

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – CAMPUS I  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO NO BAIXO RIO PARAÍBA/PB E  
MAMANGUAPE PARA FINS DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

KATIANA DE ARAÚJO LIMA

CAMPINA GRANDE – PB  
Março / 2008

KATIANA DE ARAÚJO LIMA

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO NO BAIXO RIO PARAÍBA/PB E  
MAMANGUAPE PARA FINS DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia Hidráulica, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
Orientador: PROF. EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

CAMPINA GRANDE  
Março / 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L732m

2008 Lima, Katiana de Araújo.

Modelagem do escoamento no baixo rio Paraíba/PB e Mamanguape para fins de regionalização hidrológica / Katiana de Araújo Lima.— Campina Grande, 2008.

101f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador : Dr. Eduardo Enéas de Figueiredo.

1. Modelo distribuído. Modelagem do escoamento. I. Título.

CDU – 556.164(043)

**KATIANA DE ARAÚJO LIMA**

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO NO BAIXO RIO PARAÍBA/PB E  
MAMANGUAPE PARA FINS DE REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA**

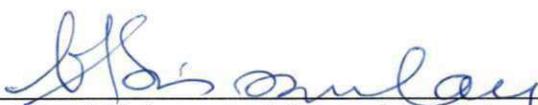
Dissertação aprovada em 14 de Março de 2008.

**COMISSÃO EXAMINADORA**



---

Prof. Eduardo Eneas de Figueiredo – PhD  
Presidente – Orientador (UAEC / CTRN / UFCG - PB)



---

Prof. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan – PhD  
Examinador Interno (UAEC / CTRN / UFCG - PB)



---

Prof. Dirceu Silveira Reis Júnior – Dr.  
Examinador Externo (UFC - CE)

Campina Grande, 14 Março de 2008.

## AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pelas dádivas que me concedeu ao longo da minha vida e por estar sempre ao meu lado em todas as horas.

Ao meu orientador **Prof. Eduardo Eneas de Figueiredo**, pelo incentivo, paciência e disponibilidade durante o mestrado.

À minha mãe **Gertrudes Maria de Araújo Lima**, pelo carinho e amor que me deu em todos os instantes e pela sua dedicação e paciência comigo.

Ao meu pai **Ramiro Gonzaga de Lima**, pelo seu amor, pelo apoio e incentivo nos estudos e pelo exemplo deixado.

Ao meu esposo **Arlan Alves de Moura**, pelo seu amor, paciência e compreensão em todos os momentos.

Aos meus irmãos **Kaline de Araújo Lima, Kelly de Araújo Lima e Kleber de Araújo Lima**, pelo apoio, compreensão e companheirismo que me ajudaram durante todo o tempo.

As minhas amigas **Susana Cristina, Dayane Carvalho e Talita Gabrielle**, pelo apoio em todos os momentos de dificuldades encontrados e pela sempre presente amizade, o meu muito obrigado.

Aos alunos, professores e funcionários do Laboratório de Hidráulica da UFCG, pela amizade, apoio e estímulo recebidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – **CAPES**, pelo suporte financeiro através da bolsa de estudo para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelo apoio financeiro para publicação e participação em eventos.

Enfim, a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram e ajudaram com este trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho visa modelar o escoamento nas bacias do baixo rio Paraíba (3.925,41km<sup>2</sup>) e Mamanguape (3.522,69 km<sup>2</sup>), utilizando o modelo distribuído NAVMO, capaz de considerar as variabilidades do clima (e.g. precipitação) e do sistema da bacia (e.g., solos, relevo, cobertura), para dar subsídios a futuros estudos de regionalização hidrológica em toda a bacia, em virtude das séries de dados disponíveis serem de pequena extensão e apresentarem falhas. O modelo foi calibrado comparando-se valores anuais de volume e picos, bem como hidrogramas diários, e verificado utilizando diferentes critérios. Os resultados mostraram que o modelo foi calibrado com sucesso para as poucas bacias com dados, apresentando valores médios dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,7976 (volumes) e 0,8392 (picos). Os valores médios de  $R^2$  para as validações foram inferiores aos da calibração, 0,2591 (volumes) e 0,2448 (picos), mas com boas comparações dos hidrogramas diários.

