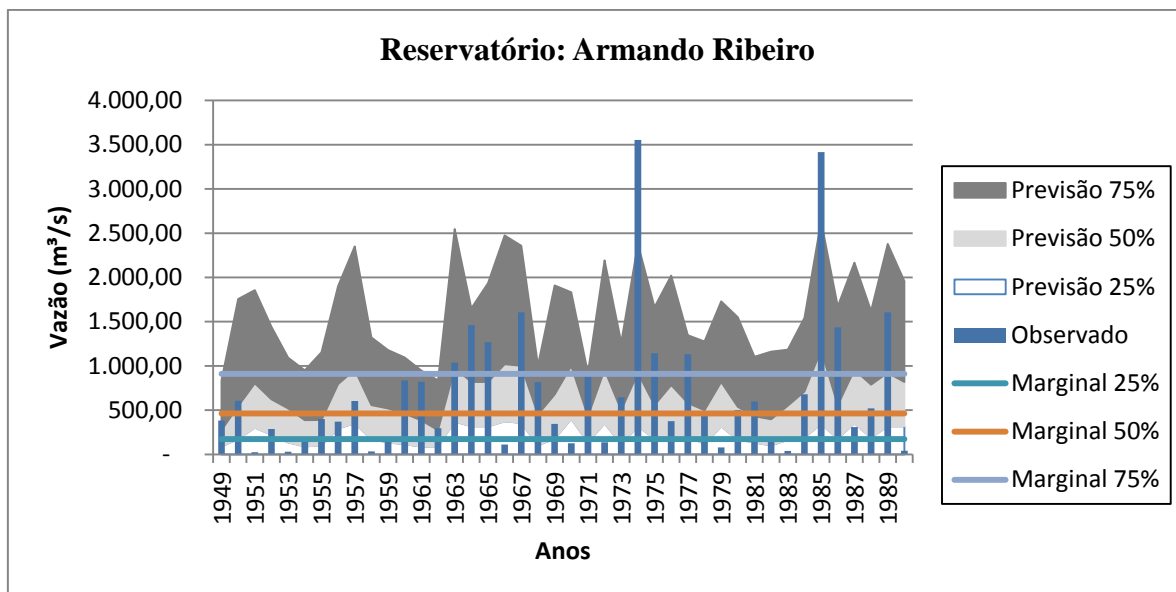


Figura 5.54 - Gráfico da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

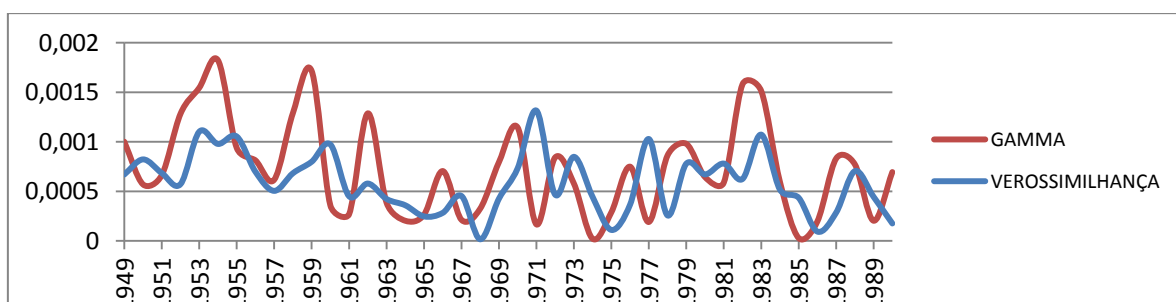


Figura 5.55 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

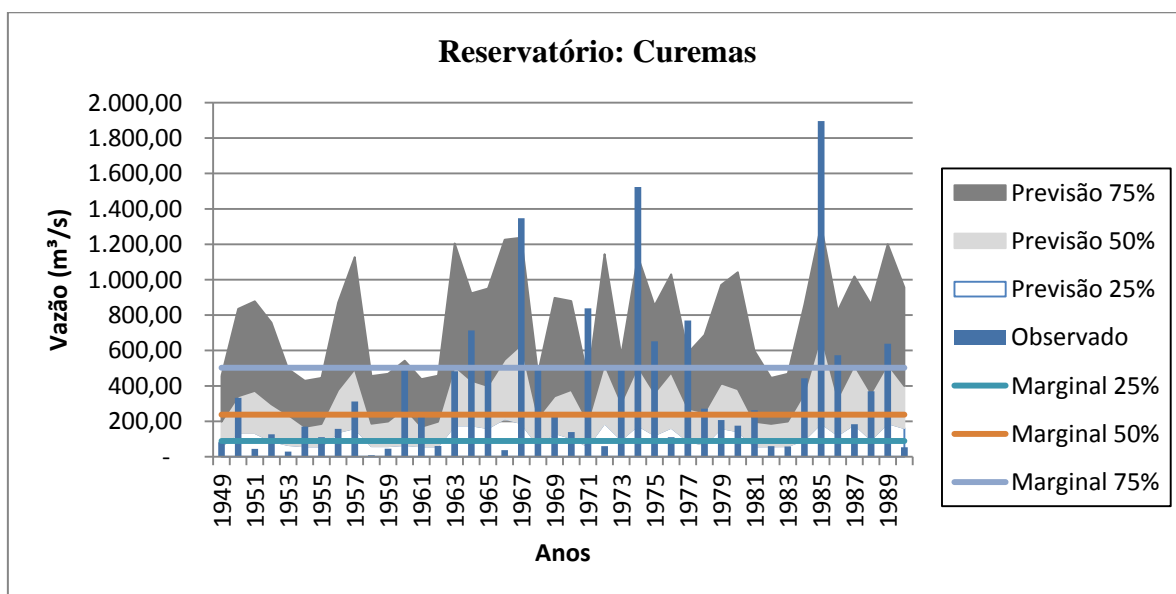


Figura 5.56 - Gráfico da previsão para o Reservatório Curemas.

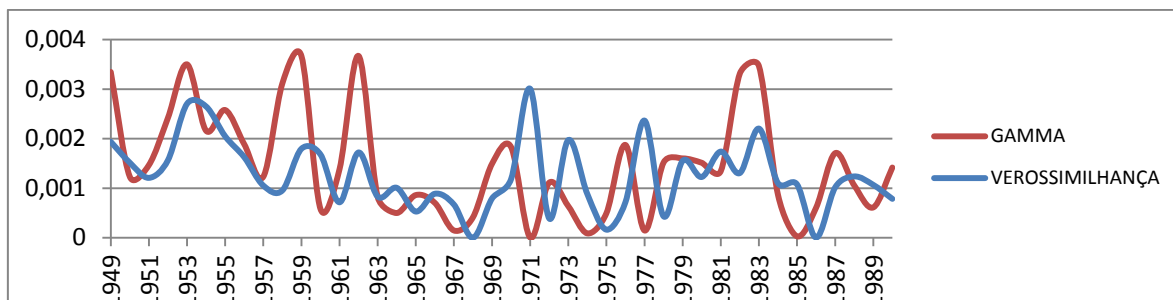


Figura 5.57 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Curemas.

Tabela 5.15 - Comparativo do desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão x Armando Ribeiro x Curemas.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,4846	1,0552
BANABUIU	0,6966	1,0362
CASTANHÃO	0,8620	1,0666
ARMANDO RIBEIRO	0,9903	1,0150
CUREMAS	0,6702	0,9568

A Tabela 5.15 aponta um comparativo entre o desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.16 apresenta os coeficientes oriundos da regressão *pool*, utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.16 - Coeficientes da regressão *pool*.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
-0,013	-0,008	0,1148	-0,3882	-0,08233	-0,151	0,253704	0,2092	0,181	-0,026	-0,172097

### c) Regressão Linear utilizando os demais preditores

Os resultados a seguir fundamentaram-se nos dados de 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos fundou-se nos quinze anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia foi desenvolvida usando a regressão linear. Para esta simulação foram utilizados os demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1.

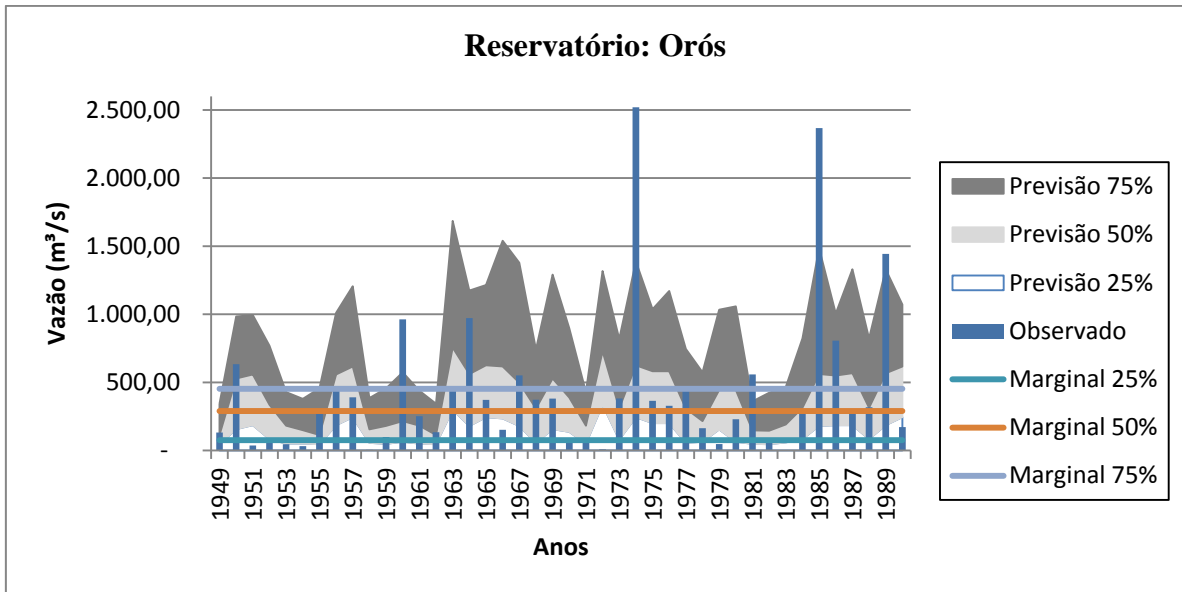


Figura 5.58 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

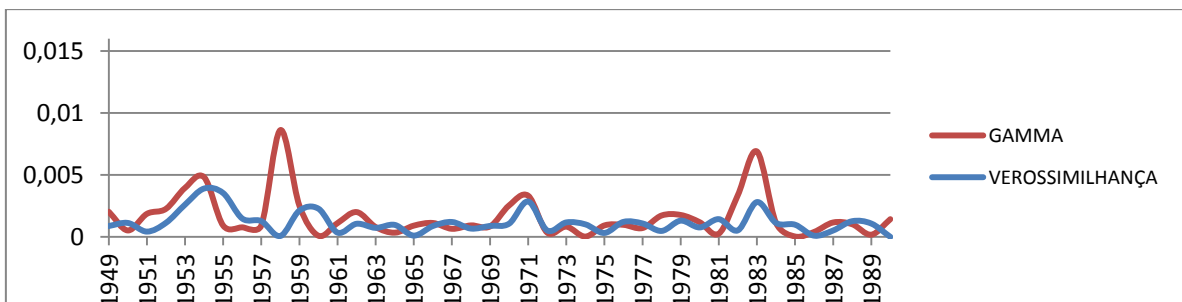


Figura 5.59 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

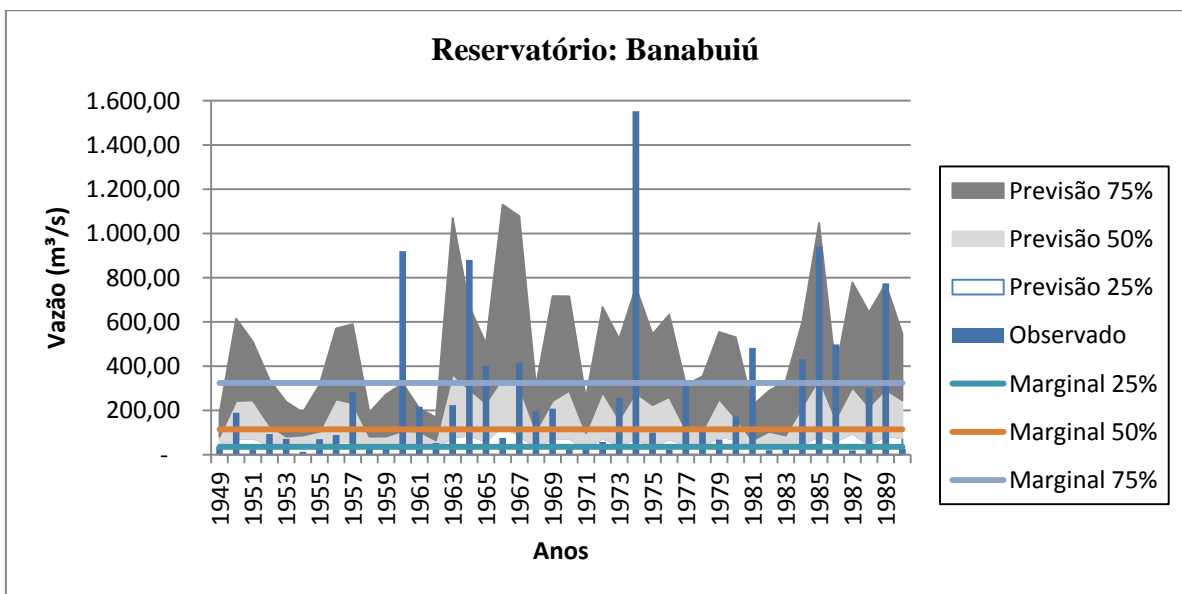


Figura 5.60 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.

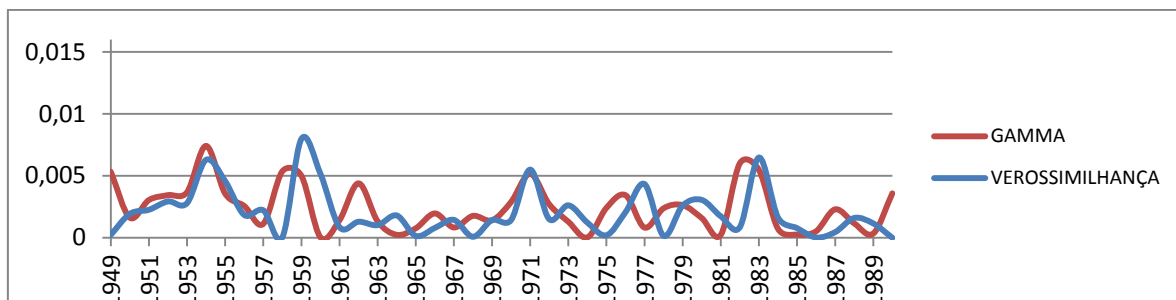


Figura 5.61 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

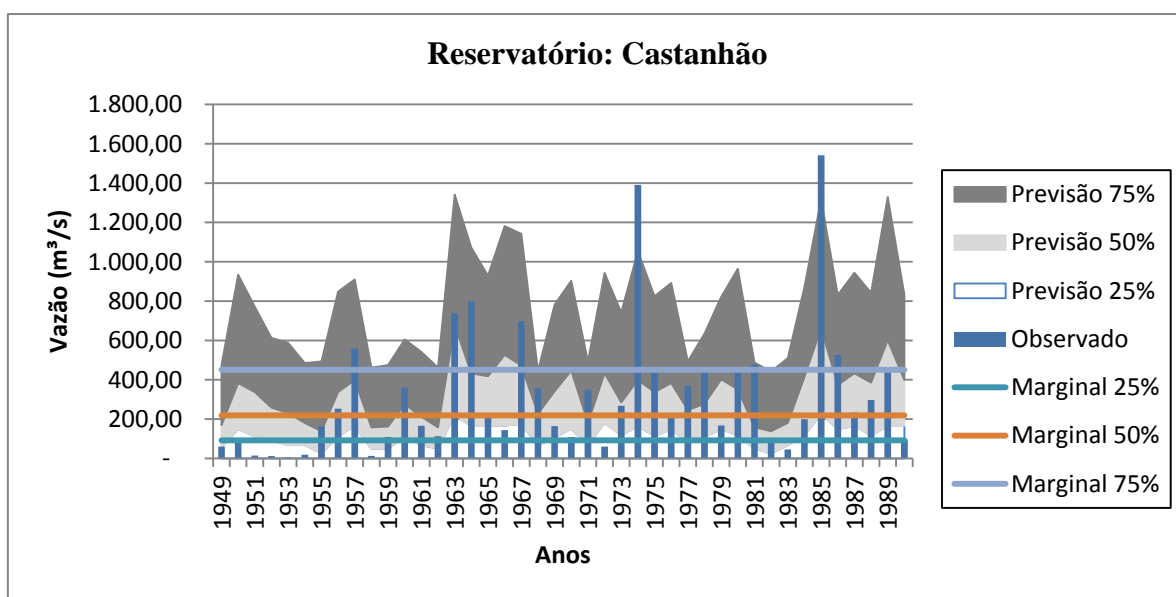


Figura 5.62 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

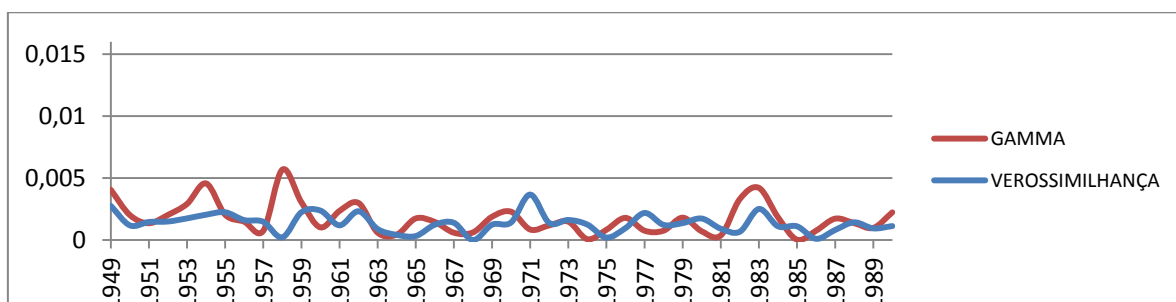


Figura 5.63 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

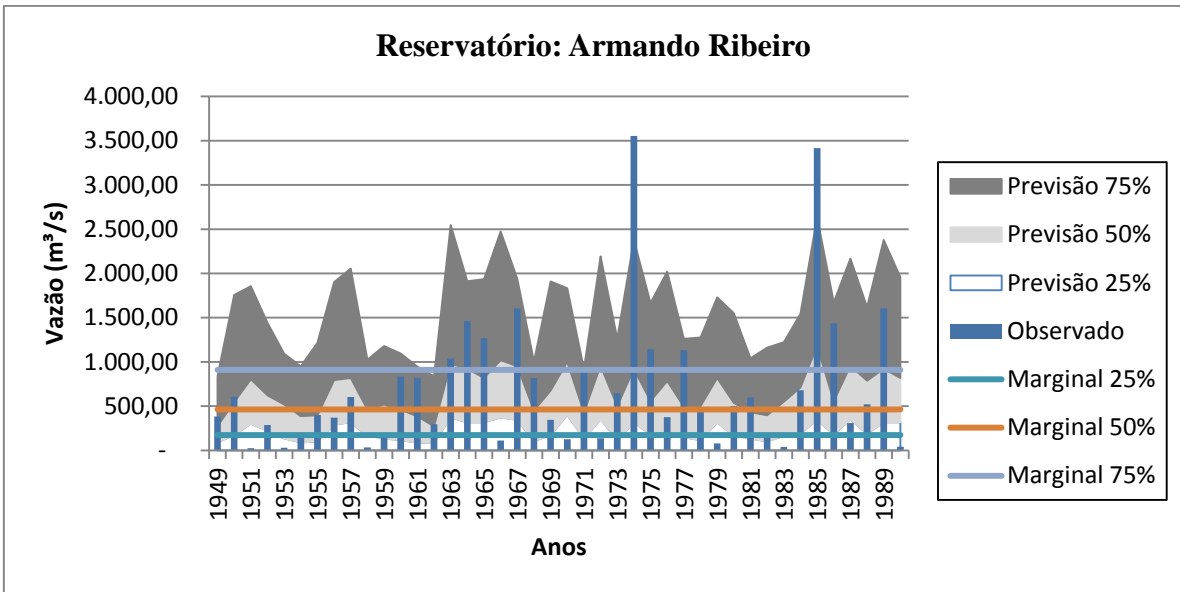


Figura 5.64 - Gráfico da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

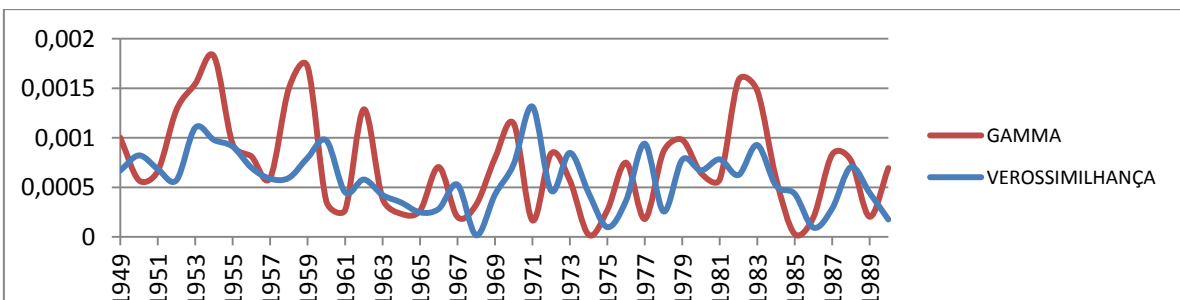


Figura 5.65 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

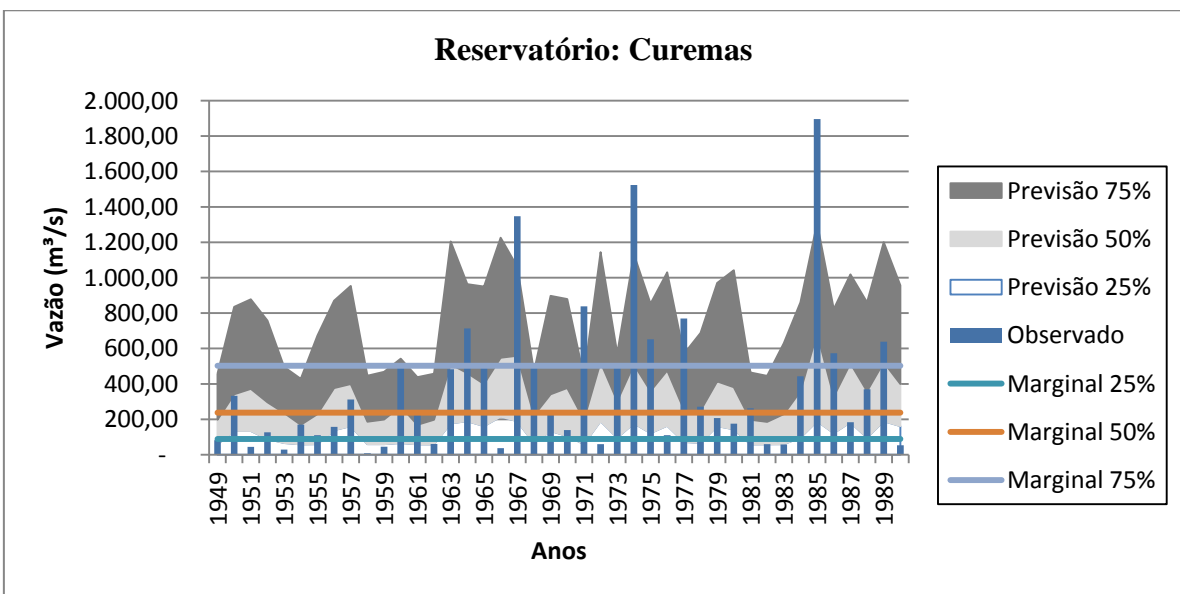


Figura 5.66 - Gráfico da previsão para o Reservatório Curemas.

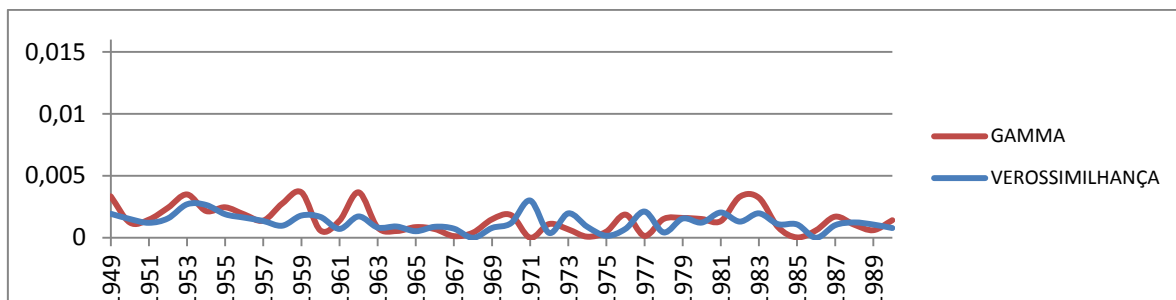


Figura 5.67 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Curemas.

Tabela 5.17 – Comparativo de desempenho entre Orós x Banabuiú x Castanhão x Armando Ribeiro x Curemas.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,4598	1,0548
BANABUIU	0,7103	1,0368
CASTANHÃO	0,8540	1,0737
ARMANDO RIBEIRO	0,9817	1,0153
CUREMAS	0,6722	0,9560

Na Tabela 5.17 faz-se um comparativo resumido do desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.18 aponta os coeficientes oriundos da regressão linear, utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.18 - Coeficientes da regressão linear.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
-0,0508	-0,0373	0,4779	-1,6629	- 0,3799	-0,6625	1,0449	0,9131	0,7840	-0,1199	- 0,7874

d) Regressão passo-a-passo (*Stepwise*) utilizando os demais preditores

Os resultados a seguir utilizaram dados de vazões e preditores para os anos de 1948 a 1993. A aplicação do método dos K-vizinhos usou os quinze anos mais próximos do ano previsto, e a metodologia baseou-se na regressão passo-a-passo (*stepwise*). Para esta simulação foram utilizados os demais preditores selecionados para o sistema, descritos na Tabela 5.1.

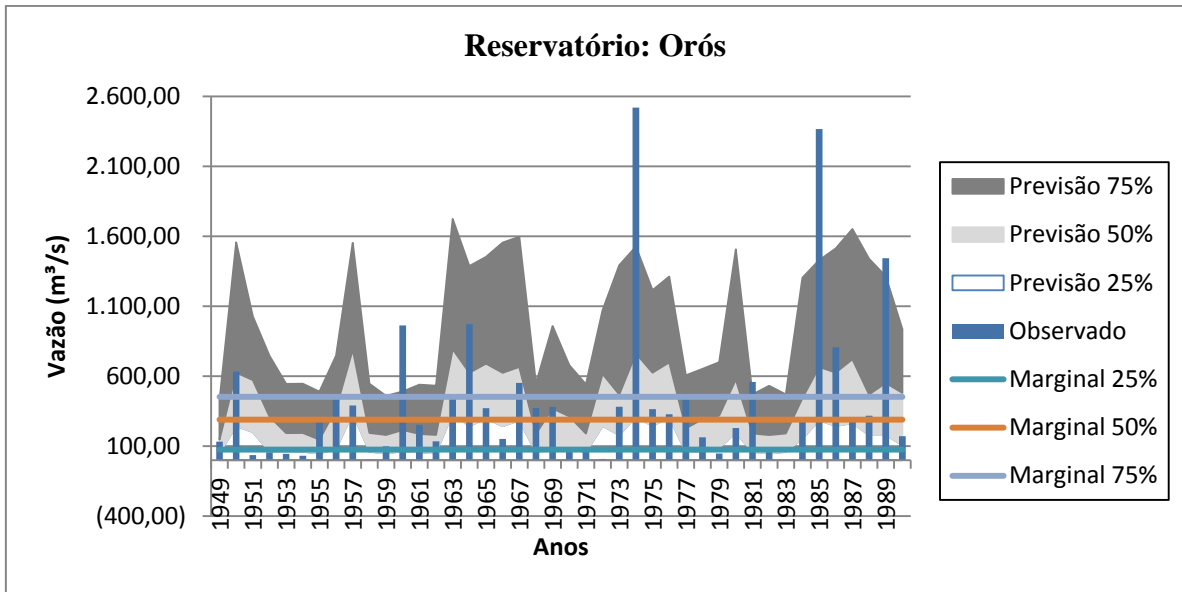


Figura 5.68 - Gráfico da previsão para o Reservatório Orós.

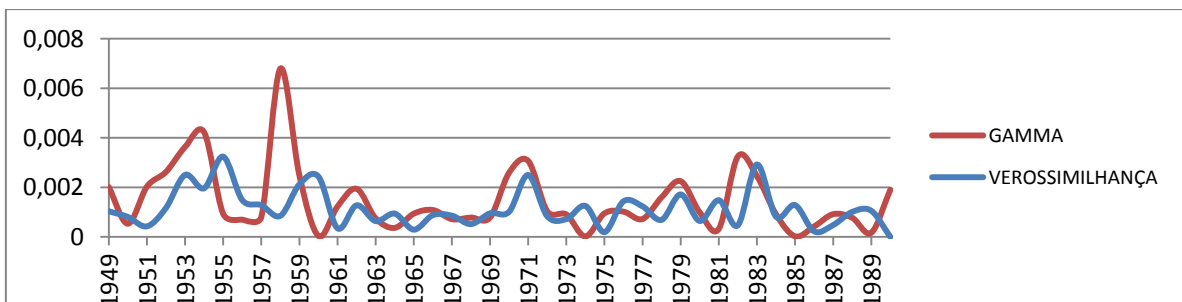


Figura 5.69 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Orós.

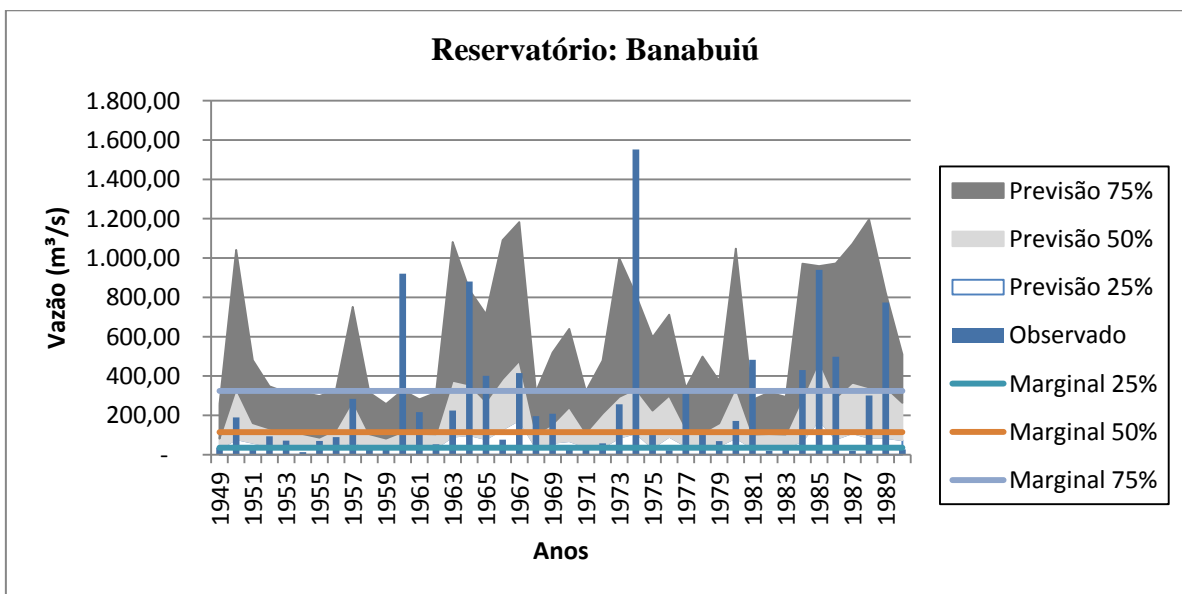


Figura 5.70 - Gráfico da previsão para o Reservatório Banabuiú.



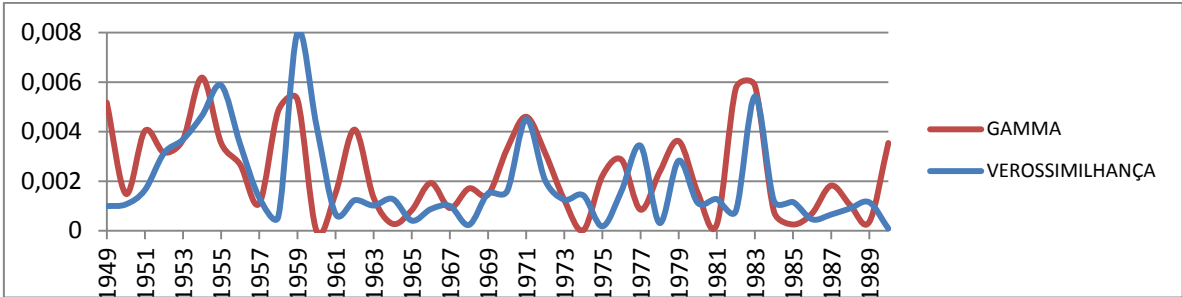


Figura 5.71 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Banabuiú.

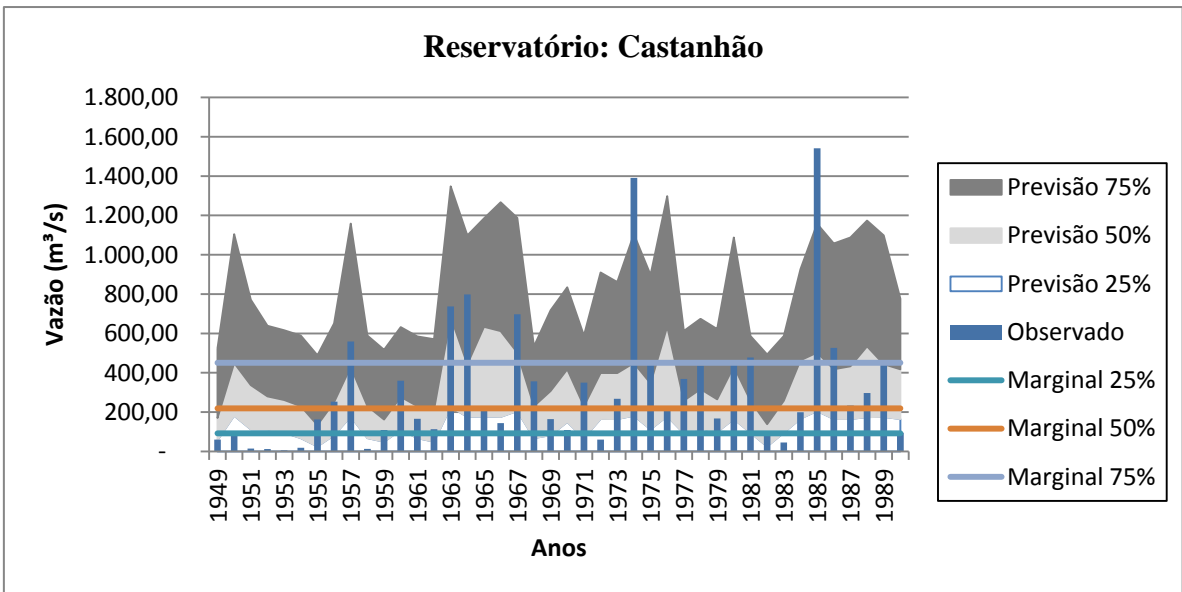


Figura 5.72 - Gráfico da previsão para o Reservatório Castanhão.

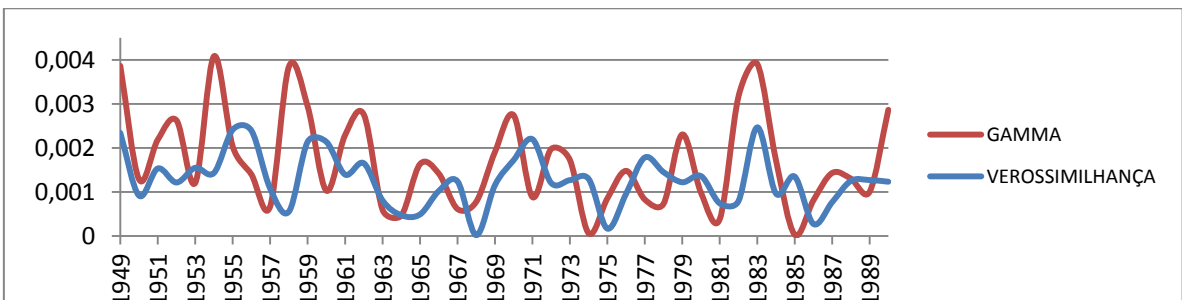


Figura 5.73 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Castanhão.

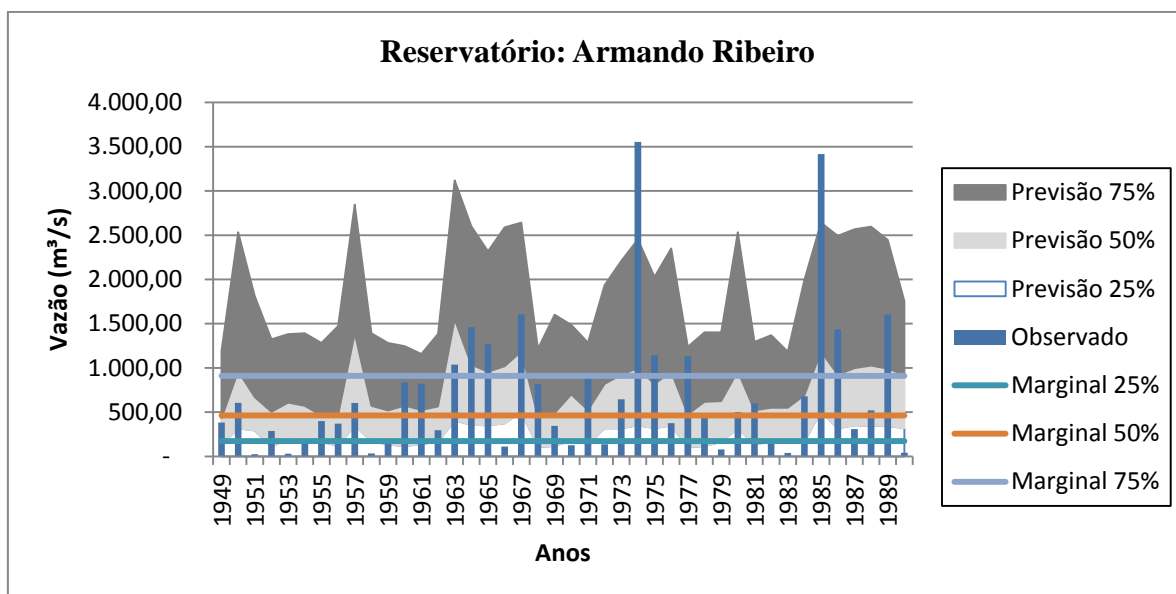


Figura 5.74 - Gráfico da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

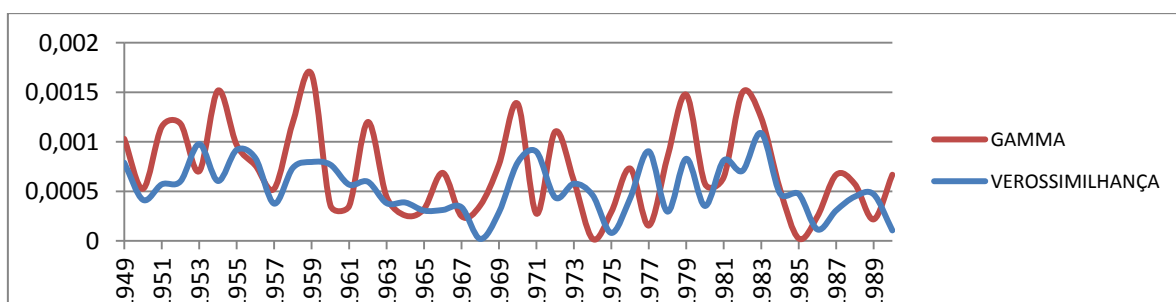


Figura 5.75 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Armando Ribeiro.

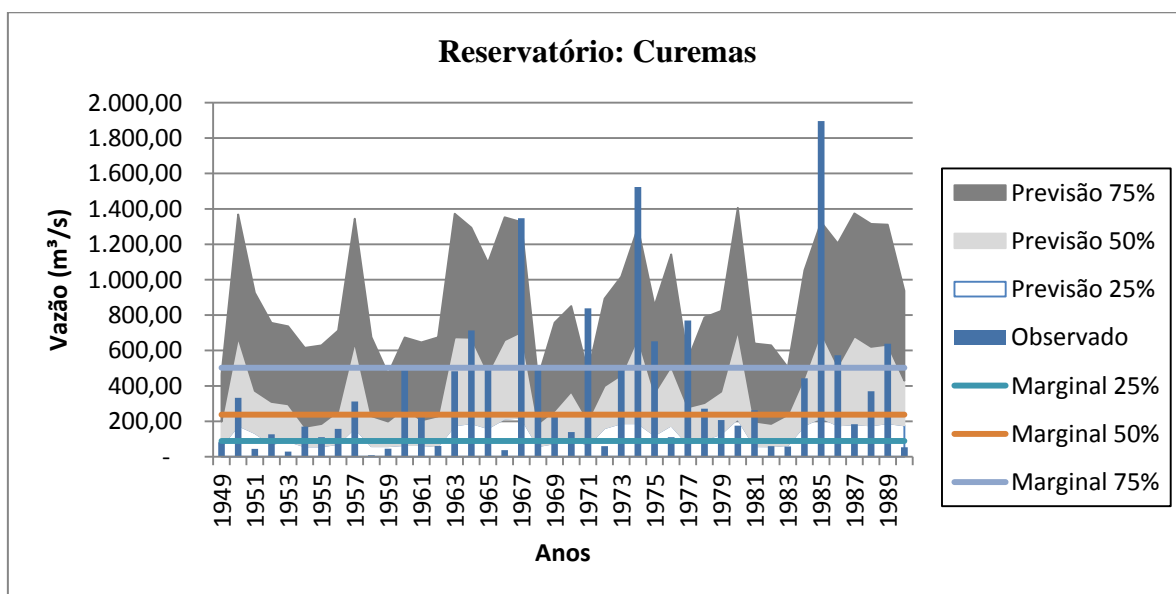


Figura 5.76 - Gráfico da previsão para o Reservatório Curemas.

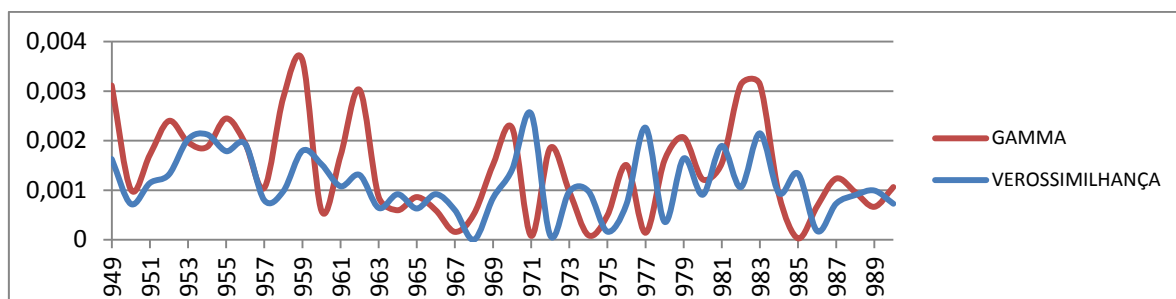


Figura 5.77 - Gráfico de desempenho da previsão para o Reservatório Curemas.

Tabela 5.19 - Comparativo desempenho Orós x Banabuiú x Castanhão x Armando Ribeiro x Curemas.

RESERVATÓRIO	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9333	0,9968
BANABUIU	0,8742	1,0014
CASTANHÃO	0,9755	1,0769
ARMANDO RIBEIRO	0,9114	1,0258
CUREMAS	0,6158	1,0168

A Tabela 5.19 apresenta um comparativo resumido do desempenho dos três reservatórios descritos acima. A Tabela 5.18 indica os coeficientes oriundos da regressão *stepwise* utilizados para o cálculo dos anos vizinhos.

Tabela 5.20 - Coeficientes da regressão *stepwise*.

Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	TSM1	TSM2	TSM3	TSMnino34
-	-	-	-2,0631	-	-	-	1,3025	-	-	-

Tabela 5.21 - Comparativo desempenho Orós x Banabuiú x Castanhão x Armando Ribeiro x Curemas com os diferentes tipos de regressão.

RESERVATÓRIO	R. Pool 2 Pred		R. Pool(todos os preditores)		R. Linear		R. Stepwise	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9106	1,0142	0,4846	1,0552	0,4598	1,0548	0,9333	0,9968
BANABUIÚ	0,9005	0,9861	0,6966	1,0362	0,7103	1,0368	0,8742	1,0014
CASTANHÃO	0,9962	1,0087	0,8620	1,0666	0,8540	1,0737	0,9755	1,0769
ARMANDO RIBEIRO	1,0356	1,0227	0,9903	1,0150	0,9817	1,0153	0,9114	1,0258
CUREMAS	1,0849	1,0283	0,6702	0,9568	0,6722	0,9560	0,6158	1,0168

## 5.1.5 Análise do efeito de escala

Após a aplicação da metodologia, torna-se necessário realizar uma análise sucinta dos resultados. O comportamento do reservatório Orós nos diferentes tipos de previsão (individualizado, com o sistema Jaguaribe-Metropolitano do Ceará e com os reservatórios do Nordeste brasileiro) é apresentado na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 - Avaliação de desempenho do reservatório Orós com as diferentes metodologias.

RESERVATÓRIO	R. Pool (2 Preditores)		R. Pool (Todos os Preditores)		R. Linear (Todos os Preditores)		R. Stepwise (Todos os Preditores)	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
Individualizado	0,5137	1,1162	XXX	XXX	1,1038	1,2482	0,594	1,2174
Jaguaribe/Metropolitano	0,9229	1,1147	1,0392	1,232	1,0518	1,2391	0,9437	1,2533
NEB	0,9106	1,0142	0,4846	1,0552	0,4598	1,0548	0,9333	0,9968

Ao realizar o estudo individual do reservatório Orós, obteve-se um ganho no desempenho quando aumentou-se a quantidade de preditores e reduziu-se a série histórica observada juntamente com o número de anos mais próximos. Ou seja, quando foi aumentada a escala de estudo do problema, estudando o Orós juntamente com o sistema Jaguaribe-Metropolitano, ocorreu um ganho de desempenho.

Tabela 5.23 - Avaliação de desempenho Sistema Jaguaribe Metropolitano x Nordeste Brasileiro.

Sistema Jaguaribe-Metropolitano								
RESERVATÓRIO	R. Pool (2 Preditores)		R. Pool (Todos os Preditores)		R. Linear (Todos os Preditores)		R. Stepwise (Todos os Preditores)	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9229	1,1147	1,0392	1,232	1,0518	1,2391	0,9437	1,2533
BANABUIU	0,9197	1,0603	0,7703	1,1534	0,7704	1,1532	0,8583	1,1308
CASTANHÃO	0,9841	1,0574	0,9727	1,2365	0,9886	1,2415	0,9821	1,263
Nordeste Brasileiro								
RESERVATÓRIO	R. Pool 2 Pred		R. Pool (Todos os Preditores)		R. Linear (Todos os Preditores)		R. Stepwise (Todos os Preditores)	
	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA	KERNEL	GAMMA
ORÓS	0,9106	1,0142	0,4846	1,0552	0,4598	1,0548	0,9333	0,9968
BANABUIU	0,9005	0,9861	0,6966	1,0362	0,7103	1,0368	0,8742	1,0014
CASTANHÃO	0,9962	1,0087	0,862	1,0666	0,854	1,0737	0,9755	1,0769
ARMANDO RIBEIRO	1,0356	1,0227	0,9903	1,015	0,9817	1,0153	0,9114	1,0258
CUREMAS	1,0849	1,0283	0,6702	0,9568	0,6722	0,956	0,6158	1,0168

Quando feita a mesma análise para os outros dois principais reservatórios do Ceará, Banabuiú e Castanhão, percebeu-se que houve um melhor desempenho da previsão destes reservatórios quando eles foram estudados juntos com o Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

O método de avaliação de máxima verossimilhança utilizando a função gama obteve melhores resultados do que o que se valeu da função kernel. Isso se deve ao fato de a função gama se adaptar melhor quando há um número menor de dados.



A Tabela 5.26 apresenta todas as demandas do Sistema Jaguaribe-Metropolitano em m<sup>3</sup>/s, especificando o tipo de demanda e a localização. O programa AcquaNET exige como parâmetro de entrada uma ordem de prioridade de abastecimento das demandas e dos reservatórios. A Tabela 5.25 lista todas as demandas e reservatórios com suas respectivas prioridades (quanto menor o valor, maior a prioridade).

O programa AcquaNET realizou a simulação do sistema para um horizonte de 24 meses. Com os resultados dessa simulação e da metodologia dos K-vizinhos, foi possível aplicar a mesma metodologia para a previsão do comportamento do reservatório durante esses 24 meses.

Neste item, serão abordados apenas alguns dos resultados para os principais reservatórios: Orós, Banabuiú e Castanhão. Os demais gráficos com resultados estarão disponíveis no apêndice. Para a simulação, utilizaram-se os níveis iniciais dos reservatórios com data de julho/2009 e janeiro/2010, que estão apresentados na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Volumes dos Reservatórios em hm<sup>3</sup>.

<b>Reservatório</b>	<b>jul/09</b>	<b>jan/10</b>
Acarape do Meio	31,50	27,81
Aracoiaba	170,70	160,76
Banabuiú	1.477,85	1.286,70
Castanhão	4.451,00	4.451,00
Gavião	32,22	29,93
Orós	1.940,00	1.692,78
Pacajus	240,00	217,68
Pacoti + Riachão	420,00	284,41
Sítios Novos + Cauhipe	137,93	116,14

Fonte: COGERH, 2010.

Foram selecionados seis anos de resultados para realizar análise, sendo três anos com vazões mais elevadas (1984 a 1986) e três com vazões menores (1990 a 1992). Os resultados servem como parâmetros para nortear os gestores nas decisões referentes à operação e alocação de água dos reservatórios do Estado do Ceará.

Tabela 5.25 - Prioridade das demandas e dos reservatórios.

<b>Tipo de Demanda</b>	<b>Demanda</b>	<b>Legenda</b>	<b>Prioridade</b>
Abastecimento Humano	Banabuiú	AH_Banabuiu	5
Abastecimento Humano	Castanhão	AH_Castanhao	5
Abastecimento Humano	Fortaleza	A4_25-FORTAL	5
Abastecimento Humano	Icó	AH_Ico	5
Abastecimento Humano	Jaguaribe	AH_Jaguaribe	5
Abastecimento Humano	Morada Nova + Ibicuitinga	AH_MN_Ibicuitinga	5
Abastecimento Humano	Orós	AH_Oros	5
Industrial	Pecém	A4_26-Pecem	5
Abastecimento Humano	Pedregulho e Guassussê	AH_PedrGuassusse	5
Abastecimento Humano	Acarape do Meio	B4_38-I-ACM	10
Abastecimento Humano	Aracoiaba	D10-41	10
Abastecimento Humano	Pacajus	D9-40	10
Abastecimento Humano	Pacoti - Riachão	D8-39	10
Vazante	Banabuiú	AP_Vazante	30
Demanda Difusa	Banabuiú	DDif_1semestre(3)	30
Evaporação	Barragem Curral Velho	Evap_BarragemCurralV	30
Betânia	Betânia	Betania	30
Demanda Difusa	Castanhão	DDif_1semestre(2)	30
Agropecuária	Jaguaribe	AP_Jaguaribe	30
Agropecuária	Lima Campos	AP_LimaCampos	30
Agropecuária	Morada Nova	PI_MN	30
Agropecuária	Orós	AP_Oros	30
Demanda Difusa	Orós	DDif_1semestre	30
Demanda Difusa	Perda	DDifPerda	30
Agropecuária	Privado Castanhão	AP_PrivadoCast	30
Agropecuária	PROMOVALE	PROMOVALE	30
Agropecuária	Público Castanhão	AP_PublicoCast	30
Drenagem	Riacho Seco	D_RS	30
Agropecuária	Russas	TabRussas	30
Turística	Turística	D_Turistica	30
Transferência	Açude Feiticeiro	TransFeiticeiro	45



Tabela 5.26 - Demandas em m<sup>3</sup>/s do Sistema Jaguaribe Metropolitano (data de atualização: jul/2009).