## ABSTRACT

In this dissertation the runoff modeling in watersheds within the lower part of the Paraíba river basin (3925,41 km<sup>2</sup>), and Mamanguape (3522,69 km<sup>2</sup>) was carried out with the distributed model NAVMO, which is capable of considering the variability of the climate (e.g., precipitation) and catchment system (e.g., soils, relief, land use), in order to support future regional analyses in the whole river system, in order to realize the hydrologic regionalization in the whole river system. The model was calibrated by comparing annual values of volumes and peaks, as well as daily hydrographs, and verified via different criterions. The results showed that the calibration was successfully accomplished for the few catchments where data are available, with mean coefficients of determination ( $R^2$ ) of 0.7976 (volumes) and 0.8392 (peaks). The mean values of  $R^2$  for the validation phase were lower than those from the calibration, 0.2591 (volumes) and 0.2448 (peaks), but with reasonable comparisons of the daily hydrographs.

# SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xi
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos da Pesquisa.....	2
1.2 Organização da Dissertação.....	3
2.0 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 O Ciclo Hidrológico.....	4
2.2 Modelos Hidrológicos.....	6
2.2.1 Conceitos Ligados aos Modelos Hidrológicos.....	7
2.2.2 Tipos de Modelos.....	8
2.3 Classificação dos Modelos Matemáticos Hidrológicos.....	9
2.3.1 Quanto a Descrição dos Processos.....	9
2.3.2 Quanto a Variabilidade Espacial.....	11
2.3.3 Quanto a Variabilidade Temporal.....	12
2.3.4 Quanto a Dependência Temporal.....	13
2.4 Etapas de Utilização de Modelos Hidrológicos.....	13
2.5 Escalas Hidrológicas e seus Efeitos.....	14
2.6 Alguns exemplos de Modelos Distribuídos.....	18
3.0 O MODELO NAVMO.....	19
3.1 Características Gerais do Modelo NAVMO.....	19
3.2 Lâminas dos Escoamentos nas Sub-bacias.....	22
3.3 Equações para o Cálculo das Lâminas dos Escoamentos.....	24
3.3.1 Lâmina do Escoamento Superficial.....	24
3.3.2 Lâmina do Escoamento Sub-superficial.....	25
3.3.3 Lâmina do Escoamento Subterrâneo.....	26
3.4 Hidrogramas dos Escoamentos.....	27
3.4.1 Escoamento Superficial.....	27
3.4.2 Escoamento Sub-superficial.....	27
3.4.3 Escoamento Subterrâneo.....	28
3.4.4 Escoamento Total.....	28
3.5 Propagação do Escoamento nos Canais.....	28
3.6 Dados Requeridos pelo Modelo NAVMO.....	29
3.7 Pesquisas Recentes Utilizando o Modelo NAVMO.....	29