Tipo de Demanda	Demanda	Legenda	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Abastecimento Humano	Banabuiú	AH_Banabuiú	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Abastecimento Humano	Castanhão	AH_Castanhão	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
Abastecimento Humano	Icó	AH_Ico	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Abastecimento Humano	Jaguaribe	AH_Jaguaribe	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052
Abastecimento Humano	Morada Nova + Ibicuitinga	AH_MN_Ibucuitinga	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
Abastecimento Humano	Orós	AH_Oros	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Abastecimento Humano	Pedregulho e Guassussê	AH_PedrGuassusse	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Agropecuária	Jaguaribe	AP_Jaguaribe	2,485	1,285	0,985	0,585	0,585	0,585	0,585	0,585	2,185	3,985	2,985	2,785
Agropecuária	Lima Campos	AP_LimaCampos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,800	2,179	4,159	4,741	4,997	3,513
Agropecuária	Orós	AP_Oros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,775	0,775	0,775	0,775	0,775	0,775
Agropecuária	Privado Castanhão	AP_PrivadoCast	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,044	12,044	12,044	12,044	12,044	12,044
Agropecuária	Público Castanhão	AP_PublicoCast	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,902	3,915	3,913	3,908	3,878	3,862
Vazante	Banabuiú	AP_Vazante	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Betânia	Betânia	Betania	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Drenagem	Riacho Seco	D_RS	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Turística	Turística	D_Turistica	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Demanda Difusa	Orós	DDif_1semestre(1)	2,167	0,985	0,753	0,243	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Demanda Difusa	Castanhão	DDif_1semestre(2)	10,215	9,875	5,605	4,195	5,835	6,435	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Demanda Difusa	Banabuiú	DDif_1semestre(3)	4,439	3,869	3,329	3,029	2,569	2,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Demanda Difusa	Perda	DDifPerda	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
Evaporação	Barragem Curral Velho	Evap_BarragemCurralV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289
Agropecuária	Morada Nova	PL_MN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,582	3,196	3,175	2,472	2,472	0,925
Agropecuária	PROMOVALE	PROMOVALE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
Agropecuária	Russas	TabRussas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,372	0,475	0,597	0,663	0,665	0,607
Transferência	Açute e Feiticeiro	TransFeiticeiro	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700

Fonte: COGERH, 2009.

Os itens seguintes “a” e “b” apresentam a evolução dos reservatórios nos anos seleccionados, com volumes iniciais dos reservatórios iguais aos detalhados na Tabela 5.24.

a) Níveis Julho/2009

- Simulação utilizando regressão *pool*

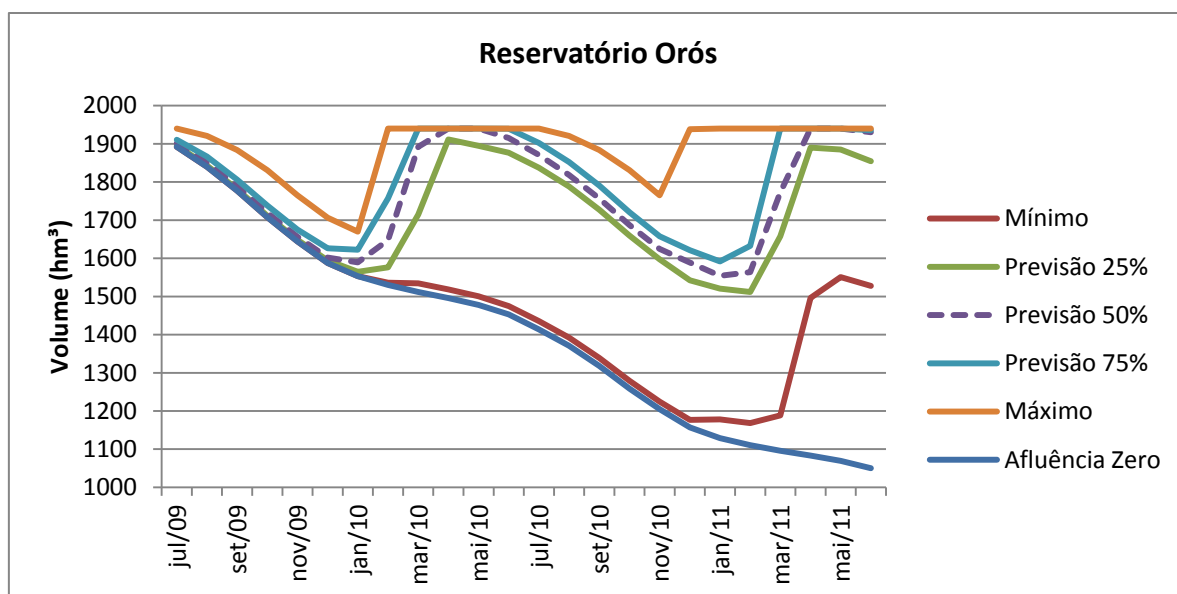


Figura 5.79 - Evolução do reservatório Orós com horizonte de previsão de 24 meses para o ano de 1984.

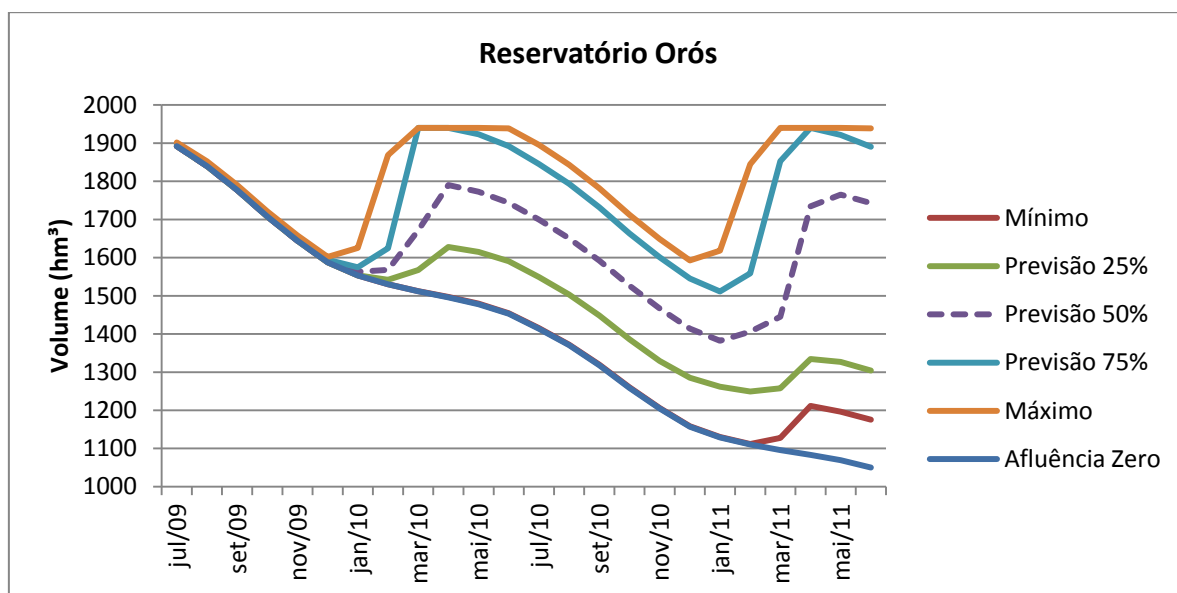


Figura 5.80 - Evolução do reservatório Orós com horizonte de previsão de 24 meses para o ano de 1990.

- Comparativo das curvas de permanência para o reservatório Orós para os diferentes modelos de previsão de vazão

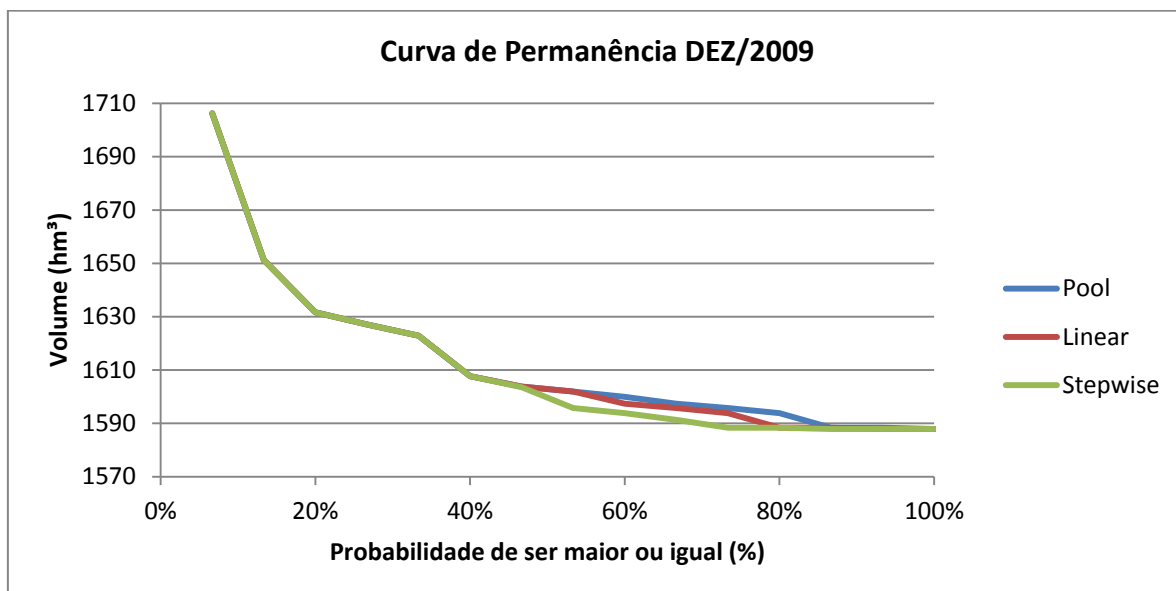


Figura 5.81 - Comparativo das curvas de permanência do mês de DEZ/Ano1 para o reservatório Orós do ano de 1984.

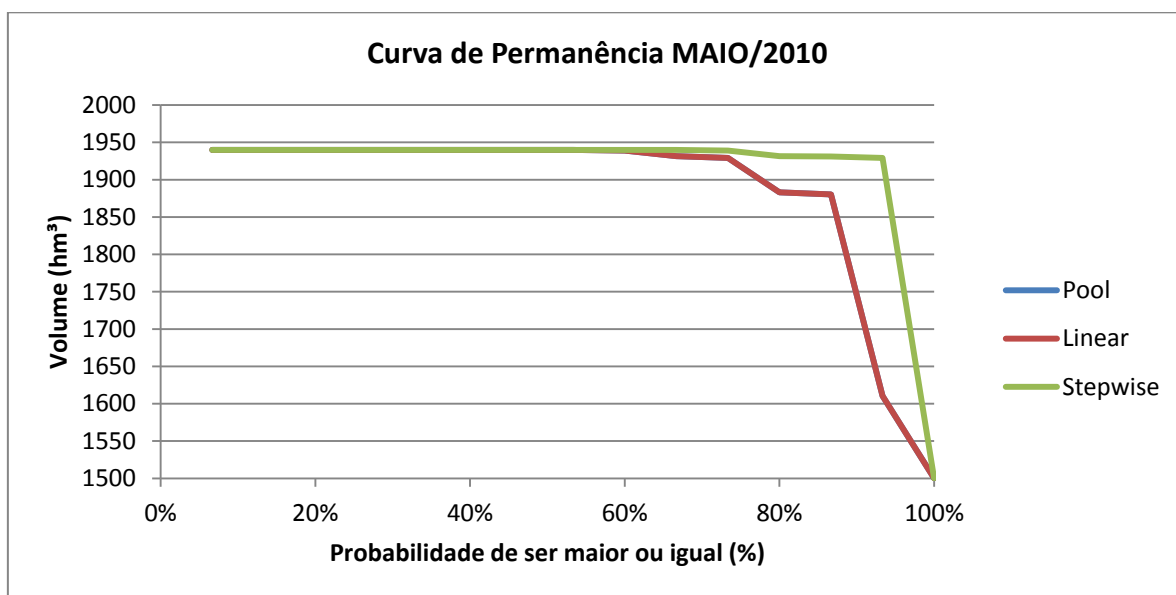


Figura 5.82 - Comparativo das curvas de permanência do mês de Maio/Ano1 para o reservatório Orós do ano de 1984.

b) Níveis Janeiro/2010

- Simulação utilizando regressão *pool*

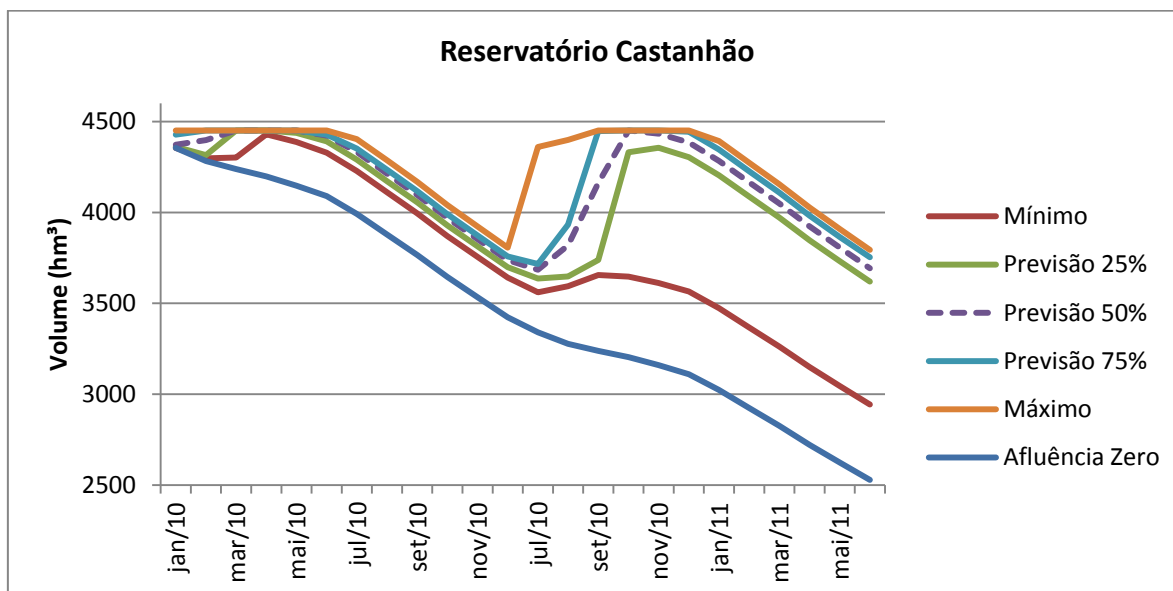


Figura 5.83 - Evolução do reservatório Castanhão com horizonte de previsão de 24 meses para o ano de 1984.

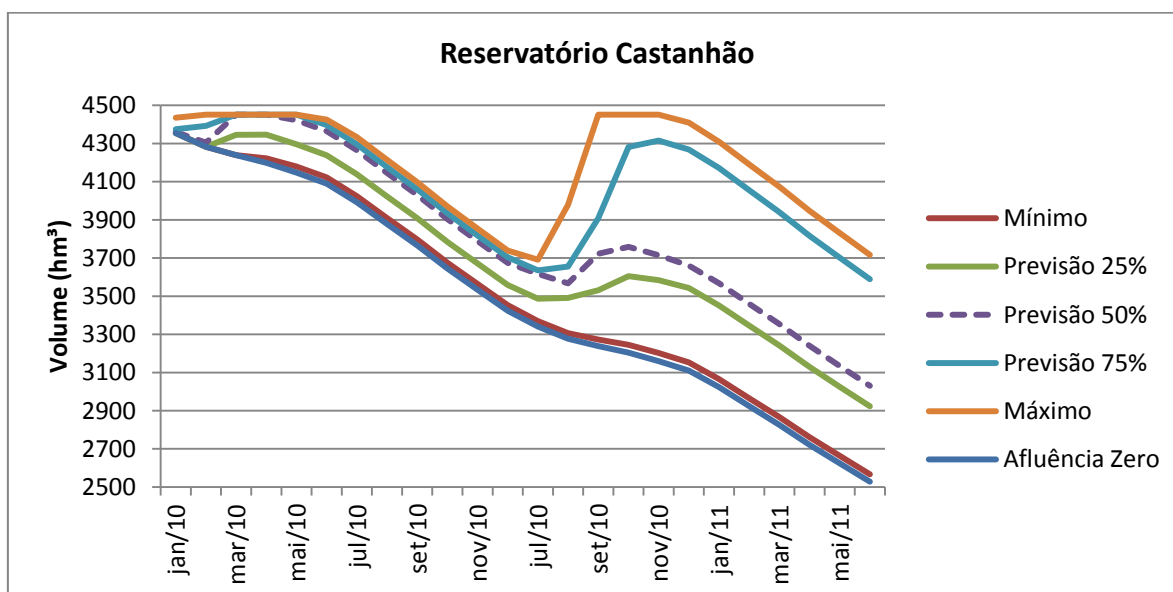


Figura 5.84 - Evolução do reservatório Castanhão com horizonte de previsão de 24 meses para o ano de 1990.

- Comparativo das curvas de permanência para o reservatório Castanhão para os diferentes modelos de previsão de vazão

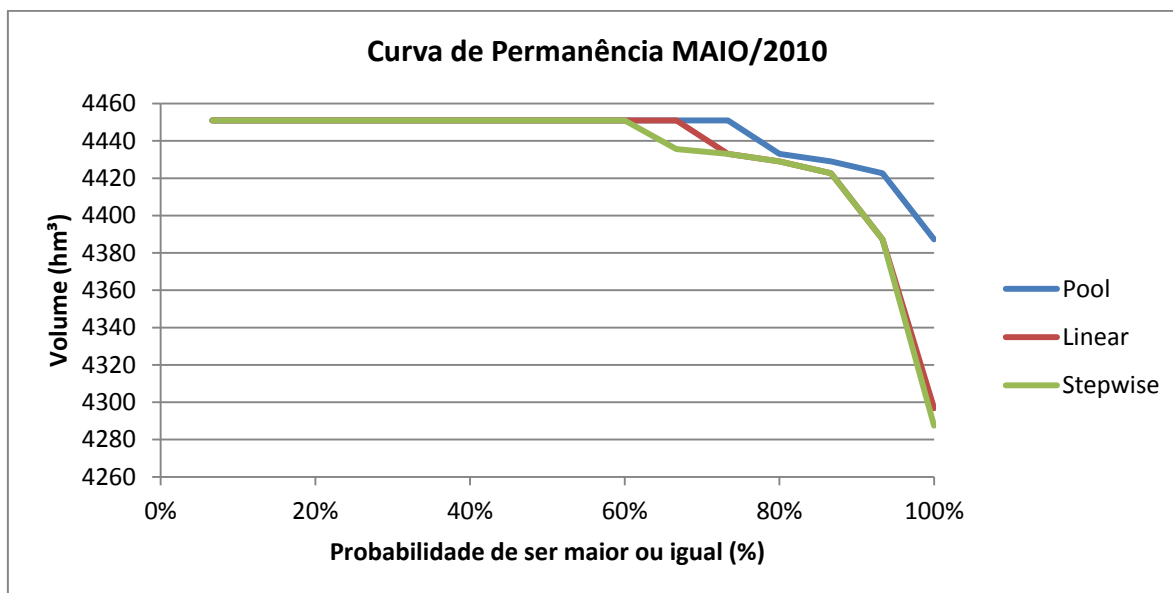


Figura 5.85 - Comparativo das curvas de permanência do mês de MAIO/Ano1 para o reservatório Castanhão do ano de 1984.

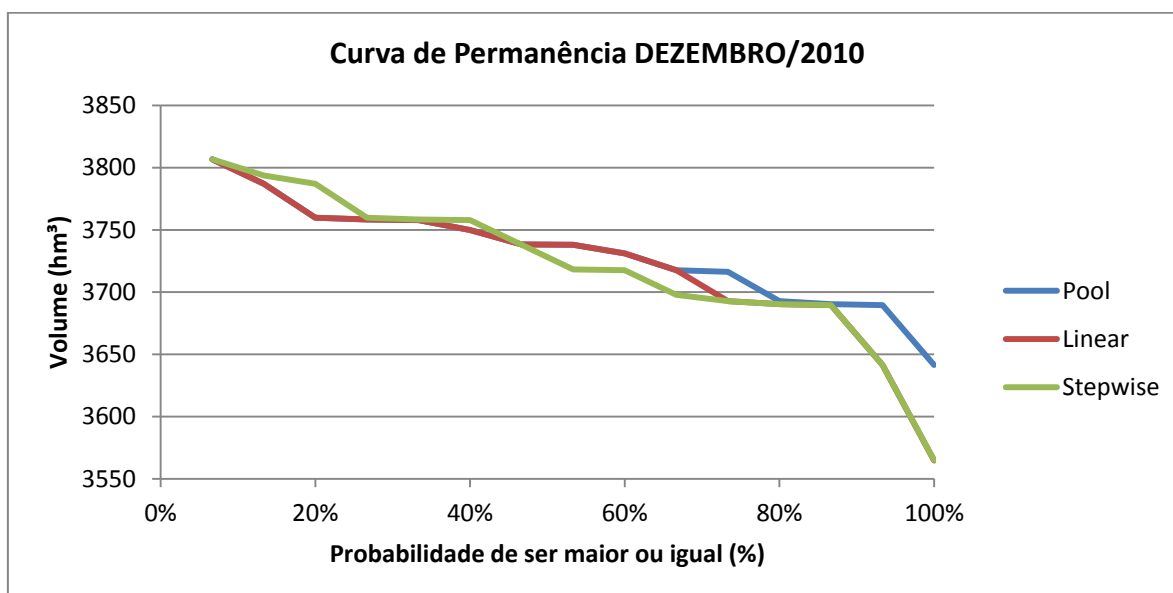


Figura 5.86 - Comparativo das curvas de permanência do mês de DEZEMBRO/Ano1 para o reservatório Castanhão do ano de 1984.

Compreende-se claramente, por meio dos gráficos, que é no semestre de janeiro a junho que ocorre a recarga dos reservatórios, e no segundo semestre, de julho a dezembro, ocorre o esvaziamento dos reservatórios. Isso se deve ao fato de as chuvas no Ceará estarem

concentradas no primeiro semestre. Os gráficos apontam que o método de alocação atual considerando vazão afluente zero, durante 24 meses consecutivos, é pessimista em relação ao método utilizando a informação climática.

O modelo, independente do tipo de regressão utilizada, conseguiu captar bem o sinal das vazões em relação à umidade, pois nos anos mais úmidos a previsão para o volume do reservatório se concentra na parte superior do gráfico. A Figura 5.79 e a Figura 5.80 demonstram bem a observação anterior.

Uma diferença bastante perceptível na comparação das diferentes regressões utilizadas, como apresentado na Figura 5.81 a Figura 5.86, é que sempre a regressão passo a passo (*stepwise*) resulta em uma previsão mais otimista, ou seja, com volumes sempre superiores quando comparada às previsões com regressão linear e regressão *pool*. Os volumes resultantes das simulações com regressão linear e regressão *pool* são semelhantes na maioria das simulações.

### 5.3 Determinação do volume de espera

A presente seção apresenta os resultados da utilização da previsão sazonal, valendo-se da informação climática para o auxílio no controle de cheias em reservatórios. Os resultados expostos a seguir utilizaram a série de anos mais próximos (N-anos vizinhos) para realização do estudo de cheias, almejando dar ao estudo mais qualidade e confiabilidade. Atualmente, o estudo de cheias é realizado com base em toda a série histórica observada, gerando sempre uma visão mais pessimista de resultados.

A determinação do volume de espera utilizou dois métodos: Método da Curva Volume-Duração e Método das Trajetórias Críticas. A seguir, podem ser vistos os resultados para os reservatórios Banabuiú e Castanhão, para retiradas de 200 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s, 400 m<sup>3</sup>/s e 500 m<sup>3</sup>/s. A simulação foi realizada para três anos com baixas vazões, de 1984 a 1986, e outros três anos com vazões elevadas, de 1990 a 1992. A base de dados utilizada possui anos de 1949 a 1993 e se baseou nos quinze anos mais próximos.

O método das trajetórias críticas apresenta o volume de espera variando mês a mês, enquanto o método da curva volume-duração tem como resultado apenas o maior volume de espera calculado. Para cada retirada de água (200 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s, 400 m<sup>3</sup>/s e 500 m<sup>3</sup>/s) existe uma curva de volume de espera, nível meta, calculado.

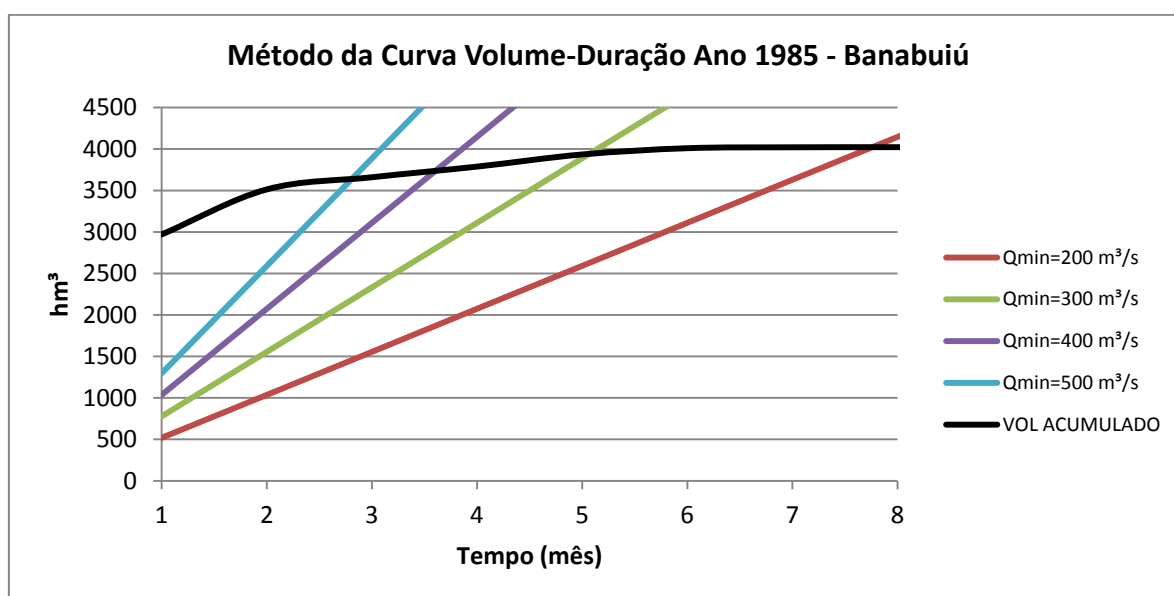


Figura 5.87 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Banabuiú, utilizando regressão pool.

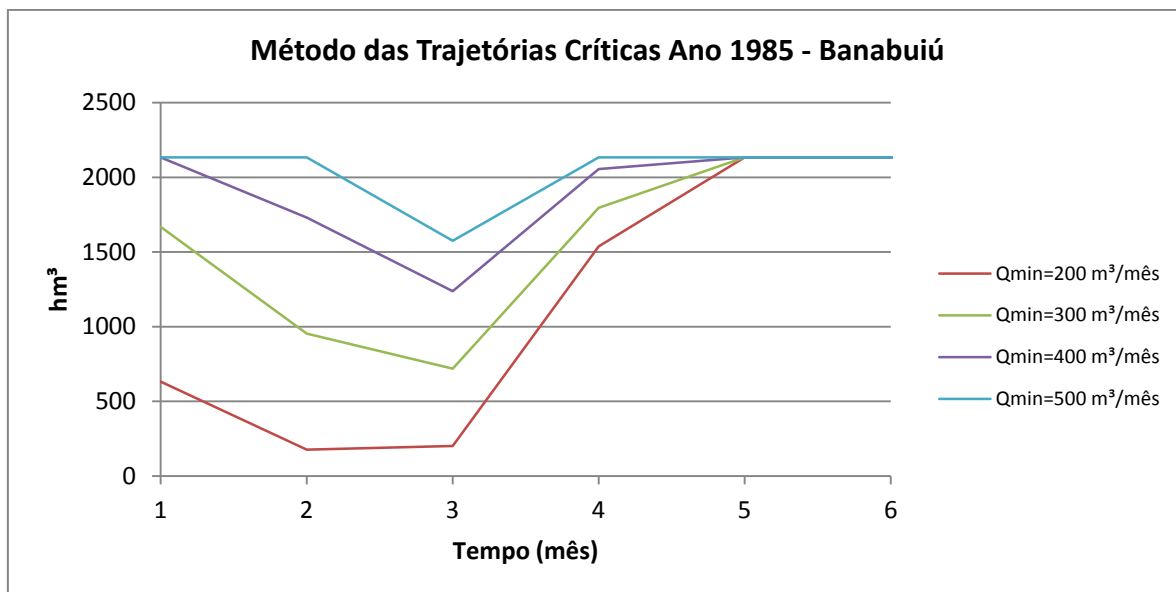


Figura 5.88 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Banabuiú, utilizando regressão pool.

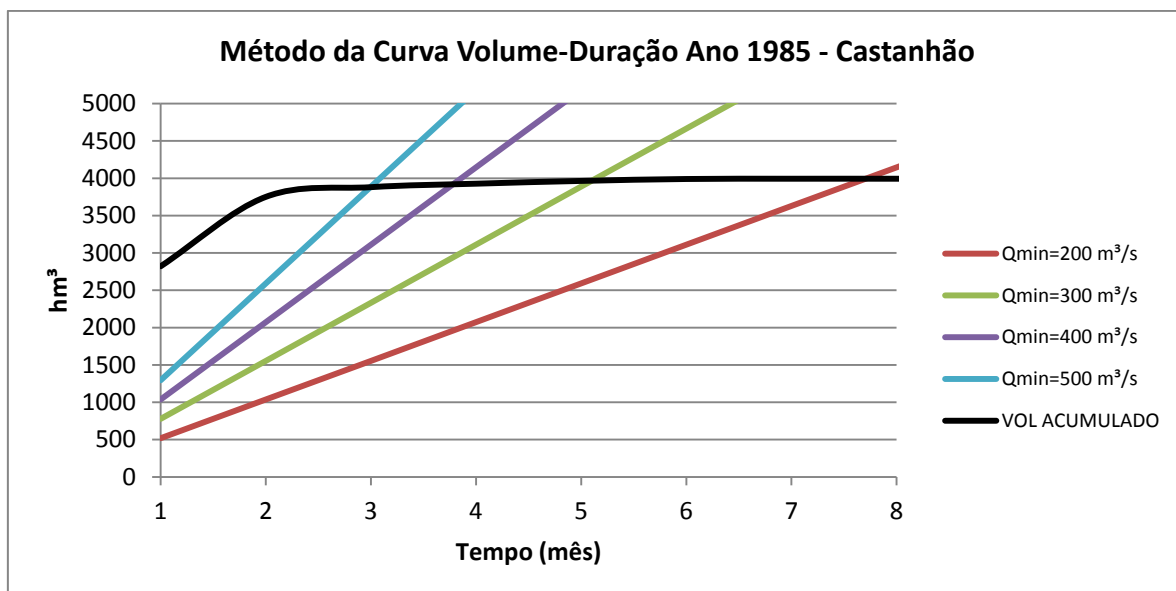


Figura 5.89 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Castanhão, utilizando regressão pool.



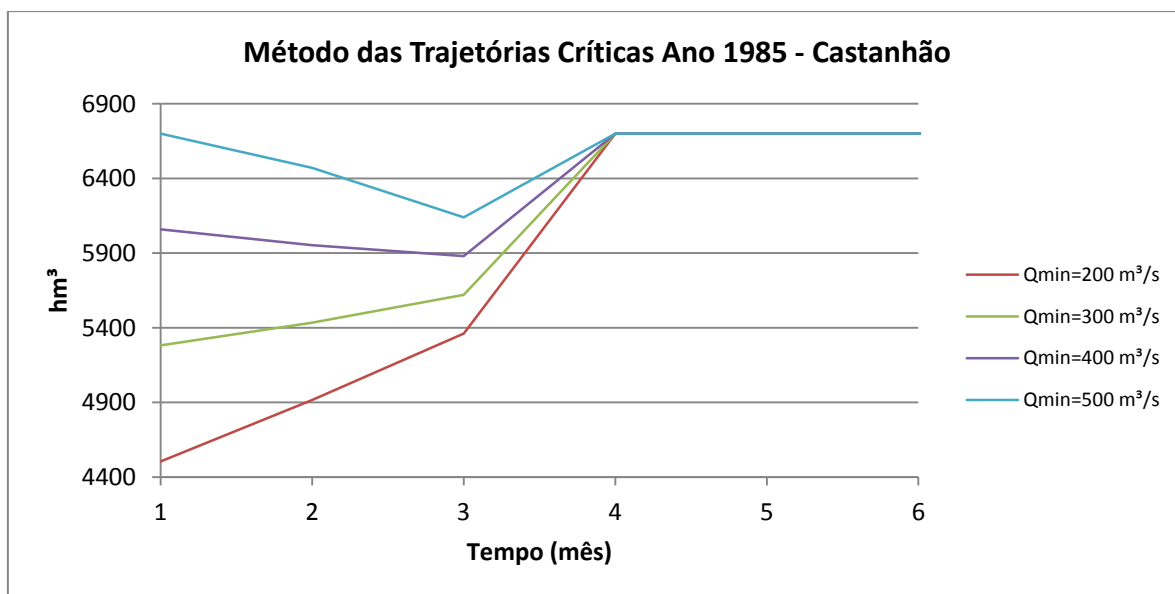


Figura 5.90 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Castanhão, utilizando regressão pool.

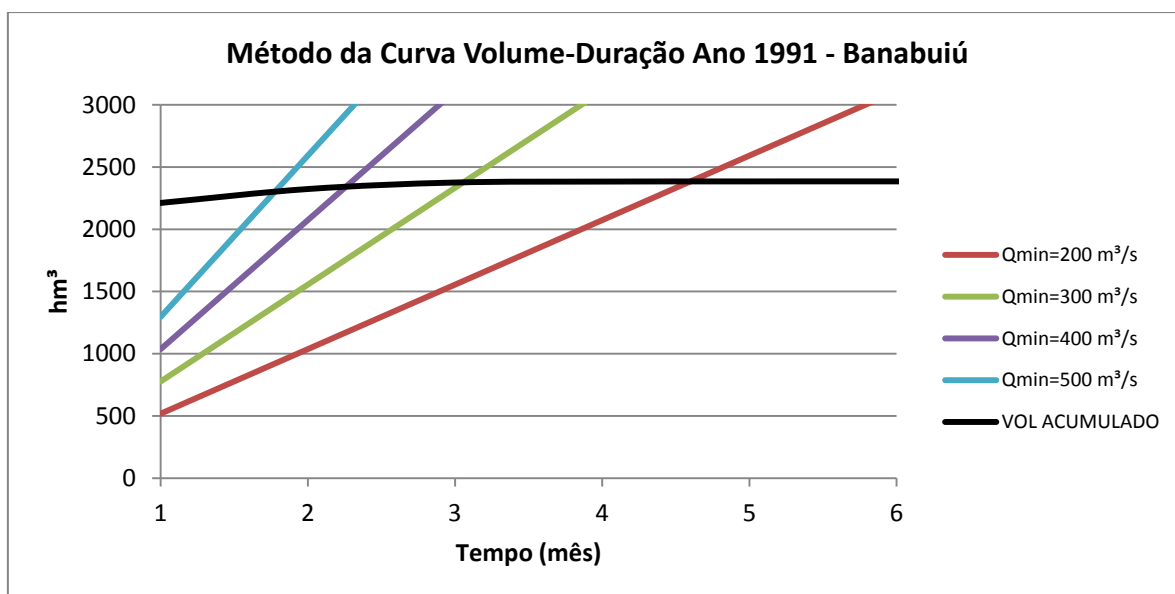


Figura 5.91 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Banabuiú, utilizando regressão pool.

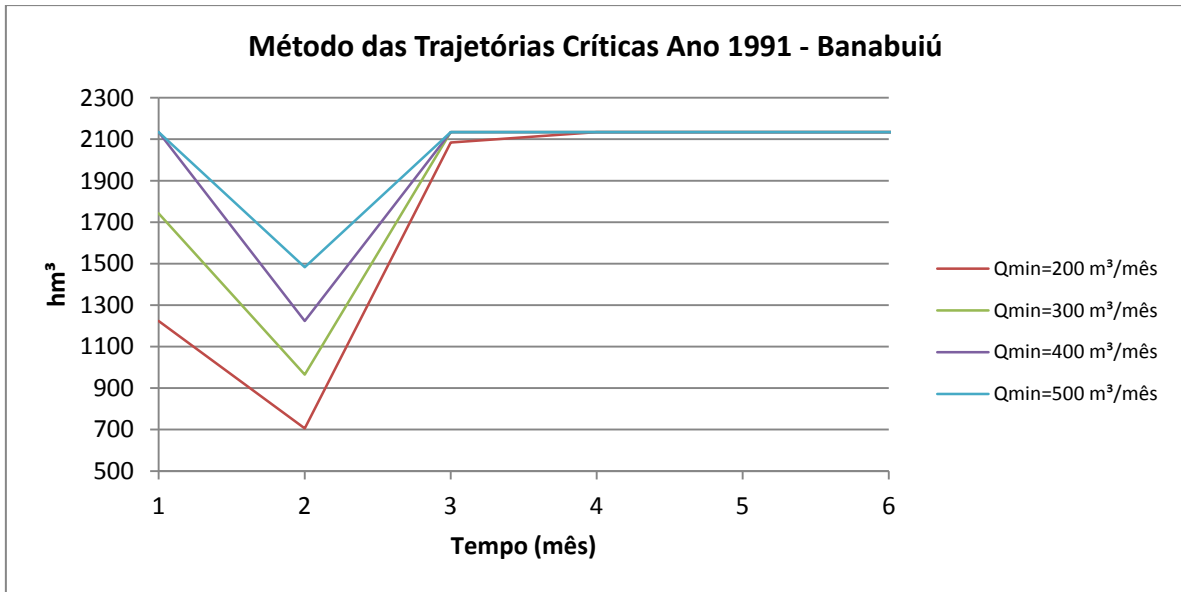


Figura 5.92 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Banabuiú, utilizando regressão pool.

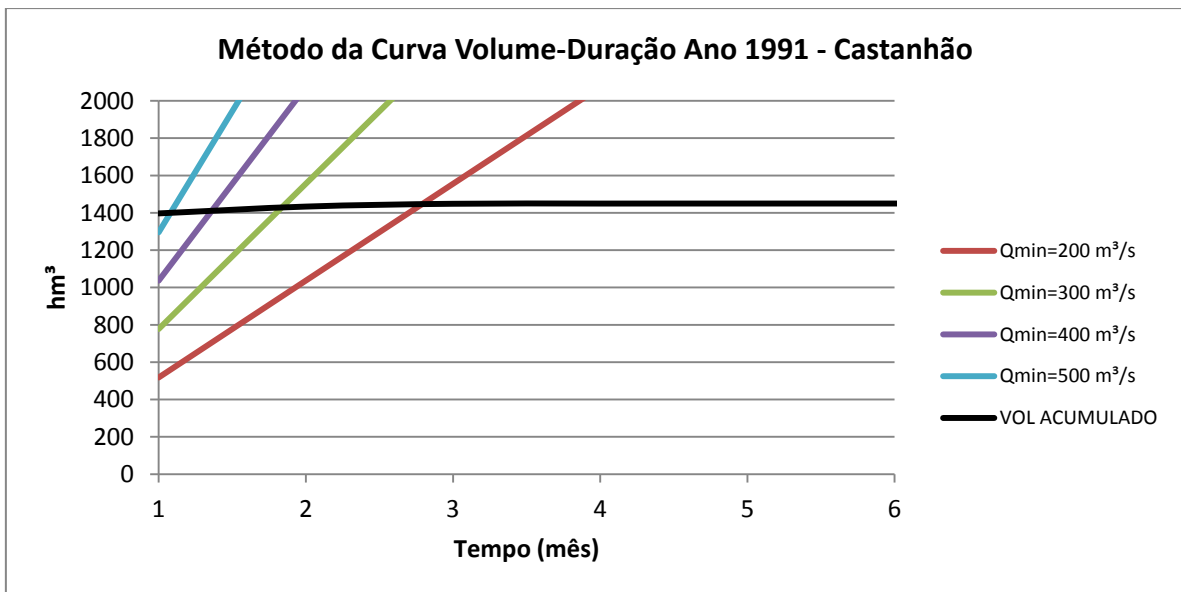


Figura 5.93 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Castanhão, utilizando regressão pool.

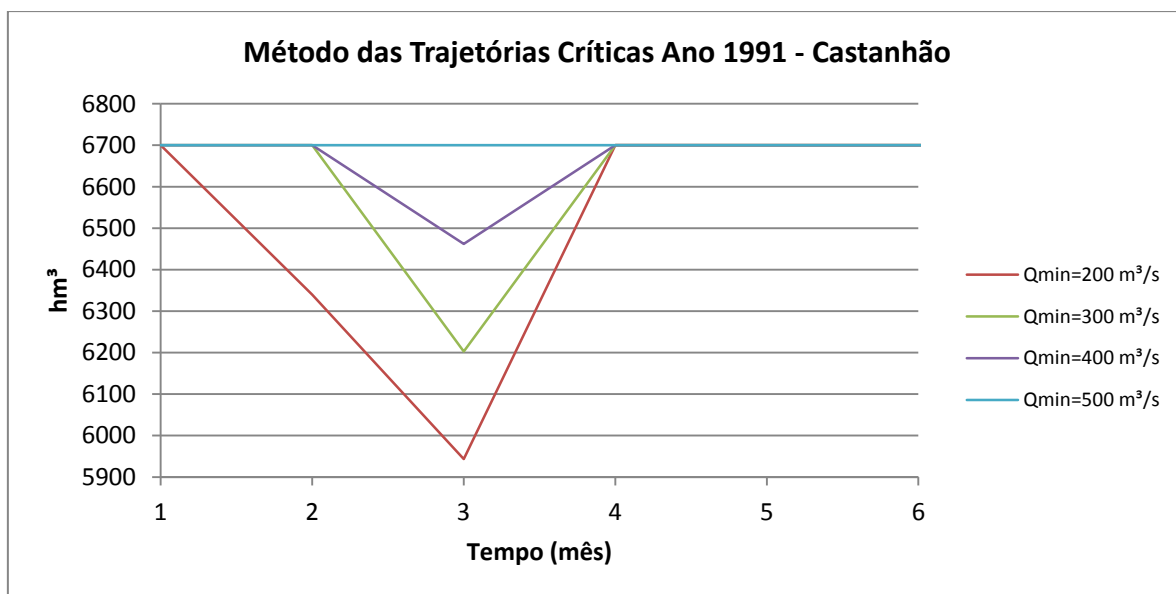


Figura 5.94 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Castanhão, utilizando regressão pool.

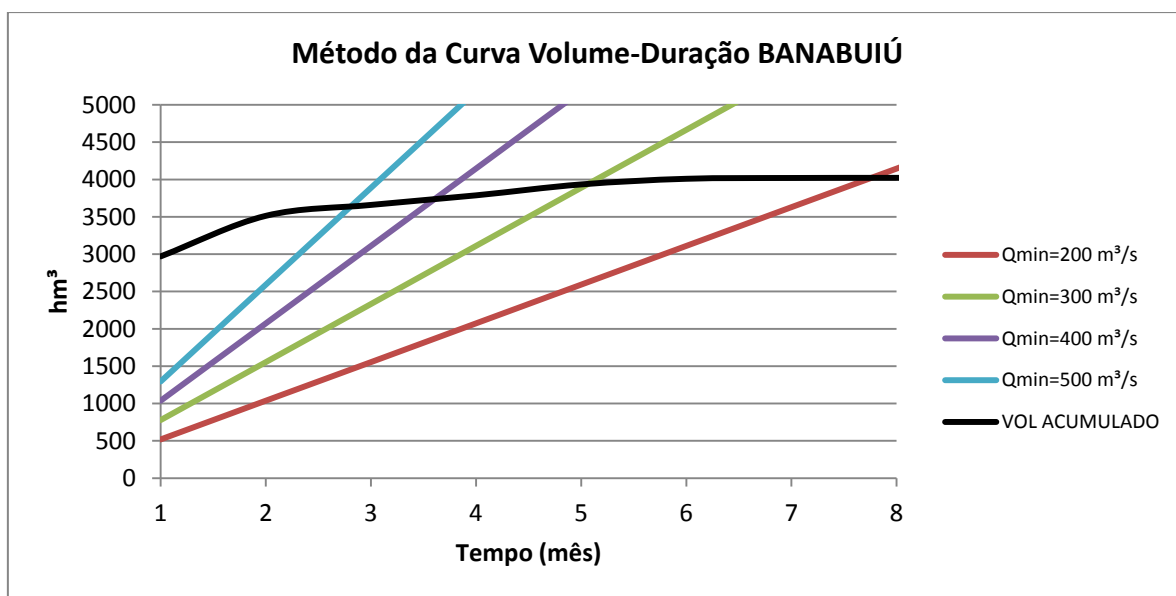


Figura 5.95 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Banabuiú, utilizando toda a série histórica.

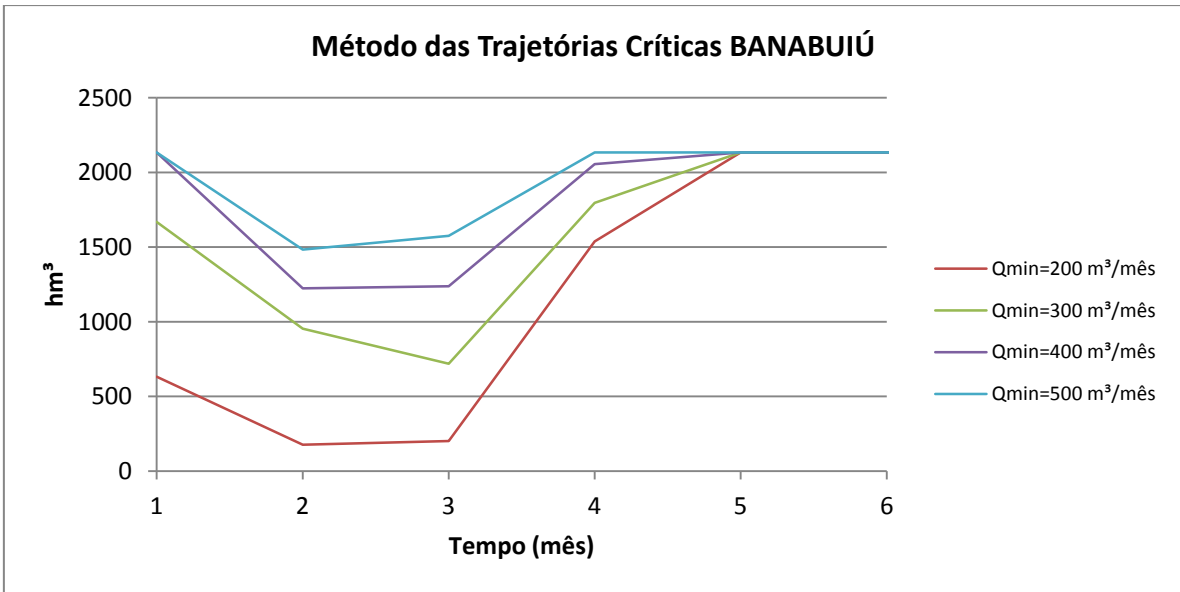


Figura 5.96 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Banabuiú, utilizando toda a série histórica.

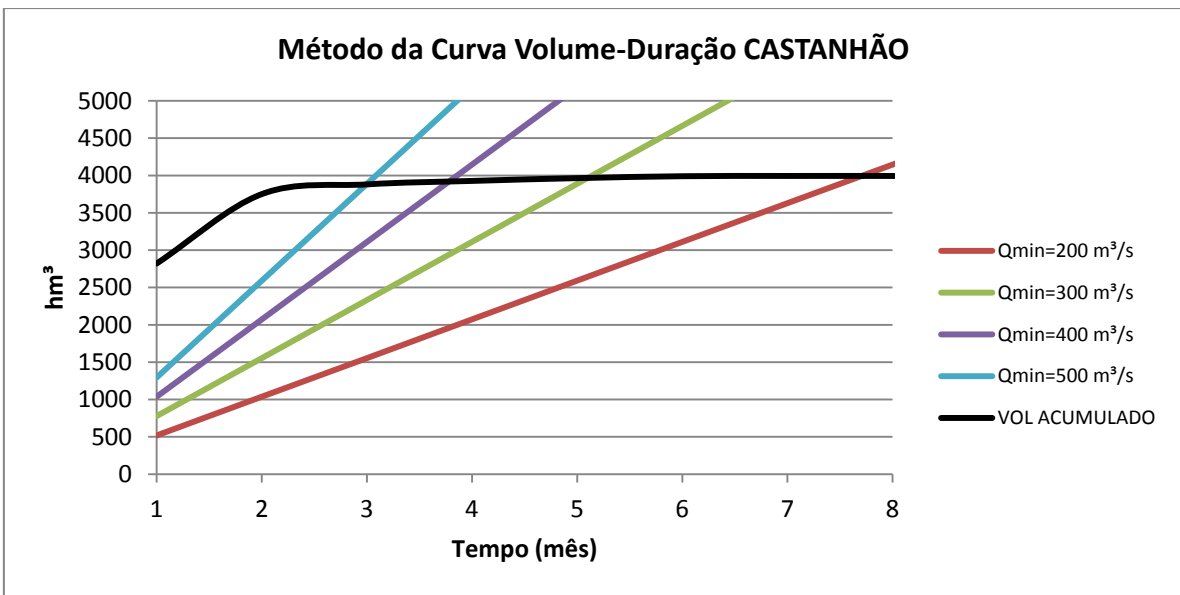


Figura 5.97 - Método Curva Volume-Duração para o reservatório Castanhão, utilizando toda a série histórica.

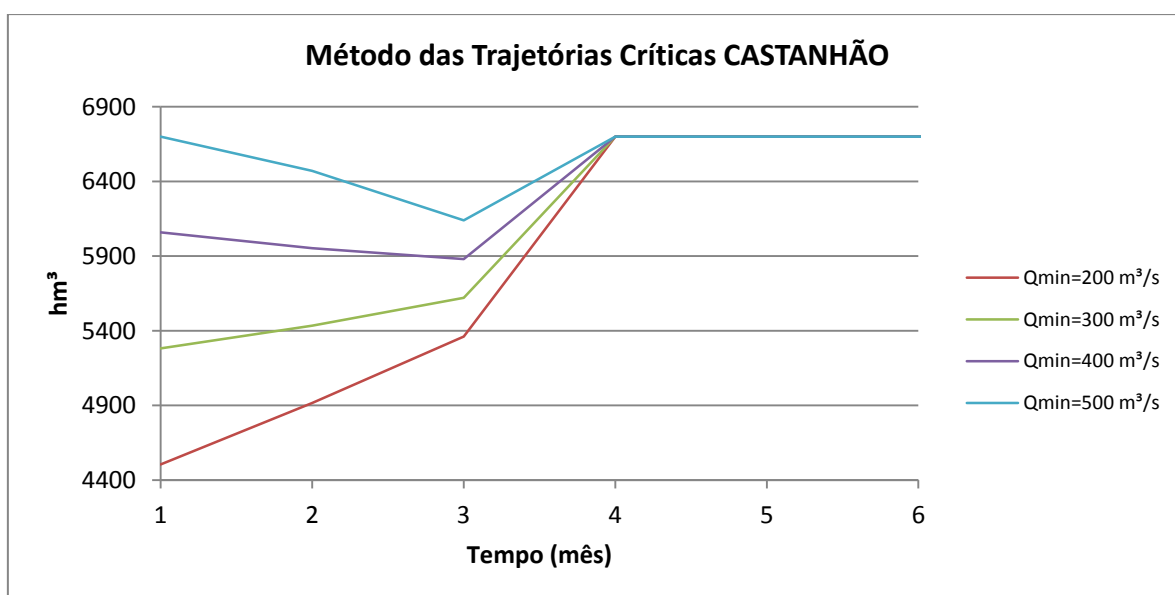


Figura 5.98 - Método das Trajetórias Críticas para o reservatório Castanhão, utilizando toda a série histórica.

Tabela 5.27 - Comparativo do volume de espera (hm<sup>3</sup>) pelo método da curva volume-duração.

		BANABUIÚ													
		R. Pool						R. Stepwise						Toda a série	
		1984	1985	1986	1990	1991	1992	1984	1985	1986	1990	1991	1992		
Qmin=200 m <sup>3</sup> /s		1.407,87	2.476,52	1.407,87	1.693,44	1.693,44	2.476,52	1.407,87	1.407,87	1.407,87	2.476,52	1.407,87	1.407,87	1.407,87	2.476,52
Qmin=300 m <sup>3</sup> /s		1.148,67	2.192,56	1.148,67	1.434,24	1.434,24	2.192,56	1.148,67	1.148,67	1.148,67	2.192,56	1.148,67	1.148,67	1.148,67	2.192,56
Qmin=400 m <sup>3</sup> /s		889,47	1.933,36	889,47	1.175,04	1.175,04	1.933,36	889,47	889,47	889,47	1.933,36	889,47	889,47	889,47	1.933,36
Qmin=500 m <sup>3</sup> /s		630,27	1.674,16	630,27	915,84	915,84	1.674,16	630,27	630,27	630,27	1.674,16	630,27	630,27	630,27	1.674,16
		CASTANHÃO													
		R. Pool						R. Stepwise						Toda a série	
		1984	1985	1986	1990	1991	1992	1984	1985	1986	1990	1991	1992		
		Qmin=200 m <sup>3</sup> /s		2.714,34	2.714,34	2.714,34	772,42	878,48	620,01	2.714,34	2.714,34	2.714,34	2.714,34	2.714,34	2.714,34
Qmin=300 m <sup>3</sup> /s		2.195,94	2.195,94	2.195,94	513,22	619,28	360,81	2.195,94	2.195,94	2.195,94	2.195,94	2.195,94	2.195,94	2.195,94	
Qmin=400 m <sup>3</sup> /s		1.677,54	1.784,33	1.677,54	254,02	360,08	101,61	1.784,33	1.677,54	1.677,54	1.784,33	1.677,54	1.677,54	1.677,54	
Qmin=500 m <sup>3</sup> /s		1.378,94	1.525,13	1.378,94	-	100,88	-	1.525,13	1.378,94	1.378,94	1.525,13	1.378,94	1.378,94	1.378,94	

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivos principais: o desenvolvimento de modelos matemáticos de previsão de vazões sazonais/interanuais que auxiliassem a operação de hidrossistemas utilizando a informação climática e o desenvolvimento da metodologia de incorporação da previsão climática sazonal/interanual na operação de sistemas de reservatórios e controle de cheias.

Os resultados para as previsões sazonais utilizando a informação climática demonstraram um ganho de habilidade de previsão quando comparadas à climatologia. A influência dos preditores climáticos sobre a variação das vazões fica evidente ao analisar suas correlações com as vazões. As previsões conseguiram captar bem a tendência das vazões, ou seja, é possível saber se será um ano mais úmido ou um ano mais seco.

Percebeu-se que com a mudança de escala, de reservatório individualizado para sistema Jaguaribe-Metropolitano, ocorreu um ganho de desempenho na previsão do reservatório Orós. Porém o mesmo fato não ocorreu quando houve mudança de escala do sistema Jaguaribe-Metropolitano para os reservatórios do Nordeste do brasileiro.

A utilização da previsão sazonal de vazões na operação dos reservatórios pode tornar-se uma ferramenta importante para melhorar a utilização dos recursos hídricos disponíveis, pois a alocação realizada nos moldes atuais de vazão afluente zero, ao longo dos 18 meses posteriores, conduz a um racionamento, muitas vezes, desnecessário de água. A metodologia dos K-vizinhos em conjunto com as simulações do *software* AcquaNet possibilita o estudo de cenários mais próximos da realidade, uma vez que é raro a não ocorrência de vazões afluentes durante 18 meses seguidos. Há uma diferença significativa de volume alocável quando se compara o modelo utilizando a informação climática com o modelo que considera nula as vazões nos 18 meses posteriores.

A incorporação da informação climática para o estudo de controle de cheias proporciona outros cenários possíveis para o volume de espera calculado, tornando o cálculo do volume de espera mais flexível, pois o volume de espera pode ser variável de mês para mês sem ter de ser, necessariamente, o pior cenário calculado para todo o histórico de vazões observado.

Sendo assim, conclui-se que os objetivos buscados pelo presente trabalho foram alcançados com as metodologias e modelos desenvolvidos e descritos. Todavia, indica-se, para estudos posteriores, a análise da utilização de outros, ou mais, possíveis preditores, com o intuito de melhorar a qualidade da previsão, bem como a da utilização, quando possível, de

séries históricas mais extensas. Recomenda-se também o estudo de outras métricas de avaliação de desempenho, por exemplo a utilização de *Skill Score*, para fazer comparativo com os métodos descritos no presente trabalho.

A modelagem da previsão de vazão sazonal é uma forte ferramenta que pode ser utilizada pelos gestores para o melhor aproveitamento possível dos recursos hídricos, e, sendo corretamente utilizada, pode aumentar a geração de capital do Estado. Contudo, ainda não é amplamente utilizada, pois a utilização da informação climática na previsão ainda se encontra em estágio embrionário no Ceará. Ressalta-se, por fim, que o trabalho em questão pretende contribuir para o desenvolvimento científico da modelagem da previsão de vazão sazonal.



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ATLAS SRH. **Site da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acesso em: 08 Agosto 2010.

ARAÚJO, J. A. D. A. **Barragens do Nordeste do Brasil**. Fortaleza: DENOCS, v. 2ª Edição, 1990, p. 328.

AZEVEDO, L. G. T., PORTO, R. L. e ZAHED, K. F°, **Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo**. In: PORTO, R. L. et al., Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos, 1.ed, ABRH-EUFRGS, p. 165-237, 1997.

BISHOP, C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer Science, Singapore. 2006.

BLOCK, P. J.; RAJAGOPALAN, B. *Statistical – Dynamical Approach for Streamflow Modeling at Malakal, Sudan, On the White Nile River*. Journal of Hydrologic Engineering 14(2):185-196. 2008.

BLOCK, P. J.; SOUZA FILHO, F. A.; SUN, L.; K.WON, H. *Streamflow Forecasting Framework using Multiple Climate and Hydrological Models*. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 45, No. 4. 2009.

BOTELHO SOUSA, J. M. B. **Previsão Sazonal de Índices de seca com modelos de Markov**. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências Geofísicas Especialização em Meteorologia) – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Centro de Ciências Agrárias, 2009.

BRANDÃO, J. L. B. **Modelo para operação de reservatórios com usos múltiplos**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental), Universidade de São Paulo, São Paulo, n. USP, 2004.

BRAVO, J. M. **Orimização da operação de um reservatório para controle de cheias com base na previsão de vazão**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. UFRS, 2006.

CARDOSO, G. B. B. **Uso de otimização/simulação e previsão de afluências na operação tática dos reservatórios do sistema Jaguaribe – Metropolitano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Federal do Ceará, Ceará, n. UFC, 2003.

CHARNET, R.; FREIRE, C. A. L.; CHARNET, E. M. R.; BONVINO, H. **Análise de modelos de regressão linear: com aplicações**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

COELHO, C. A. S.; STEPHENSON, D. B.; DOBLAS-REYES, F. J.; BALMASEDA, M.; GUETTER, A.; VAN OLDENBORGH, G. J. A *Bayesian approach for multi-model downscaling: Seasonal forecasting of regional rainfall and river flows in South America*. Meteorol. Appl. 13, 73–82, 2006.

COGERH. **Site da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/>>. Acesso em: 08 Agosto 2010

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. *MULTIVARIATE ANALYSIS METHODS AND APPLICATIONS*. John Wiley & Sons. New York. 1984.

DOBLAS-REYES, F.J.; HAGEDORN, R.; PALMER, T.N. *The Rationale Behind the Success of Multi-Model Ensembles in Seasonal Forecasting – II*. Calibration and Combination. *Tellus* 57A:234-252. 2005.

GEORGAKOS, K.P.; KRZYSZTOFOWICZ, R. *Probabilistic and ensemble forecasting*. *Journal of Hydrology* 249, 2001.

GEORGAKOS, K.P.; SEO, D.J.; GUPTA, H.; SCHAKE, J; BUTTS, M.B. *Characterizing Streamflow Simulation Uncertainty Through Multimodel Ensembles*. *Journal of Hydrology* 298(1-4):222-241. 2004.

GNEDENKO, B. V. *A Teoria da Probabilidade*, Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. *The Elements of Statistical Learning*. Springer, New York. 2001.

Jolliffe; I. T. *Principal Component Analysis*. Springer, New York. 2002.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 23 de Janeiro de 2011.

KAPLAN, A.; CANE, M.; KUSHNIR, Y.; CLEMENT, A.; BLUMENTHAL, M.; RAJAGOPALAN, B. *Analyses of global sea surface temperature*. 1856 – 1991, *J. Geophys. Res.*, 103, 18,567– 18,589, 1998.

KELMAN, J. **Cheias e aproveitamentos hidrelétricos**. ABRH, 1987, 175 p.

LALL, U.; SHARMA, A. *A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series*. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 32, NO. 3, PAGES 679-693, MARCH 1996.

LIMA, C. H. R; LALL, U. **Inclusão de informação climática e variabilidade especial em modelos estatísticos de previsão de afluências**. II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, ABRH, Rio de Janeiro, Outubro. 2008.

LOUCKS, D. P., STEDIGER, J. R.; HAITH, D. A. **Water Resource Systems Planning and Analysis**, 559 pp., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1981.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J. Tomasella; UVO, C. R. *Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru*, *J. Geophys. Res.*, 103, 1775–1783, 1998.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Monitoramento do Sistema Elétrico – Boletim de**

**Abril de 2011.** Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim\\_mensalDMSE/Boletim\\_de\\_Monitoramento\\_do\\_Sistema\\_Eltrico\\_-ABRIL-201.pdf](http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim_mensalDMSE/Boletim_de_Monitoramento_do_Sistema_Eltrico_-ABRIL-201.pdf)>. Acesso em Maio de 2011.

NOAA. **Site da National Oceanic and Atmospheric Administration.** Disponível em: <<http://www.noaa.gov/>>. Acesso em: 07 Outubro 2010.

OLIVEIRA, A. C. **Implementação do modelo atmosférico WRF acoplado com o modelo hidrológico TOPMODEL para a bacia de União da Vitória.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

OLIVEIRA, K. F. **Previsão de vazão em uma bacia do semi-árido usando previsões climáticas numéricas de precipitação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.

ONS, OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Plano Anual de Prevenção de Cheias – Ciclo 2003/2004.** Rio de Janeiro, nov. 2003, 134 p.

RAJAGOPALAN, B.; LALL, U. *A k-nearest-neighbor simulator for daily precipitation and other weather variables.* WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 35, NO. 10, PAGES 3089–3101, OCTOBER 1999.

RAJAGOPALAN, B.; LALL, U.; ZEBIAK, S. E. *Categorical climate forecasts through regularization and optimal combination of multiple GCM ensembles,* Mon. Weather Rev., 130(7), 1792–1811, 2002.

RIBEIRO, D. C. M.; SABÓIA, M. A. M.; SOUZA FILHO, F. A. **Modelo de previsões de vazões para o Nordeste Setentrional utilizando análise das componentes principais.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande/MS, Novembro 2009.

RIMA - **Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente do Projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional.** MI - Ministério da Integração Nacional. Brasília, Junho 2004. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/rima/download.asp>>. Acesso em: 03 de Janeiro de 2011.

ROBERTO, A. N. **Modelos de rede de fluxo para alocação de água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental), Universidade de São Paulo, São Paulo, n. USP, 2002.

ROBERTO, A. N. e PORTO, R. L., **Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica,** Décimo Terceiro Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, ABRH, 1999

SALAS, J. D.; DELLEUR, J. W.; YEVJEVICH, V.; LANE, W. L. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series.* Water Resources Publications, Colorado. 1997.

SARMENTO, L. R. **Análise de incertezas e avaliação dos fatores influents no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SARNAGLIA, A. J. Q.; REISEN, V. A. **Estimação robusta em processos periódicos auto-regressivos na presença de outliers aditivos**. 19º SINAPI - Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, São Pedro-SP, Jul 2010.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (SRH), **Plano Estadual de Recursos Hídricos**, Fortaleza, Ceará, Brazil, 1991.

SHARMA, A.; TORBOTON, D. G.; LALL, U. *Streamflow simulation: A nonparametric approach*. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 33, NO. 2, PAGES 291–308, FEBRUARY 1997.

SOUZA FILHO, F. A.; LALL, U. “*Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: Applications of a multivariate, semiparametric algorithm*”. Water Resources Research, Vol. 39, No. 11, 1307. 2003.

SOUZA FILHO, F.A.; R.L.L. PORTO. **Acoplamento de Modelo Climático e Modelo Hidrológico**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba/PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH, Porto Alegre/RS, 2003.

SUN, L.; MONCUNILL, D.F.; LI, H.; MOURA, A. D.; SOUZA FILHO, F. A. *Climate Downscaling over Nordeste, Brazil, Using the NCEP RSM97*. Journal of Climate, Vol. 18. American Meteorological Society, 2005.

SUN, L.; MONCUNILL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; SOUZA FILHO, F. A.; ZEBIAK, S. E. *An Operational Dynamical Downscaling Prediction System for Nordeste Brazil and the 2002–04 Real-Time Forecast Evaluation*. Journal of Climate, Vol. 19. American Meteorological Society, 2006.

TUCCI, C.E.M. Modelos Hidrológicos. Editora da UFRGS ABRH 650p. 1998.

UVO, C. B.; GRAHAM, N. E. *Seasonal runoff forecast for northern South America: A statistical model*, Water Resour. Res., 34(12), 3515– 3524, 1998.

UVO, C. B.; TOLLE, U.; BERNDTSSON, R. *Forecasting discharge in Amazonia using artificial neural networks*, Int. J. Climatol., 20, 1495– 1507, 2000.

WURBS, R. *Reservoir-System Simulation and Optimization Models*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, v.119, n.4, p.455-472, 1993.

WURBS, R. A. *Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models*. Technical Report n. 282. Texas Water Resources Institute. 2005.

YEH, W. W-G., *Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review*. Water Resources Research, v.21, n.12, p.1797-1818, 1985

## APÊNDICE A

### Série de vazões afluentes dos reservatórios

Reservatório Acarape - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	6,17	8,55	16,94	13,46	2,68	0,70	0,69	0,63	0,48	0,30	0,20
1913	0,14	4,28	13,76	14,44	7,20	6,06	0,71	0,70	0,67	0,67	0,62	0,56
1914	0,54	2,62	11,36	16,02	11,24	11,82	1,20	1,51	0,68	0,66	0,46	0,32
1915	0,22	0,18	0,19	0,17	0,18	0,18	0,19	0,17	0,12	0,08	0,04	0,03
1916	0,02	0,02	12,41	7,57	8,74	9,66	0,71	0,69	0,57	0,40	0,27	0,22
1917	3,82	11,76	26,25	16,97	30,43	5,11	0,71	0,69	0,62	0,48	0,32	0,27
1918	0,24	0,51	8,31	8,94	13,82	6,08	0,71	0,70	0,66	0,62	0,41	0,29
1919	0,23	0,20	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,12	0,09	0,06	0,03	0,02
1920	0,01	0,00	7,53	6,85	4,87	8,06	2,11	0,71	0,67	0,62	0,45	0,37
1921	0,35	7,31	29,46	21,00	25,35	2,32	8,31	0,71	0,67	0,62	0,44	0,38
1922	0,31	0,26	1,22	10,31	18,84	5,50	5,00	0,71	0,67	0,63	0,42	0,32
1923	0,26	0,23	5,78	9,58	5,84	5,48	2,74	0,70	0,66	0,53	0,34	0,25
1924	0,17	3,31	21,41	33,82	26,19	12,20	1,30	0,70	0,66	0,54	0,43	0,33
1925	0,29	2,36	8,72	13,50	3,81	0,69	0,70	0,68	0,55	0,48	0,33	0,24
1926	0,19	1,91	17,71	14,85	6,56	0,69	0,70	0,69	0,57	0,40	0,25	0,18
1927	0,12	0,09	1,50	13,03	9,68	3,88	0,71	0,70	0,66	0,53	0,35	0,25
1928	0,18	0,14	0,13	7,18	3,99	0,51	0,52	0,51	0,42	0,31	0,21	0,15
1929	0,10	2,50	15,78	16,09	9,02	0,99	1,53	0,70	0,66	0,57	0,40	0,32
1930	0,24	0,20	0,22	3,27	1,28	4,03	0,52	0,51	0,47	0,37	0,26	0,19
1931	0,16	1,91	5,71	5,18	0,96	0,66	0,68	0,66	0,58	0,41	0,26	0,17
1932	0,12	0,11	2,90	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,20	0,15	0,09	0,06
1933	0,03	0,03	0,68	14,17	1,00	0,58	0,59	0,58	0,47	0,33	0,21	0,14
1934	0,12	3,02	19,84	14,29	17,22	3,57	0,71	0,69	0,54	0,37	0,25	0,20
1935	0,19	7,08	9,50	26,52	16,01	4,95	1,02	0,70	0,64	0,50	0,33	0,22
1936	0,15	0,12	0,45	0,16	4,66	2,04	0,44	0,43	0,40	0,30	0,19	0,13
1937	0,08	0,05	1,06	9,74	7,63	8,67	1,06	0,71	0,67	0,65	0,45	0,34
1938	0,26	0,23	7,11	17,64	9,76	5,61	0,71	0,69	0,64	0,49	0,33	0,24
1939	0,21	8,17	16,46	7,26	5,58	3,63	0,70	0,69	0,65	0,66	0,61	0,51
1940	0,40	0,37	6,53	24,02	16,74	9,42	2,89	0,70	0,66	0,64	0,43	0,30
1941	0,21	0,14	0,15	7,50	2,26	0,52	0,53	0,52	0,42	0,30	0,21	0,17
1942	0,13	0,10	1,96	4,02	1,57	1,16	0,48	0,47	0,39	0,28	0,18	0,13
1943	0,09	0,07	0,08	6,89	2,74	0,44	0,45	0,45	0,40	0,28	0,18	0,13
1944	0,11	0,10	0,11	7,23	9,69	1,44	0,71	0,69	0,64	0,49	0,34	0,24
1945	0,21	9,87	12,27	21,35	17,72	14,94	3,32	0,70	0,65	0,56	0,40	0,35
1946	5,45	5,92	17,66	14,22	4,18	3,09	0,71	0,69	0,60	0,42	0,26	0,18
1947	0,15	0,11	0,11	0,50	2,60	0,24	0,25	0,25	0,18	0,12	0,07	0,06
1948	0,04	0,03	0,03	0,04	1,46	1,14	0,19	0,19	0,14	0,09	0,05	0,03
1949	0,01	0,00	12,19	18,74	35,17	7,75	0,71	0,69	0,57	0,39	0,24	0,16

1950	0,10	0,07	8,10	9,33	12,10	0,69	0,69	0,67	0,48	0,32	0,20	0,14
1951	0,09	0,05	0,04	0,04	0,06	0,72	0,10	0,11	0,08	0,05	0,03	0,01
1952	0,01	0,01	11,04	14,99	3,51	0,45	0,46	0,38	0,25	0,16	0,09	0,06
1953	0,03	0,02	0,86	5,80	3,20	0,41	0,42	0,41	0,35	0,24	0,15	0,09
1954	0,06	0,04	4,32	3,30	6,47	0,65	0,48	0,47	0,41	0,28	0,17	0,12
1955	0,08	0,07	0,08	7,70	4,77	0,52	0,53	0,52	0,41	0,30	0,20	0,16
1956	0,15	0,12	1,31	6,63	0,84	0,42	0,43	0,43	0,36	0,25	0,16	0,10
1957	0,07	0,06	5,22	13,80	5,99	0,69	0,70	0,68	0,52	0,37	0,23	0,16
1958	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00
1959	0,00	3,45	12,96	5,78	12,90	1,28	0,70	0,69	0,58	0,40	0,25	0,17
1960	0,11	0,07	10,00	7,05	0,82	0,46	0,47	0,47	0,39	0,27	0,17	0,11
1961	0,08	8,96	8,47	19,83	9,13	0,69	0,70	0,69	0,63	0,46	0,31	0,24
1962	0,19	0,15	11,09	12,17	5,99	0,83	0,71	0,69	0,63	0,46	0,31	0,27
1963	0,23	1,35	12,68	9,50	5,46	0,68	0,69	0,67	0,48	0,32	0,20	0,19
1964	3,37	11,78	20,07	31,70	21,73	2,57	2,48	0,71	0,67	0,67	0,50	0,34
1965	0,25	0,19	0,19	12,99	11,35	13,42	3,18	0,70	0,64	0,48	0,31	0,21
1966	0,15	0,10	0,12	2,96	2,97	2,77	0,48	0,48	0,45	0,38	0,24	0,17
1967	0,12	2,06	9,26	12,98	17,02	4,19	0,74	0,70	0,66	0,52	0,33	0,22
1968	0,17	0,14	2,66	6,54	10,13	2,08	0,71	0,70	0,65	0,49	0,32	0,23
1969	0,19	0,15	5,30	13,13	10,42	8,09	10,52	0,71	0,67	0,60	0,40	0,28
1970	0,22	0,19	3,36	9,15	3,47	1,17	0,71	0,70	0,66	0,52	0,35	0,27
1971	0,21	0,18	6,00	6,16	13,31	7,98	6,30	1,25	0,68	0,66	0,50	0,38
1972	0,30	0,25	0,26	1,18	5,44	2,28	3,15	0,71	0,67	0,63	0,45	0,33
1973	0,30	4,06	6,94	18,07	13,03	11,71	3,41	0,71	0,67	0,67	0,51	0,39
1974	5,70	7,42	24,32	42,01	25,49	8,98	0,76	0,70	0,66	0,62	0,42	0,31
1975	0,29	0,26	9,81	7,80	13,57	7,71	2,15	0,71	0,67	0,67	0,49	0,42
1976	0,41	0,38	9,67	17,44	0,71	0,68	0,69	0,68	0,61	0,46	0,33	0,26
1977	0,19	2,69	9,62	15,35	13,89	13,21	8,92	0,71	0,67	0,62	0,41	0,30
1978	0,22	0,16	2,92	6,34	11,65	1,98	2,48	0,71	0,68	0,66	0,52	0,40
1979	0,30	0,25	2,71	3,85	7,06	3,35	0,71	0,69	0,65	0,53	0,35	0,24
1980	0,17	7,35	7,85	1,62	0,70	1,64	0,71	0,69	0,61	0,46	0,33	0,23
1981	0,18	0,15	4,02	3,26	3,49	0,76	0,54	0,53	0,40	0,27	0,17	0,12
1982	0,10	0,08	3,63	3,91	4,17	1,51	0,66	0,64	0,61	0,49	0,33	0,23
1983	0,16	0,12	0,58	3,32	1,06	0,33	0,34	0,34	0,26	0,18	0,11	0,07
1984	0,05	0,04	3,21	6,56	15,50	9,58	3,67	0,71	0,67	0,67	0,54	0,40
1985	0,32	5,83	24,06	22,18	18,90	12,13	9,77	0,71	0,67	0,66	0,47	0,34
1986	0,32	2,71	11,98	27,18	16,15	11,36	2,82	0,71	0,67	0,67	0,53	0,46
1987	0,37	0,29	4,68	5,81	2,15	14,64	0,87	0,70	0,65	0,52	0,34	0,24
1988	0,18	0,17	1,55	17,14	15,75	5,16	3,43	0,71	0,67	0,63	0,48	0,41
1989	0,38	0,34	0,36	11,15	17,26	13,89	13,68	0,71	0,67	0,63	0,45	0,35
1990	0,33	0,28	0,28	0,27	2,22	0,96	0,41	0,41	0,39	0,35	0,23	0,16
1991	0,12	0,11	6,45	4,71	9,59	4,52	0,70	0,69	0,61	0,44	0,31	0,21
1992	0,13	5,11	2,90	7,21	1,26	1,80	0,71	0,70	0,58	0,40	0,28	0,19
1993	0,13	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,10	0,07	0,04	0,02
1994	0,02	0,02	8,75	11,89	21,49	16,84	4,58	0,71	0,67	0,55	0,35	0,24

1995	0,21	0,90	3,37	18,47	18,78	6,03	2,73	0,71	0,67	0,52	0,35	0,24
1996	0,18	0,66	13,22	22,83	6,48	1,63	0,70	0,69	0,62	0,48	0,35	0,26
Reservatório Aracoiaba - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	2,92	4,59	6,41	36,74	12,48	1,91	1,26	0,51	0,10	0,00	0,00
1913	0,00	2,41	30,27	19,87	10,75	1,90	1,91	1,68	0,75	0,27	0,02	0,01
1914	0,00	0,01	0,49	2,85	4,20	22,31	1,98	1,92	1,18	0,37	0,02	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,00	1,47	0,73	5,85	1,44	1,53	1,05	0,32	0,01	0,00	0,00
1917	0,84	5,04	25,00	12,20	45,72	2,99	1,94	1,41	0,55	0,09	0,00	0,00
1918	0,00	0,00	0,02	2,95	0,77	1,34	0,99	0,66	0,21	0,00	0,00	0,00
1919	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	2,60	5,72	6,04	4,10	1,94	1,76	0,82	0,22	0,00	0,00
1921	0,00	0,86	15,62	34,24	52,78	1,91	2,53	1,91	1,04	0,40	0,03	0,00
1922	0,00	0,00	0,00	5,81	17,29	1,91	1,93	1,88	1,32	0,47	0,03	0,00
1923	0,00	0,00	0,27	3,93	0,66	0,64	0,66	0,43	0,04	0,00	0,00	0,00
1924	0,00	0,02	9,51	38,14	41,17	31,80	1,98	1,64	0,66	0,14	0,00	0,00
1925	0,00	0,01	0,00	0,39	1,82	0,76	0,51	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
1926	0,00	0,00	13,48	29,36	4,21	1,90	1,73	0,83	0,20	0,00	0,00	0,00
1927	0,00	0,00	0,00	2,95	1,63	1,00	1,00	0,57	0,09	0,00	0,00	0,00
1928	0,00	0,00	0,00	0,67	1,72	0,52	0,28	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1929	0,00	0,00	4,41	4,51	2,79	1,91	1,91	1,32	0,50	0,08	0,00	0,00
1930	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,00	0,00	0,78	0,29	0,32	0,30	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,00	0,00	0,00	5,49	0,59	0,52	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1934	0,00	0,00	4,76	3,88	16,31	1,92	1,80	0,90	0,24	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	0,00	1,72	5,73	9,68	7,67	1,98	1,61	0,64	0,11	0,00	0,00
1936	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,00	0,02	5,24	5,16	16,65	1,96	1,60	0,69	0,20	0,00	0,00
1938	0,00	0,00	1,06	18,15	12,40	1,92	1,89	1,11	0,39	0,03	0,00	0,00
1939	0,00	2,11	9,47	1,57	1,62	1,53	1,40	0,78	0,32	0,03	0,00	0,00
1940	0,00	0,01	0,01	5,57	48,22	17,18	10,42	1,93	1,22	0,50	0,05	0,00
1941	0,00	0,00	0,01	0,26	2,92	0,88	0,68	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1943	0,00	0,00	0,00	0,12	0,19	0,21	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,00	0,00	0,00	1,36	11,89	1,83	1,85	1,42	0,53	0,07	0,00	0,00
1945	0,00	2,66	4,69	46,16	30,73	28,07	5,97	1,75	0,92	0,33	0,02	0,00
1946	4,76	1,88	3,88	26,35	3,25	1,87	1,53	0,67	0,14	0,00	0,00	0,00
1947	0,00	0,00	0,02	3,60	11,25	1,86	1,82	1,01	0,31	0,02	0,00	0,00
1948	0,00	0,00	0,01	0,04	0,56	0,46	0,54	0,48	0,10	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	0,00	1,01	7,59	14,33	3,60	1,93	1,37	0,54	0,07	0,00	0,00
1950	0,00	0,84	39,62	33,29	1,96	1,64	0,89	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00
1951	0,00	0,00	0,01	0,04	6,24	1,09	0,90	0,31	0,01	0,00	0,00	0,00

1952	0,00	0,01	0,54	4,74	1,08	0,82	0,33	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
1953	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1955	0,00	0,01	2,58	8,27	1,49	1,29	0,70	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
1956	0,00	0,01	3,20	0,68	0,65	0,43	0,18	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1957	0,00	0,45	12,53	1,77	1,78	1,41	0,71	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	0,00	4,16	0,61	0,58	0,33	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,02	5,07	3,35	7,38	1,94	1,82	1,31	0,54	0,07	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	3,52	12,98	1,92	1,92	1,48	0,95	0,35	0,02	0,00	0,00	0,00
1961	3,51	5,12	9,21	12,36	4,51	1,87	1,61	0,74	0,17	0,00	0,00	0,00
1962	0,00	3,99	2,34	1,28	1,30	1,06	0,56	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
1963	0,02	8,12	11,05	10,70	1,94	1,54	0,83	0,26	0,00	0,00	0,00	0,01
1964	7,09	18,03	72,21	34,86	5,73	1,87	1,88	1,38	0,57	0,10	0,00	0,00
1965	0,00	0,00	5,67	10,53	36,94	2,19	1,88	1,05	0,39	0,04	0,00	0,00
1966	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1967	0,01	4,48	22,30	35,06	1,97	1,86	1,81	0,99	0,29	0,01	0,00	0,00
1968	0,00	0,00	0,03	4,52	1,06	1,01	0,80	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
1969	0,00	0,00	2,50	0,74	4,08	7,04	1,97	1,74	0,86	0,25	0,00	0,00
1970	0,00	0,00	0,03	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1971	0,00	0,02	6,01	4,77	10,74	1,93	1,95	1,60	0,76	0,31	0,01	0,00
1972	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1973	0,00	0,01	1,94	4,49	4,91	2,12	1,95	1,39	0,56	0,10	0,00	2,62
1974	2,36	19,18	59,94	33,60	16,13	1,91	1,83	1,08	0,44	0,04	0,00	0,00
1975	0,00	0,01	0,03	2,31	0,79	0,86	0,89	0,62	0,14	0,00	0,00	0,00
1976	0,00	0,01	0,04	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1977	0,02	0,12	2,06	18,60	31,07	17,12	1,98	1,54	0,60	0,10	0,00	0,00
1978	0,00	0,01	0,03	3,61	0,75	0,73	0,75	0,44	0,05	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	2,22	3,96	0,71	0,67	0,52	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	2,77	2,49	0,84	0,78	0,35	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,00	1,96	7,67	5,80	1,89	1,90	1,51	0,63	0,13	0,00	0,00
1985	0,94	6,68	27,09	30,14	16,56	6,73	1,96	1,50	0,58	0,09	0,00	0,00
1986	0,01	5,82	27,96	15,71	15,20	1,91	1,89	1,17	0,50	0,10	0,00	0,00
1987	0,00	0,00	0,99	0,49	1,47	0,66	0,60	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	0,00	5,14	6,82	1,37	1,30	1,18	0,61	0,12	0,00	0,00	0,00
1989	0,00	0,00	0,02	2,61	2,90	9,34	1,95	1,43	0,57	0,10	0,00	0,00
1990	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	0,02	0,34	0,21	0,20	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	0,01	0,03	0,06	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,00	0,00	2,11	3,75	14,35	1,92	1,86	1,01	0,30	0,01	0,00	0,00
1995	0,00	0,00	0,07	1,09	1,64	0,95	0,91	0,39	0,03	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	3,20	1,08	1,13	0,80	0,41	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00



Reservatório Banabuiú - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1913	8,00	78,06	32,66	85,46	34,58	19,17	9,74	2,28	0,00	0,00	0,00	0,00
1914	22,59	2,06	1,09	8,55	19,49	19,54	25,98	4,45	0,64	0,00	0,00	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	0,54	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,26
1916	12,14	0,48	221,45	35,29	84,70	18,98	5,85	0,53	0,00	0,00	0,00	8,99
1917	152,87	151,73	338,37	133,43	109,39	37,32	11,00	2,21	0,57	0,09	0,00	0,01
1918	5,39	13,67	0,36	1,02	0,73	2,87	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1919	30,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,02	338,29	78,71	86,48	19,98	11,61	2,38	0,00	0,00	0,00	0,02
1921	0,00	61,37	230,19	126,60	333,55	29,62	18,16	3,99	0,63	0,17	0,02	0,00
1922	0,00	0,00	31,38	813,04	401,23	58,12	46,60	12,55	2,43	0,70	0,11	0,00
1923	0,00	60,78	31,36	19,03	5,65	0,68	1032,97	4,69	1,01	0,03	0,00	0,00
1924	4,84	77,44	262,94	804,15	335,78	148,77	46,86	12,85	1,06	0,26	0,01	0,00
1925	22,61	16,50	118,83	150,98	132,48	14,98	3,41	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00
1926	0,02	24,14	312,87	106,29	64,47	18,77	4,90	0,45	0,03	0,00	0,00	0,00
1927	0,00	26,57	87,26	216,30	38,43	21,13	7,83	0,92	0,04	0,00	0,00	0,00
1928	0,00	0,00	30,05	43,87	39,95	1,95	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1929	0,00	9,10	72,58	102,88	31,19	13,88	3,52	0,61	0,11	0,00	0,00	0,00
1930	1,01	0,61	83,31	31,53	5,01	2,02	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,04	12,05	92,05	18,31	4,97	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,00	0,04	6,69	0,48	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,00	0,01	46,37	203,37	26,80	9,40	1,79	0,41	0,05	0,00	0,00	0,00
1934	0,00	55,88	502,01	241,97	296,47	48,10	17,65	1,64	0,29	0,02	0,00	0,95
1935	0,01	28,01	19,66	323,95	176,79	36,50	16,30	3,26	0,68	0,13	0,00	0,00
1936	0,00	23,73	109,01	3,53	104,89	32,69	9,58	1,02	0,15	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,00	0,02	72,03	11,32	6,65	2,08	0,60	0,12	0,00	0,00	0,00
1938	0,00	0,00	253,73	82,73	26,76	13,23	1,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1939	0,00	49,33	20,79	7,22	3,78	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1940	0,00	5,01	90,30	289,86	362,66	143,68	41,93	10,72	1,34	0,36	0,02	0,00
1941	0,00	0,61	50,93	3,89	9,16	1,16	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,00	0,47	1,74	1,90	0,24	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
1943	0,00	0,24	0,47	6,30	0,83	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,00	0,00	28,30	75,02	15,80	8,17	4,44	0,45	0,06	0,00	0,00	0,00
1945	4,55	69,22	12,59	19,27	126,39	18,14	9,07	2,15	0,49	0,08	0,00	0,00
1946	0,00	15,46	1,97	0,68	0,36	1,43	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,92
1947	0,02	5,10	42,17	133,74	51,47	16,17	1,53	0,19	0,01	0,00	0,01	0,01
1948	0,00	0,00	103,10	23,94	37,05	5,08	1,54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	1,06	11,47	11,22	8,55	1,69	0,44	0,00	0,00	0,00	1,14	0,02
1950	0,00	0,00	14,14	127,95	28,00	14,76	4,50	0,43	0,04	0,00	0,00	0,00
1951	0,46	0,00	0,00	4,25	0,27	15,77	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38
1952	0,02	0,02	20,61	41,50	22,61	6,95	1,45	0,27	0,02	0,00	0,00	0,00
1953	0,00	0,00	0,00	56,31	8,99	5,34	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	12,41	0,73	0,09	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

1955	0,85	0,14	11,00	28,33	24,20	4,50	0,94	0,24	0,01	0,00	0,00	0,00
1956	0,00	0,02	24,36	54,02	8,80	1,66	0,38	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
1957	0,00	0,00	57,35	183,90	28,70	10,96	3,09	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	0,00	0,00	32,17	2,37	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	4,36	7,02	2,88	12,11	6,29	0,78	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	751,14	102,19	43,10	20,19	2,86	0,53	0,01	0,00	0,00	0,00
1961	3,70	3,39	71,76	44,60	75,77	10,94	4,30	1,42	0,27	0,01	0,00	0,00
1962	0,00	0,09	10,93	29,86	9,49	1,56	0,39	0,06	0,00	0,00	0,00	0,53
1963	0,00	14,06	108,69	73,06	21,78	5,36	1,48	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
1964	0,00	41,57	222,93	221,50	303,06	55,83	24,80	8,36	1,62	0,49	0,06	0,00
1965	0,02	0,02	12,35	219,41	72,49	74,48	18,46	3,37	0,72	0,22	0,00	0,00
1966	0,00	34,81	1,74	35,19	3,31	0,94	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1967	0,00	5,28	102,14	149,47	115,63	30,62	9,53	1,66	0,36	0,03	0,00	0,37
1968	0,04	0,00	133,77	17,07	31,03	10,44	3,13	0,36	0,02	0,00	0,00	0,00
1969	0,00	0,02	31,00	112,99	21,64	23,49	12,25	4,91	1,52	0,46	0,04	0,00
1970	1,72	0,05	22,63	1,84	0,86	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1971	0,91	0,10	0,09	13,17	4,82	15,57	1,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1972	0,02	0,05	0,00	47,05	6,43	3,24	0,64	0,04	0,00	0,00	0,00	0,48
1973	0,02	0,00	5,38	173,49	49,66	19,40	6,42	1,49	0,53	0,15	0,00	0,00
1974	81,73	24,24	209,55	715,69	430,20	56,45	29,10	4,17	0,70	0,17	0,00	0,00
1975	0,00	0,00	32,74	23,04	27,10	9,21	5,61	1,66	0,32	0,02	0,00	0,00
1976	0,00	0,92	2,83	17,50	1,41	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1977	2,69	0,40	0,18	131,39	83,53	91,67	18,12	3,15	0,73	0,15	0,00	0,02
1978	0,01	24,12	1,29	32,20	46,77	5,85	2,81	1,19	0,41	0,05	0,00	0,00
1979	5,53	0,64	0,41	2,80	37,35	3,78	1,21	0,44	0,06	0,00	15,78	0,80
1980	0,67	75,18	81,10	10,85	2,85	0,84	0,35	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	0,00	335,58	125,00	17,56	3,41	0,52	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,02	0,00	2,19	8,41	8,66	0,89	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,11	17,96	2,71	1,64	0,70	0,23	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,01	31,84	288,91	46,82	43,35	15,84	3,42	0,53	0,05	0,00	0,00
1985	0,05	14,24	179,77	563,39	92,80	48,92	27,15	7,26	1,47	0,44	0,04	4,51
1986	0,41	7,59	149,24	208,46	70,33	39,85	16,84	4,21	1,10	0,32	0,02	0,00
1987	0,00	0,00	2,72	14,01	1,66	0,77	0,41	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	0,00	26,02	133,23	109,55	20,08	9,98	1,80	0,21	0,00	0,00	0,02
1989	0,00	0,00	36,56	362,26	273,28	40,47	17,10	4,35	0,96	0,24	0,00	38,98
1990	1,93	0,74	0,09	6,11	15,90	1,57	0,36	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	34,57	18,82	24,02	4,35	1,12	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00
1992	2,24	88,82	18,32	80,70	7,22	2,27	0,82	0,28	0,02	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	2,58	0,15	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,00	5,88	14,20	32,11	22,57	15,54	5,47	1,10	0,10	0,00	0,00	6,62
1995	0,41	0,02	0,09	99,25	20,10	9,82	4,29	0,79	0,09	0,00	0,00	0,00
1996	24,58	19,93	46,78	70,84	48,16	12,53	3,69	0,52	0,13	0,00	0,00	0,00
Reservatório Castanhão - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez



1983	0,71	28,80	9,17	7,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	1,07	0,58	15,48	154,80	15,16	10,69	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	50,16	415,20	315,60	716,40	17,94	14,30	9,91	1,37	0,00	0,00	0,00	0,01
1986	38,76	33,00	196,80	228,00	18,72	9,42	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1987	5,38	14,64	65,64	133,20	10,04	4,28	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	13,08	73,80	184,80	17,26	7,26	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1989	10,98	7,50	39,84	399,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1990	16,20	2,16	11,30	65,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	6,74	1,80	24,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	6,00	45,48	27,60	66,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	2,80	4,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reservatório Cauhipé - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	0,17	4,83	2,91	5,79	2,41	0,88	0,78	0,56	0,13	0,00	0,00
1913	0,00	1,34	7,40	7,40	2,50	1,08	0,92	0,82	0,67	0,30	0,01	0,00
1914	0,00	0,06	1,71	3,76	4,42	2,10	0,94	0,85	0,73	0,33	0,01	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,00	1,23	2,18	2,07	0,72	0,68	0,59	0,18	0,00	0,00	0,00
1917	2,60	3,82	9,08	5,45	12,87	1,54	0,90	0,79	0,40	0,04	0,00	0,00
1918	0,00	0,03	1,90	4,17	4,72	1,91	0,88	0,78	0,41	0,03	0,00	0,00
1919	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	1,92	2,48	2,52	1,31	0,89	0,79	0,47	0,05	0,00	0,00
1921	0,00	0,04	7,69	8,89	10,49	1,38	0,86	0,78	0,61	0,28	0,01	0,00
1922	0,00	0,00	0,02	9,09	5,62	0,60	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1923	0,00	0,24	1,51	2,04	0,87	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
1924	0,45	5,07	8,22	10,89	9,49	2,55	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1925	0,01	0,03	1,00	7,00	3,15	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1926	0,00	0,01	2,31	5,93	1,13	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1927	0,00	0,02	0,06	8,86	1,65	0,46	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
1928	0,00	0,01	0,04	1,94	0,70	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1929	0,00	0,02	6,08	5,76	1,12	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1930	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,00	0,02	2,94	1,17	0,19	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,01	0,04	1,32	11,38	0,81	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1934	0,02	3,13	16,14	7,38	2,84	0,50	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	0,01	2,77	7,63	4,28	1,75	0,22	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1936	0,00	0,00	0,03	0,02	0,05	0,10	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,01	0,62	5,17	4,46	0,62	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1938	0,01	0,02	4,92	7,25	2,16	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1939	0,00	4,80	8,05	5,54	1,23	0,08	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1940	0,00	0,02	3,20	9,88	1,65	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1941	0,00	0,00	0,03	0,16	1,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,02	0,23	1,71	0,27	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

1943	0,00	0,00	0,28	4,89	0,07	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,01	0,01	0,01	0,50	3,16	0,23	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1945	0,01	2,17	4,33	8,31	5,67	0,89	0,41	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
1946	0,03	0,03	5,33	6,73	1,42	0,93	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1947	0,00	0,03	3,80	3,30	1,30	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1948	0,00	0,00	0,70	1,04	1,67	0,34	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	0,01	2,86	5,70	12,85	0,55	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1950	0,00	0,01	2,29	3,94	0,92	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1951	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	0,01	0,00	0,01	2,87	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1953	0,00	0,00	0,05	0,41	0,28	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	0,01	0,97	0,08	0,50	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1955	0,01	0,05	0,05	1,34	0,85	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1956	0,00	0,02	2,87	3,34	0,77	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1957	0,01	0,01	3,00	9,46	3,02	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,00	0,03	3,21	1,68	1,15	0,64	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	0,02	0,79	0,06	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1961	0,01	4,39	4,10	1,46	0,14	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1962	0,01	0,03	0,05	1,68	1,61	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1963	0,02	1,10	4,67	1,52	0,30	0,05	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02
1964	0,02	1,50	3,54	9,84	3,16	0,38	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
1965	0,01	0,01	0,63	7,15	3,43	2,81	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1966	0,00	0,00	0,01	0,03	1,36	0,67	0,46	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1967	0,00	4,55	4,42	4,10	1,28	0,25	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
1968	0,00	0,02	0,04	1,25	2,80	0,19	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1969	0,01	0,00	1,41	7,54	1,66	0,35	1,45	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1970	0,00	0,01	0,03	6,25	0,37	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1971	0,00	0,02	1,50	1,73	1,99	2,34	0,85	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1972	0,00	0,01	0,02	1,47	2,07	0,29	0,07	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00
1973	0,01	0,34	4,26	6,99	6,30	1,04	0,27	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1974	0,66	3,30	7,95	7,68	8,28	0,90	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1975	0,01	0,03	3,61	2,54	6,46	0,57	2,77	0,05	0,03	0,01	0,00	0,01
1976	0,00	1,77	5,79	0,73	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1977	0,01	0,05	3,95	2,66	1,76	1,64	1,24	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1978	0,00	0,02	0,05	0,43	1,45	0,05	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,01	0,52	0,07	1,94	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1980	0,00	0,01	1,72	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	0,00	0,01	0,63	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,02	1,59	0,71	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,01	0,02	0,55	3,80	2,49	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1985	0,02	3,58	5,81	5,52	3,20	0,66	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1986	0,02	1,23	3,62	4,41	1,10	0,60	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1987	0,00	0,01	1,51	0,41	0,06	0,05	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

1988	0,01	0,05	3,15	3,80	2,06	0,10	0,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1989	0,02	0,02	0,05	3,09	1,77	0,43	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00
1990	0,00	0,00	0,04	0,05	0,43	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	0,00	0,02	1,70	1,71	0,53	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1992	0,00	0,01	0,19	1,82	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,00	0,01	2,47	5,30	3,35	1,46	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1995	0,01	0,01	0,04	7,37	3,06	0,17	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1996	0,01	0,01	2,06	2,98	1,06	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Reservatório Gavião - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	5,48	17,44	1,33	7,98	2,33	0,34	0,32	0,29	0,20	0,11	0,07
1913	0,04	2,84	8,00	6,94	4,12	1,27	0,33	0,32	0,28	0,21	0,13	0,09
1914	0,06	1,74	2,69	5,59	4,59	3,50	0,33	0,32	0,30	0,23	0,14	0,08
1915	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,00	1,49	3,89	3,00	0,36	0,30	0,28	0,18	0,11	0,06	0,05
1917	4,28	11,22	14,69	10,15	10,96	1,07	0,32	0,30	0,20	0,12	0,07	0,05
1918	0,04	0,97	1,95	3,23	6,52	1,00	0,32	0,31	0,26	0,16	0,09	0,05
1919	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	3,50	5,18	3,21	2,16	0,32	0,32	0,26	0,18	0,10	0,07
1921	0,07	1,56	7,69	9,33	9,92	2,54	0,32	0,32	0,26	0,22	0,15	0,14
1922	0,11	0,08	0,08	3,75	5,95	3,33	1,48	0,33	0,31	0,22	0,12	0,09
1923	0,06	0,05	2,16	2,14	1,19	0,24	0,25	0,24	0,16	0,10	0,05	0,03
1924	0,02	2,25	7,60	8,48	13,39	3,22	0,32	0,31	0,21	0,13	0,10	0,06
1925	0,05	0,04	0,88	6,49	5,04	0,31	0,32	0,28	0,19	0,15	0,09	0,06
1926	0,04	0,03	2,50	6,77	3,06	0,31	0,32	0,25	0,14	0,09	0,05	0,03
1927	0,01	0,01	0,45	7,23	3,58	0,31	0,32	0,31	0,22	0,13	0,08	0,05
1928	0,04	0,03	0,03	3,68	1,60	0,20	0,20	0,18	0,11	0,07	0,04	0,02
1929	0,01	1,43	4,56	7,17	0,63	0,32	0,32	0,29	0,18	0,12	0,06	0,04
1930	0,02	0,02	0,01	1,60	0,07	0,07	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00
1931	0,00	1,00	2,50	1,50	0,26	0,20	0,20	0,15	0,09	0,06	0,03	0,01
1932	0,01	0,00	1,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00
1933	0,00	0,00	0,01	8,23	0,86	0,29	0,29	0,22	0,13	0,08	0,04	0,02
1934	0,02	0,32	6,70	4,79	7,51	0,60	0,32	0,29	0,18	0,11	0,06	0,04
1935	0,03	0,25	2,15	5,60	6,17	1,98	0,33	0,32	0,23	0,14	0,08	0,05
1936	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,00	0,73	5,11	3,60	3,08	0,32	0,32	0,24	0,16	0,09	0,06
1938	0,04	0,03	5,54	10,04	1,19	1,61	0,32	0,30	0,19	0,12	0,07	0,04
1939	0,03	5,12	2,70	4,66	3,90	0,48	0,32	0,31	0,23	0,16	0,12	0,08
1940	0,05	0,04	0,35	5,49	3,26	1,65	0,32	0,31	0,22	0,14	0,08	0,05
1941	0,03	0,02	0,02	0,46	0,15	0,06	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
1942	0,00	0,00	0,09	1,74	0,14	0,08	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00
1943	0,00	0,00	0,00	3,08	0,12	0,11	0,11	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01
1944	0,00	0,00	0,00	2,11	1,50	0,29	0,15	0,14	0,08	0,05	0,03	0,01

1945	0,01	4,48	1,98	8,78	6,54	0,37	1,12	0,32	0,25	0,16	0,09	0,06
1946	0,05	0,28	2,62	4,11	0,43	0,45	0,30	0,26	0,16	0,10	0,05	0,03
1947	0,02	0,01	2,64	2,54	3,07	0,30	0,31	0,30	0,21	0,13	0,07	0,06
1948	0,04	0,03	0,03	0,44	1,53	0,64	0,14	0,14	0,11	0,06	0,03	0,02
1949	0,01	0,00	3,71	5,09	10,42	0,85	0,33	4,26	0,31	0,28	0,17	0,12
1950	0,07	0,05	2,71	7,66	6,11	0,31	0,32	0,26	0,16	0,09	0,05	0,03
1951	0,02	0,01	0,00	0,18	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
1952	0,00	0,00	0,56	5,73	1,37	0,27	0,27	0,23	0,14	0,08	0,04	0,02
1953	0,01	0,00	0,20	1,38	0,62	0,26	0,11	0,10	0,06	0,04	0,02	0,01
1954	0,00	0,00	0,31	0,67	0,72	0,09	0,09	0,08	0,04	0,02	0,01	7,67
1955	0,10	0,09	0,52	2,82	1,95	0,28	0,29	0,23	0,14	0,08	0,04	0,03
1956	0,02	0,01	0,02	3,03	0,13	0,13	0,13	0,09	0,05	0,03	0,01	0,00
1957	0,00	0,00	3,09	5,32	0,70	0,30	0,30	0,23	0,14	0,08	0,04	0,02
1958	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,00	0,00	2,68	1,53	2,23	0,23	0,24	0,20	0,12	0,07	0,04	0,02
1960	0,01	0,00	2,62	1,82	0,17	0,16	0,16	0,12	0,07	0,04	0,02	0,01
1961	0,00	2,83	3,25	8,33	2,56	0,31	0,32	0,28	0,17	0,10	0,06	0,03
1962	0,02	0,02	5,82	5,71	2,20	1,18	0,32	0,31	0,21	0,13	0,08	0,05
1963	0,16	2,91	13,50	9,25	5,89	0,32	0,32	0,31	0,20	0,12	0,07	0,06
1964	2,98	4,10	11,13	15,36	7,56	1,24	0,99	0,32	0,29	0,22	0,13	0,08
1965	0,05	0,04	0,04	5,94	2,49	7,28	0,47	0,32	0,26	0,17	0,10	0,06
1966	0,03	0,02	0,02	0,01	0,24	1,70	0,09	0,10	0,07	0,04	0,02	0,01
1967	0,00	1,94	8,20	6,55	6,44	2,16	0,33	0,32	0,24	0,16	0,09	0,05
1968	0,03	0,03	0,14	2,79	4,60	0,29	0,29	0,27	0,17	0,11	0,06	0,03
1969	0,03	0,02	0,02	4,38	2,31	0,39	1,33	0,30	0,27	0,19	0,11	0,07
1970	0,04	0,03	0,38	3,44	0,19	0,18	0,18	0,15	0,09	0,05	0,03	0,02
1971	0,01	0,01	3,48	2,68	6,76	5,85	4,21	0,33	0,30	0,23	0,15	0,10
1972	0,06	0,04	0,04	0,96	2,82	1,10	0,21	0,21	0,19	0,13	0,07	0,04
1973	0,03	1,78	8,85	11,79	10,43	5,01	3,91	0,33	0,31	0,24	0,14	0,09
1974	3,36	2,77	11,87	24,46	13,83	5,43	0,33	0,32	0,26	0,18	0,11	0,08
1975	0,07	1,33	5,73	8,10	4,45	3,79	3,76	0,32	0,29	0,20	0,11	0,08
1976	0,07	1,94	3,49	7,05	0,33	0,31	0,31	0,24	0,15	0,10	0,07	0,05
1977	0,03	1,26	3,32	4,78	6,63	6,61	5,36	0,33	0,29	0,21	0,12	0,07
1978	0,04	0,03	0,03	1,93	1,80	0,17	0,18	0,18	0,16	0,11	0,06	0,04
1979	0,02	0,01	0,59	0,04	3,14	0,15	0,15	0,14	0,10	0,07	0,04	0,02
1980	0,01	1,44	2,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
1981	0,00	0,00	4,35	0,90	0,18	0,17	0,16	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
1982	0,00	0,00	1,15	1,59	1,09	0,16	0,17	0,14	0,08	0,05	0,03	0,01
1983	0,00	0,00	0,84	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,00	0,00	2,75	4,03	2,96	0,33	0,32	0,29	0,22	0,13	0,08
1985	0,06	5,17	7,34	13,16	8,09	1,50	3,74	0,32	0,29	0,19	0,11	0,07
1986	0,07	2,24	6,90	10,49	1,96	4,19	0,68	0,32	0,24	0,14	0,08	0,06
1987	0,05	0,03	6,26	0,89	0,24	1,65	0,28	0,27	0,20	0,13	0,07	0,04
1988	0,02	0,02	3,55	6,17	4,81	0,31	0,32	0,31	0,22	0,14	0,08	0,05
1989	0,04	0,04	0,13	5,61	1,93	4,53	2,21	0,32	0,31	0,25	0,15	0,10

1990	0,09	0,05	0,05	0,05	0,79	0,08	0,09	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01
1991	0,00	0,00	4,58	2,31	2,18	0,30	0,30	0,27	0,18	0,11	0,07	0,04
1992	0,02	0,07	2,51	1,78	0,17	0,23	0,17	0,16	0,10	0,07	0,04	0,02
1993	0,01	0,00	0,00	0,07	0,09	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
1994	0,00	0,00	2,44	6,61	6,77	10,52	0,56	0,32	0,28	0,18	0,11	0,06
1995	0,05	0,05	1,70	11,18	8,69	3,33	0,40	0,32	0,28	0,18	0,10	0,06
1996	0,04	1,43	5,44	8,30	5,37	0,57	0,32	0,30	0,21	0,13	0,07	0,04
Reservatório Orós - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,26	250,61	131,97	78,70	12,35	5,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1913	0,00	32,69	154,97	94,92	35,84	2,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68
1914	204,61	243,35	121,07	9,13	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,62
1916	0,76	0,00	157,15	21,05	21,34	5,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1917	252,94	355,94	578,44	135,81	132,49	104,23	31,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1918	0,00	0,00	0,09	53,96	111,25	18,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1919	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	289,55	393,78	87,82	47,61	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1921	7,40	124,70	243,35	115,50	31,72	25,67	7,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1922	0,00	6,15	6,62	362,00	101,46	20,22	4,92	2,91	0,00	0,00	0,00	3,77
1923	4,92	93,47	30,75	51,70	4,42	10,16	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1924	0,00	654,99	276,04	1457,68	222,77	26,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1925	105,21	107,75	237,30	311,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1926	0,00	175,55	760,32	269,98	36,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1927	0,00	9,93	57,02	15,01	4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1928	0,00	0,00	27,36	62,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,41
1929	0,00	33,17	86,69	30,99	9,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1930	0,00	0,00	117,41	16,88	15,93	5,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	6,38	48,91	29,90	15,62	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	4,89	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,00	0,00	3,51	329,01	42,49	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1934	30,39	41,89	485,49	123,49	59,69	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	83,37	145,68	287,09	245,83	66,58	9,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1936	0,00	15,55	3,79	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	31,36	34,14	67,31	4,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1938	0,00	0,00	48,19	4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1939	0,00	47,46	129,54	11,32	36,20	4,84	4,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1940	0,00	0,00	301,46	124,70	30,99	6,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1941	0,31	0,00	196,13	34,38	16,59	4,84	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	3,64	7,09	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1943	3,75	4,87	96,25	39,23	5,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,00	4,95	14,04	89,71	9,83	15,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,95
1945	77,48	248,19	27,12	17,45	186,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1946	11,74	16,22	19,25	32,46	4,84	4,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



1947	4,01	169,50	271,20	802,69	3,98	0,00	0,00	0,00	0,00	15,25	28,21	300,25
1948	0,00	0,00	236,09	31,24	23,40	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	4,15	27,12	91,53	8,91	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1950	0,21	0,78	21,91	543,60	61,99	5,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1951	0,00	0,00	0,00	35,72	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	9,16	10,79	5,29	24,58	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46
1953	0,00	0,00	5,41	39,83	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	2,85	16,10	11,27	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
1955	2,81	26,03	146,49	109,81	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1956	0,00	133,18	99,76	196,13	25,79	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	0,00	0,00
1957	0,00	12,71	94,43	278,46	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	8,74	24,58	50,36	15,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	725,08	237,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1961	0,00	46,13	112,72	93,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1962	0,00	6,63	54,48	55,69	11,27	2,98	0,87	0,56	0,55	0,62	0,64	0,00
1963	0,00	68,53	274,83	74,34	8,16	2,48	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	23,49
1964	19,98	37,53	191,29	394,69	159,81	118,15	18,35	14,29	10,22	7,45	0,00	0,00
1965	0,00	0,82	10,88	248,19	99,88	8,09	2,76	0,82	0,11	0,29	0,04	0,00
1966	0,00	128,33	12,47	10,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1967	0,00	23,97	63,08	314,78	136,81	10,16	2,18	0,42	0,12	0,05	0,04	0,05
1968	1,07	1,89	230,03	53,63	72,52	8,60	3,33	1,00	0,30	0,22	0,14	0,08
1969	22,64	10,67	131,97	165,87	36,08	11,16	1,71	0,42	0,18	0,11	0,06	0,05
1970	2,62	0,72	56,18	2,31	0,53	0,10	0,07	0,07	0,05	0,04	0,00	0,00
1971	2,77	16,10	8,55	26,51	12,83	0,70	0,14	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
1972	5,97	1,08	1,37	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1973	11,15	3,60	13,68	267,56	68,53	8,62	5,70	2,29	0,34	0,06	0,02	0,02
1974	19,49	205,82	650,14	1318,45	266,35	53,63	4,52	1,42	0,49	0,12	0,04	0,05
1975	1,99	5,00	191,29	70,10	66,95	14,17	9,48	2,71	1,10	0,53	0,39	0,48
1976	0,54	73,37	190,08	54,60	5,27	2,09	0,69	0,50	0,34	0,34	0,29	0,35
1977	3,12	24,58	140,44	177,97	86,32	12,11	4,01	1,38	0,58	0,33	0,24	0,17
1978	17,80	28,94	33,90	18,28	52,42	6,17	3,60	1,33	0,28	0,28	0,20	0,23
1979	6,01	3,05	5,71	3,51	27,97	1,09	0,05	0,02	0,13	0,00	0,00	0,00
1980	8,81	118,16	88,14	9,65	4,33	0,35	0,18	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,79	1,39	274,83	279,67	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
1982	0,37	5,68	8,61	36,68	6,32	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,00	0,09	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,00	11,82	232,45	33,05	5,16	0,71	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	16,10	255,46	349,89	1169,53	516,97	40,68	15,74	2,06	0,61	0,00	0,00	0,00
1986	0,00	0,00	182,81	372,89	190,08	43,58	7,26	4,24	1,21	1,82	0,73	1,21
1987	2,13	4,84	78,82	185,24	15,50	2,42	0,61	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	0,00	48,91	200,98	55,57	9,76	2,42	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1989	0,00	0,00	73,49	813,59	363,21	54,60	17,92	9,04	1,21	0,00	0,00	110,78
1990	38,26	10,57	48,43	47,94	19,37	4,23	1,99	0,61	0,01	0,00	0,00	0,00
1991	2,65	2,16	8,58	49,64	17,43	6,85	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

1992	0,00	40,20	28,33	43,46	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	2,32	22,03	43,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1994	0,00	0,00	0,09	0,19	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1995	0,19	0,09	97,12	314,02	51,97	21,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,38	61,55	128,13	5,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reservatório Pacajus - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	57,27	37,96	35,51	43,53	17,48	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1913	0,00	0,00	22,86	56,42	21,53	7,71	7,03	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00
1914	0,00	0,02	15,33	30,05	57,29	8,01	5,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,01	0,02	51,11	48,13	6,57	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1917	0,03	80,93	245,44	24,18	232,00	27,21	14,06	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1918	0,00	0,00	0,01	19,03	1,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1919	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	35,00	17,20	4,46	3,99	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1921	0,00	20,68	170,96	184,44	413,54	17,37	14,22	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1922	0,00	0,00	0,00	112,42	86,89	16,21	15,44	5,23	0,00	0,00	0,00	0,00
1923	0,00	13,47	11,79	42,88	6,45	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1924	3,07	34,89	168,49	353,55	82,47	17,73	12,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00
1925	0,00	0,00	34,46	123,37	14,76	10,30	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1926	0,00	0,00	126,88	124,86	88,99	16,19	4,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1927	0,00	0,00	0,03	28,19	36,93	4,86	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1928	0,00	0,00	0,00	0,03	42,84	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1929	0,00	0,00	44,60	52,39	8,62	4,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1930	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,00	0,00	4,29	0,57	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,00	0,00	0,38	163,99	15,06	6,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1934	0,00	0,00	75,75	27,25	100,96	16,57	7,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	0,01	16,35	69,35	48,55	11,70	10,53	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00
1936	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,00	0,06	64,55	60,27	31,71	10,18	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00
1938	0,00	0,00	67,60	108,80	21,38	14,88	4,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1939	0,00	46,12	64,89	9,35	8,95	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1940	0,00	0,00	21,61	135,57	191,57	39,44	20,81	10,21	0,03	0,00	0,00	0,00
1941	0,00	0,00	15,01	1,10	5,93	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1943	0,00	0,00	0,00	35,02	3,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,00	0,00	0,01	29,48	39,03	6,04	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1945	0,00	26,29	2,87	62,31	44,18	19,58	10,87	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00
1946	0,00	0,01	8,90	34,91	4,47	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1947	0,00	0,01	69,31	77,14	85,65	16,76	8,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1948	0,00	0,00	18,21	1,80	2,28	1,77	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



1994	0,00	0,00	17,55	55,21	55,00	81,72	29,58	6,34	0,00	0,00	0,00	0,00
1995	0,00	0,00	0,00	50,35	40,43	23,37	8,29	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,01	0,03	102,37	27,32	8,49	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reservatório Pacoti-Riachão - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	1,65	46,17	27,85	55,34	23,07	8,39	7,48	5,35	1,22	0,03	0,02
1913	0,01	12,80	70,77	70,73	23,94	10,33	8,77	7,87	6,36	2,85	0,12	0,04
1914	0,03	0,59	16,38	35,93	42,29	20,04	9,01	8,10	6,96	3,20	0,07	0,02
1915	0,01	0,02	0,01	0,06	0,14	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,04	11,74	20,81	19,79	6,91	6,46	5,64	1,76	0,03	0,02	0,01
1917	24,87	36,55	86,81	52,16	123,11	14,74	8,60	7,60	3,79	0,36	0,02	0,02
1918	0,01	0,32	18,16	39,85	45,15	18,25	8,40	7,46	3,96	0,28	0,03	0,02
1919	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	18,38	23,71	24,13	12,50	8,52	7,60	4,48	0,49	0,03	0,02
1921	0,04	0,33	73,57	84,99	100,28	13,17	8,25	7,41	5,82	2,66	0,05	0,05
1922	0,03	0,02	0,04	35,15	49,15	18,47	8,92	8,02	6,71	2,44	0,03	0,03
1923	0,02	0,03	2,42	22,30	4,55	3,98	3,79	3,17	0,38	0,02	0,01	0,01
1924	0,01	5,16	73,37	93,99	79,13	41,19	12,39	8,05	4,58	0,52	0,02	0,02
1925	0,01	0,06	14,59	42,38	35,31	8,16	7,55	5,31	1,04	0,03	0,02	0,01
1926	0,01	0,01	27,63	41,64	26,52	8,44	7,81	5,72	1,02	0,03	0,01	0,01
1927	0,00	0,01	0,53	42,45	26,10	7,25	6,82	6,07	2,56	0,04	0,02	0,01
1928	0,01	0,00	0,04	10,79	8,36	3,89	3,68	2,35	0,03	0,01	0,01	0,00
1929	0,00	0,03	25,30	28,79	13,03	8,31	7,73	6,67	2,45	0,03	0,02	0,01
1930	0,01	0,02	0,01	0,50	0,29	0,46	0,60	0,42	0,01	0,01	0,00	0,00
1931	0,00	0,03	9,93	12,41	4,37	3,93	3,70	2,14	0,02	0,01	0,00	0,00
1932	0,00	0,00	0,39	0,24	0,34	0,29	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,01	0,07	0,18	56,27	10,21	6,74	6,23	3,40	0,12	0,02	0,01	0,00
1934	0,01	0,33	75,18	46,78	57,85	8,82	8,30	6,86	2,25	0,03	0,02	0,01
1935	0,01	0,03	11,30	46,04	50,65	14,58	8,85	7,90	4,66	0,55	0,02	0,01
1936	0,01	0,01	0,10	0,18	0,22	0,29	0,39	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,02	6,23	52,11	27,42	26,00	8,55	7,62	4,30	0,47	0,02	0,01
1938	0,01	0,01	36,77	83,71	14,15	8,79	8,22	7,01	2,52	0,03	0,02	0,01
1939	0,01	27,75	33,73	25,58	27,82	8,20	7,61	6,57	2,90	0,11	0,03	0,02
1940	0,02	0,04	0,64	53,21	36,62	10,47	8,42	7,45	3,59	0,18	0,02	0,01
1941	0,01	0,01	0,06	0,13	0,30	0,41	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,01	0,06	9,75	2,41	2,23	2,16	0,86	0,01	0,01	0,00	0,00
1943	0,00	0,00	0,02	10,50	2,58	2,41	2,34	1,58	0,01	0,01	0,00	0,00
1944	0,00	0,00	0,01	7,73	14,58	4,63	4,38	3,65	0,47	0,01	0,01	0,00
1945	0,00	24,07	18,68	72,24	62,88	9,15	14,01	8,12	5,12	0,69	0,03	0,02
1946	0,04	0,13	23,88	31,64	9,02	7,93	7,43	6,23	1,81	0,02	0,01	0,01
1947	0,00	0,00	0,80	0,82	1,04	0,19	0,09	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02
1948	0,01	0,01	0,03	0,17	0,78	1,32	1,24	1,04	0,02	0,01	0,01	0,00
1949	0,00	0,01	30,35	48,45	90,80	11,88	8,27	9,95	6,37	3,30	0,07	0,03
1950	0,02	0,01	5,01	46,32	15,77	8,16	7,52	4,59	0,44	0,03	0,01	0,01

1951	0,00	0,00	0,00	0,06	0,14	0,20	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	0,00	0,00	0,35	45,87	16,72	5,14	4,76	1,88	0,04	0,02	0,01	0,01
1953	0,00	0,00	0,07	3,00	3,75	1,48	1,50	0,75	0,01	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	0,01	0,16	6,11	10,25	2,88	2,76	1,29	0,00	0,00	0,00	16,90
1955	0,81	0,78	0,93	10,66	18,38	6,23	5,82	4,43	0,58	0,02	0,01	0,01
1956	0,01	0,02	1,91	34,16	4,08	3,67	3,45	1,61	0,01	0,01	0,00	0,00
1957	0,00	0,01	12,78	44,68	15,19	8,11	7,51	5,67	1,12	0,02	0,01	0,00
1958	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,00	0,06	20,77	7,85	17,03	5,45	5,14	4,38	0,90	0,01	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	12,12	12,29	4,44	3,96	3,70	1,60	0,01	0,01	0,00	0,00
1961	0,00	16,59	25,34	58,02	16,17	8,50	7,88	6,59	2,10	0,03	0,01	0,01
1962	0,01	6,38	28,91	21,66	11,85	7,09	6,60	5,07	0,90	0,03	0,02	0,01
1963	0,02	3,56	68,24	41,20	24,91	8,08	7,47	5,26	0,76	0,03	0,02	0,02
1964	9,35	49,59	61,10	111,62	43,77	9,07	8,20	7,36	5,81	1,69	0,03	0,02
1965	0,01	0,01	0,02	37,87	23,10	52,94	17,82	8,31	5,97	1,56	0,03	0,02
1966	0,01	0,01	0,01	0,06	0,19	0,43	0,56	0,64	0,19	0,01	0,00	0,00
1967	0,00	0,16	29,32	60,11	51,23	14,39	8,51	7,61	5,33	1,05	0,02	0,01
1968	0,01	0,01	1,56	20,89	33,57	8,72	8,09	6,72	2,03	0,03	0,02	0,01
1969	0,01	0,00	0,05	44,68	11,14	7,15	8,19	7,09	6,03	2,70	0,03	0,01
1970	0,01	0,03	0,44	16,91	5,62	4,53	4,26	3,24	0,31	0,02	0,01	0,01
1971	0,01	0,03	0,13	15,82	21,29	31,36	24,84	9,94	7,84	5,51	1,16	0,03
1972	0,02	0,01	0,03	0,08	2,60	1,11	1,16	1,21	0,82	0,02	0,01	0,00
1973	0,00	0,33	22,35	67,03	47,08	41,26	9,32	8,10	6,94	3,24	0,07	0,02
1974	19,19	16,98	85,30	139,81	85,05	16,56	8,80	7,87	6,06	1,93	0,03	0,02
1975	0,02	0,04	16,84	25,24	68,48	12,66	17,29	8,63	7,31	3,31	0,07	0,04
1976	0,02	0,33	10,41	29,92	7,53	6,59	6,10	4,34	0,58	0,03	0,02	0,01
1977	0,01	0,15	29,19	20,58	39,97	48,77	35,40	8,64	7,34	3,50	0,11	0,02
1978	0,01	0,02	0,12	8,73	29,50	5,16	4,85	4,42	3,21	0,20	0,02	0,01
1979	0,01	0,01	0,43	3,54	17,70	4,53	4,27	3,56	1,22	0,03	0,01	0,01
1980	0,01	28,12	27,19	3,97	3,78	3,35	3,08	0,64	0,02	0,01	0,01	0,00
1981	0,00	0,00	20,31	4,96	3,21	2,89	2,44	0,17	0,01	0,01	0,00	0,00
1982	0,01	0,02	0,10	3,73	16,17	3,48	3,34	2,82	0,32	0,01	0,01	0,00
1983	0,00	0,02	0,15	0,32	0,51	0,61	0,62	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,01	4,41	33,94	57,49	28,20	8,80	7,91	6,83	4,48	0,49	0,03
1985	0,02	27,05	78,65	94,08	65,18	27,50	31,86	8,59	7,35	3,57	0,11	0,03
1986	0,07	0,40	47,98	89,10	37,70	26,11	14,34	8,15	6,39	2,25	0,03	0,03
1987	0,04	0,02	3,56	7,03	3,25	10,97	3,70	3,42	2,48	0,13	0,02	0,01
1988	0,01	0,07	0,46	36,83	42,39	8,60	8,30	7,46	6,13	2,14	0,03	0,02
1989	0,05	0,04	0,02	3,88	15,76	21,12	18,74	8,36	7,21	4,13	0,32	0,02
1990	0,04	0,01	0,03	0,05	0,69	0,38	0,53	0,58	0,11	0,01	0,01	0,00
1991	0,00	0,02	9,92	19,30	13,18	7,21	6,69	5,72	1,84	0,03	0,02	0,01
1992	0,00	0,02	0,16	18,44	2,58	2,38	2,27	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,02	0,49	0,27	0,23	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
1994	0,00	0,01	14,37	36,80	47,22	65,00	13,77	8,13	6,30	1,85	0,03	0,02
1995	0,04	0,02	0,38	44,48	43,20	17,41	8,44	7,47	5,82	1,47	0,03	0,02

1996	0,02	0,13	33,64	49,10	36,66	8,36	7,76	6,82	3,17	0,13	0,02	0,01
Reservatório Sítios Novos - Totais Mensais (m³/s)												
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1912	0,00	0,59	16,44	9,91	19,70	8,21	2,99	2,66	1,90	0,43	0,01	0,01
1913	0,00	4,56	25,19	25,18	8,52	3,68	3,12	2,80	2,26	1,01	0,04	0,01
1914	0,01	0,21	5,83	12,79	15,05	7,13	3,21	2,88	2,48	1,14	0,02	0,01
1915	0,01	0,01	0,00	0,02	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1916	0,00	0,01	4,18	7,41	7,04	2,46	2,30	2,01	0,62	0,01	0,01	0,01
1917	8,85	13,01	30,90	18,56	43,82	5,25	3,06	2,70	1,35	0,13	0,01	0,01
1918	0,01	0,11	6,46	14,19	16,07	6,50	2,99	2,66	1,41	0,10	0,01	0,01
1919	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	6,54	8,44	8,59	4,45	3,03	2,71	1,60	0,17	0,01	0,01
1921	0,02	0,12	26,19	30,25	35,70	4,69	2,94	2,64	2,07	0,95	0,02	0,02
1922	0,02	0,02	0,05	30,94	19,13	2,03	0,23	0,16	0,07	0,02	0,00	0,01
1923	0,01	0,80	5,13	6,94	2,96	0,16	0,10	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
1924	1,55	17,26	27,97	37,08	32,31	8,69	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,01
1925	0,04	0,11	3,40	23,83	10,74	0,20	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1926	0,00	0,05	7,87	20,20	3,84	0,19	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
1927	0,01	0,07	0,21	30,17	5,62	1,55	0,21	0,12	0,05	0,02	0,00	0,02
1928	0,02	0,03	0,12	6,62	2,40	0,14	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1929	0,00	0,06	20,69	19,60	3,82	0,22	0,15	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00
1930	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,00	0,08	10,02	3,97	0,66	0,16	0,11	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,01	0,09	0,11	0,09	0,06	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1933	0,03	0,15	4,48	38,73	2,76	0,18	0,11	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
1934	0,08	10,67	54,93	25,12	9,67	1,70	0,14	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	0,05	9,42	25,99	14,56	5,95	0,74	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00
1936	0,01	0,02	0,09	0,06	0,16	0,32	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
1937	0,00	0,03	2,12	17,61	15,19	2,10	0,20	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00
1938	0,03	0,05	16,76	24,67	7,34	0,36	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
1939	0,01	16,33	27,39	18,85	4,20	0,29	0,15	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1940	0,00	0,07	10,88	33,64	5,60	0,21	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
1941	0,00	0,00	0,10	0,56	3,56	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,05	0,79	5,81	0,90	0,18	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1943	0,00	0,02	0,95	16,66	0,22	0,15	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01
1944	0,04	0,03	0,05	1,70	10,77	0,77	0,14	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00
1945	0,02	7,38	14,76	28,29	19,29	3,04	1,39	0,10	0,04	0,01	0,00	0,03
1946	0,11	0,11	18,14	22,90	4,82	3,15	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00
1947	0,01	0,10	12,93	11,25	4,43	0,20	0,14	0,06	0,02	0,00	0,00	0,01
1948	0,00	0,01	2,38	3,55	5,68	1,17	0,15	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	0,02	9,74	19,40	43,74	1,88	0,17	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
1950	0,00	0,04	7,80	13,42	3,12	0,16	0,08	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1951	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	0,02	0,02	0,05	9,78	0,24	0,14	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

1953	0,00	0,01	0,18	1,40	0,96	0,16	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	0,04	3,31	0,26	1,71	0,19	0,13	0,06	0,02	0,00	0,00	0,01
1955	0,03	0,17	0,15	4,56	2,90	0,20	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00
1956	0,00	0,08	9,78	11,36	2,63	0,18	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1957	0,02	0,04	10,20	32,21	10,28	0,21	0,14	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	0,01	0,06	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,01	0,12	10,91	5,73	3,91	2,19	0,17	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	0,07	2,67	0,20	0,13	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1961	0,03	14,93	13,96	4,98	0,47	0,19	0,11	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1962	0,01	2,95	7,18	3,00	0,25	0,21	0,14	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00
1963	0,03	0,11	18,78	7,13	0,23	0,15	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1964	0,04	0,14	8,04	37,21	7,75	0,22	0,18	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1965	0,02	0,02	0,04	7,29	1,98	0,22	0,20	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1966	0,00	0,01	0,03	0,09	0,15	0,17	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1967	0,00	5,36	7,34	13,34	11,99	0,24	0,14	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00
1968	0,00	0,02	0,79	4,40	7,78	0,21	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1969	0,00	0,01	0,09	19,45	3,16	0,18	0,18	0,13	0,06	0,02	0,00	0,00
1970	0,03	0,10	0,16	9,15	1,59	0,16	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1971	0,01	0,04	2,34	10,45	7,25	2,76	0,20	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00
1972	0,00	0,00	0,02	0,05	0,16	0,15	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
1973	0,02	0,04	11,23	24,23	10,39	3,50	0,45	0,15	0,06	0,02	0,00	0,00
1974	0,06	4,49	20,88	27,22	17,97	0,49	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,03
1975	0,06	0,06	1,14	5,77	4,08	0,23	0,21	0,13	0,06	0,02	0,00	0,04
1976	0,08	0,13	7,31	8,29	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1977	0,02	0,14	4,53	9,98	4,73	3,66	3,36	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00
1978	0,00	0,07	0,80	6,97	6,07	0,18	0,15	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1979	0,01	0,01	0,09	0,09	0,17	0,16	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1980	0,03	0,07	6,26	0,17	0,12	0,10	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	0,01	0,04	2,79	0,18	0,11	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
1982	0,03	0,04	0,15	1,10	2,51	0,19	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,03	0,09	0,11	0,08	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,01	0,03	0,06	10,20	10,09	1,28	0,14	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
1985	0,02	4,55	13,64	21,16	6,55	1,36	0,23	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00
1986	0,03	2,71	25,08	15,64	2,30	2,22	0,84	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00
1987	0,00	0,01	1,68	1,52	0,21	0,16	0,16	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
1988	0,00	0,03	0,13	14,57	7,95	0,20	0,17	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00
1989	0,00	0,01	0,04	7,22	6,88	1,67	0,21	0,15	0,06	0,02	0,00	0,01
1990	0,02	0,01	0,11	0,12	0,54	0,17	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
1991	0,00	0,02	0,11	7,06	2,89	0,20	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
1992	0,00	0,05	0,17	5,01	0,21	0,15	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,03	0,11	0,12	0,07	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1994	0,02	0,06	3,62	18,31	11,07	8,17	0,85	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00
1995	0,02	0,04	0,14	27,07	9,64	0,70	0,19	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00
1996	0,02	0,05	5,69	14,25	2,38	0,20	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00

## APÊNDICE B

### Algoritmo para calculo das previsões

O algoritmo a seguir foi aplicado para cada reservatório.

```

%% Transformacoes das vazoes mensais em anuais
seq1=1:12:(length(INFLaracoiaba));
seq2=1:(length(INFLaracoiaba)/12);
for j=1:(length(INFLaracoiaba)/12);
varacoiaba(j)= sum(INFLaracoiaba(seq1(j):seq2(j)*12));
end

%% Normalização das Vazões
varacoiabapad=(varacoiaba(1,:).^alfa)-
mean(varacoiaba.^alfa))/std(varacoiaba.^alfa);

%% Vazoes padronizadas dos reservatorios (1948:1993)
mvazoes=[varacoiabapad' vpacajuspad' vpacriapad' vgaviaopad' vcauhipepad'
vsitiosnovospad' vacarapepad' vorospad' vbanabuiupad' vcastanhaopad'];

%% Normalizacao dos preditores
for z=1:length(pred(:,1));
predict(z,:)=(pred(z,:).^alfa)-mean(pred.^alfa)./(std(pred.^alfa));
end

```

- Aplicando a regressão linear.

```

%% Regressao
inicio=1948;
N=46;
fim=inicio+N-1;

Simular1=1984; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular2=1985; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular3=1986; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
%% Escolha 4 Vazoes minimas de retiradas
QMINCASTANHAO=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera
QMINBANABUIU=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera

%% Normalização dos Dados - Definicao de parametros
alfa=1/3; %valores padroes 1, 1/2, 1/3, 1/4;

%% Calculo da componente principal
[pc,score,latent,tsquare] = princomp(mvazoes);
clc;
PC1=[score(1:N)'];

%% Regressao Linear

```



```

coef=regress(PC1(2:N),predit)';
rpredit=predit;
clc;
Nanos=length(mvzoes(:,1))-1;

%% Calcular K-Vizinhos
for j=1:Nanos;
    valor=rpredit(j,:);
    for i=1:Nanos;
        dif= rpredit(i,:)-valor;
        peso=coef.*dif;
        valor2 (i)=sqrt(peso*peso');
    end
    [Valsort,classif]= sort(valor2);
    AnoClass(j,:)=classif+inicio-1;
    Valordis(j,:)=Valsort;
    Valorsort(j,:)=classif+1;
end
%% Escolher quantos anos mais próximos trabalhar
Nprox=15; %N anos proximos
for i=1:Nanos;
    for j=1:Nprox;
kvizinhos(i,j)=Valorsort(i,j);
    end;
end;

```

- Aplicando a regressão *pool*.

```

%% Regressao
inicio=1948;
N=46;
fim=inicio+N-1;

Simular1=1984; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular2=1985; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular3=1986; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
%% Escolha 4 Vazoes minimas de retiradas
QMINCASTANHAO=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera
QMINBANABUIU=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera

%% Normalização dos Dados - Definicão de parametros
alfa=1/3; %valores padroes 1, 1/2, 1/3, 1/4;
rpredit=predit;
clc;
%% Regressao pool
coef01=regress(varacoiabapad(2:N)',predit)';
coef02=regress(vpacajuspad(2:N)',predit)';
coef03=regress(vpacriapad(2:N)',predit)';
coef04=regress(vgaviaopad(2:N)',predit)';
coef05=regress(vcauhipepad(2:N)',predit)';

```

```

coef06=regress(vsitiosnovospad(2:N)',predit)';
coef07=regress(vacarapepad(2:N)',predit)';
coef08=regress(vorospad(2:N)',predit)';
coef09=regress(vbanabuiupad(2:N)',predit)';
coef10=regress(vcastanhaopad(2:N)',predit)';

A=[coef01; coef02; coef03; coef04; coef05; coef06; coef07; coef08; coef09;
coef10];
coef=mean(A);

Nanos=length(mvzoes(:,1))-1;
%% Calcular K-Vizinhos
for j=1:Nanos;
    valor=rpredit(j,:);
    for i=1:Nanos;
        dif= rpredit(i,:)-valor;
        peso=coef.*dif;
        valor2 (i)=sqrt(peso*peso');
    end
    [Valsort,classif]= sort(valor2);
    AnoClass(j,:)=classif+inicio-1;
    Valordis(j,:)=Valsort;
    Valorsort(j,:)=classif+1;
end

%% Escolher quantos anos mais próximos trabalhar
Nprox=15; %N anos proximos
for i=1:Nanos;
    for j=1:Nprox;
        kvizinhos(i,j)=Valorsort(i,j);
    end;
end;
Anos=(inicio+1):(inicio+Nanos);

```

- Aplicando a regressão *stepwise*.

```

%% Regressao
inicio=1948;
N=46;
fim=inicio+N-1;

Simular1=1984; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular2=1985; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
Simular3=1986; %Escolha do ano a Simular para realização do calculo do
volume de espera
%% Escolha 4 Vazoes minimas de retiradas
QMINCASTANHAO=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera
QMINBANABUIU=[200 300 400 500]; % EM M3/S -- Valor minimo de retirada do
reservatório para calculo do volume de espera

%% Normalização dos Dados - Definicao de parametros
alfa=1/3; %valores padroes 1, 1/2, 1/3, 1/4;

%% Calculo da componente principal
[pc,score,latent,tsquare] = princomp(mvzoes);

```

```

clc;
PC1=[score(1:N)'];
%% Regressao Stepwise
[b,se,pval,inmodel,stats,nextstep,history]=stepwisefit(predit,PC1(2:N));
clc;
%Coeficientes
coef=b'.*inmodel;
for i=1:length(predit(:,1));
    for j=1:length(predit(1,:));
        rpredit(i,j)=predit(i,j)*inmodel(j);
    end
end

Nanos=length(mvazoes(:,1))-1;
%% Calcular K-Vizinhos
for j=1:Nanos;
    valor=rpredit(j,:);
    for i=1:Nanos;
        dif= rpredit(i,:)-valor;
        peso=coef.*dif;
        valor2 (i)=sqrt(peso*peso');
    end
    [Valsort,classif]= sort(valor2);
    AnoClass(j,:)=classif+inicio-1;
    Valordis(j,:)=Valsort;
    Valorsort(j,:)=classif+1;
end ;
%% Escolher quantos anos mais próximos trabalhar
Nprox=15; %N anos proximos
for i=1:Nanos;
    for j=1:Nprox;
        kvizinhos(i,j)=Valorsort(i,j);
    end;
end;

Anos=(inicio+1):(inicio+Nanos);

```

- Cálculo das previsões.

```

%% PREVISÃO DE VAZÕES %%
%Vazoes Vizinhas acarape
for i=1:Nanos;
    for j=1:Nprox;
        VazVizacarape(i,j)=vacarape(kvizinhos(i,j));
    end
end

Quartisacarape = quantile(VazVizacarape',[.25 .50 .75]); %Calculo dos
Quartis
for j=1:Nanos;
    Quartis2acarape(:,j) = quantile(vacarape,[.25 .50 .75])';
end

%Calculo do Verossimilhanca VazoesPrevistas X Vazao Observada >>> Avaliacao
de desempenho

% Avaliacao do desempenho Funcao Kernel
for i=1:(length(vacarape)-1);

```

```

Likeacarape(i)=ksdensity(vacarape(2:length(vacarape)),vacarape(i+1));
LikeCacarape(i)=ksdensity(VazVizacarape(i,:),vacarape(i));
end

Lacarape=prod(Likeacarape);
LCacarape=prod(LikeCacarape);
Racarape=LCacarape/Lacarape;
Gacarape=Racarape^(1/(length(vacarape)-1));

%%Avaliacao do desempenho Funcao Gama
phat2=gamfit(vacarape(:));
for i=1:length(VazVizacarape(:,1));
    phat1 = gamfit(VazVizacarape(i,:));
    Like1(i)= gampdf(vacarape(i+1),phat1(1),phat1(2));
    Like2(i)= gampdf(vacarape(i+1),phat2(1),phat2(2));
end

Lacarape2=prod(Like2);
LCacarape2=prod(Like1);
Racarape2=LCacarape2/Lacarape2;
Gacarape2=Racarape2^(1/(length(vacarape)-1));

clc;
clc;

%% Transformacao dos dados para utilizar o gráfico de áreas
NQuartis=zeros(Nanos,length(Quartisacarape(:,1)));
AQ=Quartisacarape';
for i=1:Nanos;
    for j=1
        NQuartis(i,j)=AQ(i,j);
        for j=2:length(Quartisacarape(:,1));
            NQuartis(i,j)=AQ(i,j)-AQ(i,(j-1));
        end
    end
end
end
%%
%% Graficos DE PREVISÃO acarape >>> plotar gráficos
figure;
subplot(3,1,1);
area(Anos,NQuartis);
hold on;
bar(Anos,vacarape(2:length(vacarape)),'c');
plot(Anos,Quartis2acarape(1,:),'k*-',Anos,Quartis2acarape(2,:),'m*-
',Anos,Quartis2acarape(3,:),'y*-')
title('Gráfico das Vazões do acarape');
xlabel('Anos');
ylabel('m3/s');
legend('Previsão 25%','Previsão 50%','Previsão 75%','Vaz.Obs.','Marginal
25%','Marginal 50%','Marginal 75%');
grid on;
W=Anos(1);
Z=Anos(length(Anos));
set(gca,'Xtick',W:5:Z);
hold off;
subplot(3,1,2);
bar(Anos,LikeCacarape);
title('Verossimilhanca acarape');
xlabel('Anos');
grid;

```

```

subplot(3,1,3);
bar(Anos,Likel);
title('Avalicao de Desempenho Funcao Gama acarape');
xlabel('Anos');
grid on;

%% Anos que serão simulados
KNNserie = zeros(3,Nprox); %Sera formada uma matriz de 3 linhas onde cada
linha e um ano simulado

for i=(Simular1-inicio+1)
    for j=2:(Nprox+1);
        KNNserie(1,j-1)=AnoClass(i,j)-inicio+1;
    end
end
for i=(Simular2-inicio+1)
    for j=2:(Nprox+1);
        KNNserie(2,j-1)=AnoClass(i,j)-inicio+1;
    end
end
for i=(Simular3-inicio+1)
    for j=2:(Nprox+1);
        KNNserie(3,j-1)=AnoClass(i,j)-inicio+1;
    end
end

%% Operação de Reservatórios Volumes Finais

horizonte=24; % horizonte de simulação
for i=1:Nprox;
    for j=1:horizonte;
        vsimuladasacarapeA(i,j)=simuacarape(KNNserie(1,i),j);
        vsimuladasacarapeB(i,j)=simuacarape(KNNserie(2,i),j);
        vsimuladasacarapeC(i,j)=simuacarape(KNNserie(3,i),j);
        vsimuladasacarapeD(i,j)=simuacarape2(KNNserie(1,i),j);
        vsimuladasacarapeE(i,j)=simuacarape2(KNNserie(2,i),j);
        vsimuladasacarapeF(i,j)=simuacarape2(KNNserie(3,i),j);
    end
end
Meses=1:24;
%Analise estatistica os dados
QuartissimuladosacarapeA = quantile(vsimuladasacarapeA,[0 .25 .50 .75 1]);
QuartissimuladosacarapeB = quantile(vsimuladasacarapeB,[0 .25 .50 .75 1]);
QuartissimuladosacarapeC = quantile(vsimuladasacarapeC,[0 .25 .50 .75 1]);
QuartissimuladosacarapeD = quantile(vsimuladasacarapeD,[0 .25 .50 .75 1]);
QuartissimuladosacarapeE = quantile(vsimuladasacarapeE,[0 .25 .50 .75 1]);
QuartissimuladosacarapeF = quantile(vsimuladasacarapeF,[0 .25 .50 .75 1]);

%Selecao dos meses para curva de permanencia
Vacarape20092010A=sort([vsimuladasacarapeA(:,6) vsimuladasacarapeA(:,11)
vsimuladasacarapeA(:,18) vsimuladasacarapeA(:,23)],1,'descend');
Vacarape20092010B=sort([vsimuladasacarapeB(:,6) vsimuladasacarapeB(:,11)
vsimuladasacarapeB(:,18) vsimuladasacarapeB(:,23)],1,'descend');
Vacarape20092010C=sort([vsimuladasacarapeC(:,6) vsimuladasacarapeC(:,11)
vsimuladasacarapeC(:,18) vsimuladasacarapeC(:,23)],1,'descend');
Vacarape20102011D=sort([vsimuladasacarapeD(:,5) vsimuladasacarapeD(:,12)
vsimuladasacarapeD(:,17) vsimuladasacarapeD(:,24)],1,'descend');
Vacarape20102011E=sort([vsimuladasacarapeE(:,5) vsimuladasacarapeE(:,12)
vsimuladasacarapeE(:,17) vsimuladasacarapeE(:,24)],1,'descend');

```

```

Vacarape20102011F=sort([vsimuladasacarapeF(:,5) vsimuladasacarapeF(:,12)
vsimuladasacarapeF(:,17) vsimuladasacarapeF(:,24)],1,'descend');

for i=1:Nprox
    ww(i)=i/(Nprox);
end
%PLOTANDO GRAFICO 3X2 COM GRAFICOS DE PREVISAO E CURVA DE PERMANENCIA PARA
%OS 3 ANOS SIMULADOS
figure;
subplot(3,2,1);
hold on;
plot(Meses,QuartissimuladosacarapeA(2,:), 'k*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeA(3,:), 'm*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeA(4,:), 'y*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeA(5,:), 'r*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeA(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d', 'Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular1 ));
xlabel('Meses de Jul/2009 a Junho/2011');
ylabel('hm3');
legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,2);
hold on;
plot(ww,Vacarape20092010A(:,1), 'k*-', ww,Vacarape20092010A(:,2), 'm*-
', ww,Vacarape20092010A(:,3), 'y*-', ww,Vacarape20092010A(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d', 'Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular1 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,3);
hold on;
plot(Meses,QuartissimuladosacarapeB(2,:), 'k*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeB(3,:), 'm*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeB(4,:), 'y*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeB(5,:), 'r*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeB(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d', 'Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular2 ));
xlabel('Meses de Jul/2009 a Junho/2011');
ylabel('hm3');
legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,4);
hold on;
plot(ww,Vacarape20092010B(:,1), 'k*-', ww,Vacarape20092010B(:,2), 'm*-
', ww,Vacarape20092010B(:,3), 'y*-', ww,Vacarape20092010B(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d', 'Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular2 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,5);
hold on;

```

```

plot(Meses,QuartissimuladosacarapeC(2,:), 'k*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeC(3,:), 'm*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeC(4,:), 'y*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeC(5,:), 'r*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeC(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d','Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular3 ));
xlabel('Meses de Jul/2009 a Junho/2011');
ylabel('hm3');
legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,6);
hold on;
plot(ww,Vacarape20092010C(:,1), 'k*-',ww,Vacarape20092010C(:,2), 'm*-
',ww,Vacarape20092010C(:,3), 'y*-',ww,Vacarape20092010C(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d','Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em
junho/2009 Ano Simulado: ', Simular3 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;

figure;
subplot(3,2,1);
hold on;
plot(Meses,QuartissimuladosacarapeD(2,:), 'k*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeD(3,:), 'm*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeD(4,:), 'y*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeD(5,:), 'r*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeD(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d','Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
Jan/2010 Ano Simulado: ', Simular1 ));
xlabel('Meses de Jan/2010 a Dezembro/2011');
ylabel('hm3');
legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,2);
hold on;
plot(ww,Vacarape20102011D(:,1), 'k*-',ww,Vacarape20102011D(:,2), 'm*-
',ww,Vacarape20102011D(:,3), 'y*-',ww,Vacarape20102011D(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d','Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em Jan/2010
Ano Simulado: ', Simular1 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,3);
hold on;
plot(Meses,QuartissimuladosacarapeE(2,:), 'k*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeE(3,:), 'm*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeE(4,:), 'y*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeE(5,:), 'r*-
',Meses,QuartissimuladosacarapeE(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d','Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
Jan/2010 Ano Simulado: ', Simular2 ));
xlabel('Meses de Jan/2010 a Dezembro/2011');
ylabel('hm3');

```

```

legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,4);
hold on;
plot(ww,Vacarape20102011E(:,1), 'k*-', ww,Vacarape20102011E(:,2), 'm*-
', ww,Vacarape20102011E(:,3), 'y*-', ww,Vacarape20102011E(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d', 'Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em Jan/2010
Ano Simulado: ', Simular2 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,5);
hold on
plot(Meses,QuartissimuladosacarapeF(2,:), 'k*-
', Meses,QuartissimuladosacarapeF(3,:), 'm*-
', Meses,QuartissimuladosacarapeF(4,:), 'y*-
', Meses,QuartissimuladosacarapeF(5,:), 'r*-
', Meses,QuartissimuladosacarapeF(1,:), 'b*-');
title(sprintf('%s %d', 'Gráfico das Vazões Finais com Vinicial=Volume em
Jan/2010 Ano Simulado: ', Simular3 ));
xlabel('Meses de Jan/2010 a Dezembro/2011');
ylabel('hm3');
legend('Previsão 25%', 'Previsão 50%', 'Previsão 75%', 'Máximo', 'Mínimo');
grid on;
hold off;
subplot(3,2,6);
hold on;
plot(ww,Vacarape20102011F(:,1), 'k*-', ww,Vacarape20102011F(:,2), 'm*-
', ww,Vacarape20102011F(:,3), 'y*-', ww,Vacarape20102011F(:,4), 'r*-');
title(sprintf('%s %d', 'Curva de Permanencia com Vinicial=Volume em Jan/2010
Ano Simulado: ', Simular2 ));
xlabel('%');
ylabel('hm3');
legend('Dezembro/2009', 'Maio/2010', 'Dez/2010', 'Maio/2011');
grid on;
hold off;

```



## APÊNDICE C

### Banco de dados preditores climáticos(Sistema Jaguaribe-Metropolitano e nordeste brasileiro)

Anos	Geo1	Geo2	Geo3	Geo4	Geonino34	VM1	VMnino34	SST1	SST2	SST3	SSTnino34
1948	-0,16	1,36	0,72	1,00	-0,22	0,79	0,34	0,66	0,01	-1,14	0,17
1949	-0,25	-0,05	0,31	-0,70	-0,66	0,37	1,29	-0,63	-0,83	-0,21	-0,84
1950	0,43	-0,83	0,69	-0,46	-1,58	1,21	2,03	-2,29	-0,16	-1,08	-2,03
1951	-2,60	0,33	-1,44	0,52	-0,70	0,75	1,05	-1,35	0,65	-0,87	-0,47
1952	-0,14	0,82	1,14	0,80	-0,83	1,14	0,40	0,19	0,13	-0,15	0,05
1953	0,06	1,42	1,00	1,98	-0,42	1,14	-0,17	0,45	0,34	-0,53	0,43
1954	-0,81	0,21	0,10	1,59	-1,70	0,98	0,68	-0,41	-0,74	-1,61	-0,50
1955	-0,31	-0,67	-0,54	-0,48	-1,13	1,31	0,72	-1,57	-0,11	-1,23	-0,74
1956	1,34	-2,00	2,02	-1,67	-1,37	0,29	1,04	-1,70	-1,05	-1,45	-0,78
1957	-2,13	1,82	-0,74	1,98	-1,55	-0,26	0,45	0,22	-0,55	-0,08	0,84
1958	-0,89	1,65	-0,88	1,80	-1,33	1,87	-0,44	0,86	1,69	-1,85	1,15
1959	-1,75	0,56	-0,15	0,44	-1,84	-0,53	0,24	0,32	-0,10	0,11	0,32
1960	-0,90	0,66	-0,51	0,61	-1,63	-0,45	-0,26	0,15	0,06	-0,40	-0,10
1961	-0,89	1,54	0,35	1,50	-1,44	-0,69	-0,91	0,46	0,46	-0,23	0,49
1962	0,78	-0,62	-0,38	-1,66	-0,58	-0,19	0,32	-0,67	0,36	0,12	-0,48
1963	-1,08	-0,32	-0,39	-0,90	-1,43	-0,25	0,45	0,26	0,43	0,69	0,64
1964	0,90	-0,83	1,50	-1,05	-0,06	-0,99	0,77	-0,95	-0,66	-0,66	-1,17
1965	-0,82	-0,15	-0,74	-0,43	-0,11	-0,60	-0,27	0,20	-1,19	-0,89	0,42
1966	-0,37	-0,95	0,67	-1,12	0,30	0,29	0,62	0,57	1,02	0,17	0,75
1967	1,85	0,38	0,41	0,95	-0,57	-0,71	1,62	-1,06	-0,46	-1,02	-0,53
1968	0,25	0,55	0,13	-0,24	0,67	-0,79	1,03	-0,92	-1,04	-0,31	-0,09
1969	-0,03	-0,36	-0,40	0,04	-0,50	0,39	-0,19	0,85	1,35	0,74	1,12
1970	1,10	1,12	0,34	0,80	0,05	1,91	-0,65	-0,03	0,73	-0,84	-0,11
1971	0,94	-1,29	0,64	-0,93	0,35	-1,21	0,20	-2,00	-1,74	-0,57	-1,51
1972	-1,71	-0,46	-2,01	-0,18	-1,34	-0,33	-0,63	0,28	-1,15	-0,11	0,88
1973	0,26	-1,58	0,41	-0,95	0,48	-1,12	-0,47	-0,23	0,16	1,93	-0,83
1974	0,93	-1,38	0,17	-1,36	-0,16	-2,41	0,91	-2,01	-2,19	0,38	-1,43
1975	0,23	-1,38	-0,66	-1,46	0,36	-1,31	0,41	-1,57	-1,73	-0,44	-1,74
1976	0,19	0,60	-0,38	0,74	0,75	-0,16	0,16	-1,45	-1,90	-2,32	-0,88
1977	-0,94	0,00	-0,85	0,22	0,27	-0,55	-1,18	0,50	-0,41	-0,51	0,46
1978	-0,31	-0,27	-0,58	0,01	0,69	-0,29	0,31	-0,39	-0,39	-1,24	-0,75

1979	-0,30	0,30	-0,40	-0,49	0,60	1,77	0,66	-0,06	0,85	-0,14	-0,10
1980	-0,79	1,52	-1,33	0,82	-0,55	1,07	-1,40	0,27	1,30	-0,08	0,64
1981	0,37	1,21	-0,74	1,30	0,83	1,14	-0,32	-0,76	0,60	-0,89	-0,35
1982	-0,78	2,06	-0,87	0,84	0,09	1,24	0,18	0,70	-0,13	-0,48	1,44
1983	0,74	-0,53	0,87	-0,20	0,20	1,63	-2,64	1,32	1,10	-0,66	1,96
1984	0,42	-1,38	1,96	-1,15	0,86	-0,55	-2,09	0,61	-0,07	0,67	-0,78
1985	-0,41	-0,57	-0,40	-0,72	-0,41	-1,90	0,17	-0,62	-1,64	0,49	-1,23
1986	-0,32	-0,28	-1,02	-0,67	-0,35	-0,65	0,81	-0,22	-1,13	0,52	-0,20
1987	-0,13	0,03	0,36	-0,39	-0,19	0,66	-1,84	1,95	1,26	0,56	2,18
1988	1,46	-0,81	1,23	-0,77	1,84	-0,91	-0,42	0,40	0,71	1,41	-1,73
1989	0,72	-0,64	0,44	0,14	0,71	-1,78	1,21	-1,30	-0,79	0,52	-1,33
1990	-0,03	0,08	0,08	0,53	-0,20	0,02	1,26	0,02	0,24	0,20	0,49
1991	-1,54	0,44	-1,29	0,77	0,17	-0,57	0,80	0,87	-1,06	0,64	1,13
1992	-0,42	0,32	-0,03	0,83	-1,29	0,93	-0,41	2,00	-0,41	-1,70	2,06
1993	-0,21	0,28	-1,38	0,69	0,12	0,15	-1,15	1,76	-0,25	-0,03	1,71
1994	-0,43	0,44	-0,97	1,12	0,05	-1,40	0,27	0,88	-1,00	0,37	0,55
1995	-0,23	-1,29	-1,04	-0,53	0,53	-1,67	0,29	0,56	0,42	1,60	0,22
1996	1,78	-0,99	0,62	-1,04	1,54	-0,68	0,32	-0,51	0,66	1,81	-0,57
1997	-1,20	0,34	-1,54	-0,03	0,43	0,17	-0,31	0,91	0,33	-1,33	1,59
1998	1,61	0,55	-0,39	-0,31	2,12	0,08	-4,00	2,09	1,67	1,15	0,81
1999	0,47	-0,73	0,09	-0,95	2,46	-0,01	-0,86	-0,98	-0,60	0,98	-1,62
2000	1,02	-0,82	0,41	-0,95	1,40	-0,09	-0,56	-0,50	0,37	0,68	-1,19
2001	1,26	0,56	1,55	0,06	0,03	0,53	-0,39	0,09	0,23	0,63	-0,17
2002	0,46	0,77	1,60	0,82	-0,61	-0,17	0,93	0,60	-0,53	0,61	0,91
2003	0,62	-0,11	-0,28	-0,88	0,60	0,32	0,29	0,42	0,20	0,88	-0,09
2004	0,89	2,52	0,22	2,14	0,17	0,49	-0,37	0,81	0,53	-0,35	0,50
2005	-0,84	0,80	-0,53	1,34	0,21	0,93	-0,04	0,98	1,86	0,20	0,85
2006	-0,52	-0,19	-1,87	-0,57	0,80	0,19	0,41	0,38	0,85	0,98	0,21
2007	1,31	-0,18	2,46	-0,12	0,95	0,45	-0,42	0,78	0,27	0,69	-0,02
2008	0,07	-2,19	0,54	-1,98	1,42	0,53	-0,23	-1,12	0,92	1,76	-1,22
2009	-0,70	-0,90	-0,57	-0,87	0,69	-2,17	-0,41	0,31	-0,81	1,75	0,34
2010	2,44	-0,52	2,26	-0,15	2,01	0,65	0,42	0,60	3,04	2,16	0,25

## APÊNDICE D

### Banco de dados preditores climáticos(Reservatório Orós)

Anos	Geo1	Geo2	Geo3	Geonino34	VM1	VMnino34	SST1	SSTnino34
1948	103,44	113,31	148,88	90,14	0,09	-0,45	25,27	27,82
1949	104,94	113,34	140,78	88,02	-0,25	-0,12	25,55	27,30
1950	92,36	117,00	138,35	83,61	0,14	0,14	25,20	26,69
1951	102,31	99,73	143,86	87,82	-0,09	-0,21	25,26	27,49
1952	102,28	114,67	145,41	87,21	-0,04	-0,43	25,71	27,76
1953	103,31	115,49	149,03	89,20	0,11	-0,63	25,51	27,96
1954	95,61	109,76	144,24	83,02	-0,10	-0,34	24,99	27,48
1955	94,57	113,92	139,81	85,80	0,03	-0,32	25,15	27,36
1956	91,88	120,65	134,89	84,63	-0,25	-0,21	25,05	27,33
1957	99,22	102,11	151,22	83,75	-0,42	-0,42	25,65	28,16
1958	97,92	109,15	150,03	84,80	0,52	-0,73	25,15	28,32
1959	99,60	102,04	143,10	82,35	-0,49	-0,49	25,75	27,90
1960	96,82	109,06	145,07	83,39	-0,39	-0,66	25,52	27,68
1961	97,92	109,04	148,26	84,30	-0,57	-0,89	25,55	27,99
1962	93,88	121,99	137,68	88,44	-0,37	-0,46	25,78	27,49
1963	96,73	107,86	139,80	84,32	-0,42	-0,42	25,96	28,06
1964	93,80	122,71	138,88	90,93	-0,76	-0,31	25,41	27,13
1965	103,57	112,49	141,88	90,68	-0,68	-0,67	25,34	27,95
1966	105,44	114,56	137,75	92,65	-0,35	-0,36	25,71	28,12
1967	98,87	126,08	145,62	88,46	-0,63	-0,01	25,32	27,46
1968	100,08	119,50	143,56	94,44	-0,63	-0,21	25,49	27,69
1969	104,36	114,79	143,08	88,80	-0,22	-0,64	26,12	28,31
1970	102,35	123,15	146,47	91,46	0,34	-0,80	25,40	27,67
1971	98,10	124,20	138,13	92,88	-0,93	-0,51	25,43	26,96
1972	103,68	105,17	140,71	84,76	-0,54	-0,79	25,70	28,19
1973	100,47	119,93	136,88	93,51	-0,94	-0,74	26,60	27,30
1974	97,27	122,43	136,06	90,45	-1,29	-0,26	25,81	27,00
1975	97,07	119,45	137,51	92,96	-0,87	-0,43	25,53	26,84
1976	103,93	120,79	144,71	94,81	-0,50	-0,52	24,71	27,28
1977	104,33	112,25	143,53	92,49	-0,57	-0,99	25,58	27,97
1978	101,03	117,30	142,46	94,53	-0,47	-0,46	25,23	27,35
1979	107,35	118,28	141,68	94,11	0,40	-0,34	25,70	27,68
1980	108,39	109,98	147,91	88,57	0,04	-1,06	25,77	28,06
1981	102,43	122,39	147,78	95,21	0,03	-0,69	25,28	27,55
1982	109,62	111,69	149,38	91,62	0,02	-0,51	25,52	28,47
1983	110,29	120,65	139,94	92,15	0,21	-1,50	25,64	28,74
1984	101,95	121,40	136,34	95,33	-0,67	-1,31	26,08	27,33
1985	96,34	113,14	140,22	89,24	-1,10	-0,52	25,99	27,10
1986	100,68	115,94	139,25	89,54	-0,63	-0,29	26,03	27,63

1987	112,69	116,14	141,46	90,30	-0,08	-1,22	26,22	28,86
1988	103,68	129,53	139,38	100,05	-0,80	-0,72	26,44	26,85
1989	101,25	124,39	141,98	94,63	-1,06	-0,15	26,01	27,05
1990	101,61	118,45	142,84	90,26	-0,45	-0,13	25,96	27,99
1991	105,17	108,22	144,40	92,02	-0,62	-0,30	26,03	28,31
1992	102,88	109,98	143,76	85,00	0,01	-0,72	25,20	28,79
1993	112,03	117,93	144,67	91,80	-0,28	-0,98	25,80	28,61
1994	106,33	113,66	146,12	91,47	-0,88	-0,48	25,90	28,01
1995	105,41	117,38	138,02	93,76	-0,84	-0,47	26,44	27,84