4.0	ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS.....	32
4.1	Características da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	32
4.1.1	Características Climáticas e Fisiográficas da Bacia do baixo rio Paraíba.....	33
4.2	Características da Bacia Hidrográficas da Bacia do Rio Mamanguape.....	36
4.2.1	Características Climáticas e Fisiográficas da Bacia do Mamanguape.....	37
4.3	Base de Dados.....	40
5.0	CALIBRAÇÃO DO MODELO NAVMO.....	44
5.1	Modelagem das bacias.....	44
5.2	Calibração.....	45
5.3	Análise e Discussão da Calibração.....	50
5.3.1	Bacia de Guarita – 17220 Km <sup>2</sup> (1970 – 1987).....	50
5.3.2	Bacia de Ponte da Batalha – 19244 Km <sup>2</sup> (1970 – 1989).....	52
5.3.3	Bacia de Mulungú – 1052Km <sup>2</sup> (1974 – 1988).....	54
5.3.4	Bacia de Ponte do Leitão – 2910 Km <sup>2</sup> (1970 – 1990).....	56
6.0	VALIDAÇÃO DO MODELO NAVMO.....	59
6.1	Análise da Validação do Modelo.....	59
6.2	Validação Utilizando Parâmetros Médios Totais.....	60
6.2.1	Bacia de Guarita.....	60
6.2.2	Bacia de Ponte da Batalha.....	61
6.2.3	Bacia de Mulungú.....	63
6.2.4	Bacia de Ponte do Leitão.....	64
6.3	Validação Utilizando Parâmetros Médios Calibrados pelo Volume.....	66
6.3.1	Bacia de Guarita.....	67
6.3.2	Bacia de Ponte da Batalha.....	68
6.3.3	Bacia de Mulungú.....	70
6.3.4	Bacia de Ponte do Leitão.....	71
6.4	Validação Utilizando Parâmetros Médios Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	73
6.4.1	Bacia de Guarita.....	72
6.4.2	Bacia de Ponte da Batalha.....	75
6.4.3	Bacia de Mulungú.....	76
6.4.4	Bacia de Ponte do Leitão.....	78
6.5	Validação Utilizando Parâmetros Médios Classificados por Condições Antecedentes (anos normais e úmidos).....	79
6.5.1	Bacia de Guarita.....	80
6.6	Análise do Efeito de Escala sobre os Parâmetros.....	84
7.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
7.1	Conclusões.....	87
7.2	Recomendações.....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
	ANEXO.....	97

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Representação do Sistema hidrológico global.....	5
Figura 2.2 – Esquema da Divisão da Bacia Hidrográfica em Planos e Canais (A), Sub-bacias (B) e em Quadriculas (C).....	12
Figura 2.3 – Variação do valor de CN com a Escala da Bacia.....	17
Figura 2.4 – Variação de ALFA com a Escala da Bacia em diferentes faixas de pluviometria anual.....	18
Figura 2.5 – Variação de EET com a Escala da Bacia em diferentes faixas de pluviometria anual.....	18

### CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Fluxograma do Modelo NAVMO.....	22
Figura 3.2 – Representação do Processo de Precipitação-Vazão-Evaporação no Modelo NAVMO.....	23
Figura 3.3 – Seção Transversal do Rio.....	29

### CAPÍTULO 4

Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do baixo rio Paraíba no Estado da Paraíba.....	33
Figura 4.2 – Pluviometria Média da Bacia do baixo rio Paraíba.....	34
Figura 4.3 – Solos da Bacia do baixo rio Paraíba.....	35
Figura 4.4 - Pluviometria Média da Bacia do Mamanguape.....	38
Figura 4.5 – Solos da Bacia do Mamanguape.....	39
Figura 4.6 – Distribuição dos Postos Fluviométricos nas Bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape.....	40

### CAPÍTULO 5

Figura 5.1 Bacias Hidrografias do Mamanguape (esquerda) e baixo rio Paraíba (direita) com suas Divisões em Sub-bacias.....	44
Figura 5.2 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Guarita.....	50
Figura 5.3 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	51
Figura 5.4 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.....	51
Figura 5.5 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	52
Figura 5.6 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Ponte da Batalha.....	53
Figura 5.7 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1972 e Simulado com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	53

Figura 5.8 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.....	54
Figura 5.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	54
Figura 5.10 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Mulungú.....	55
Figura 5.11 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1985 e Simulado com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	55
Figura 5.12 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.....	56
Figura 5.13 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1978 e Simulado com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	56
Figura 5.14 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Ponte do Leitão.....	57
Figura 5.15 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1985 e Simulado com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	57
Figura 5.16 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte do Leitão.....	58
Figura 5.17 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1986 e Simulado com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	58

## CAPÍTULO 6

Figura 6.1 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.....	60
Figura 6.2 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Guarita.....	61
Figura 6.3 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com Parâmetros Médios Totais.....	61
Figura 6.4 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.....	62
Figura 6.5 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte da Batalha.....	62
Figura 6.6 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1987 e Simulado com Parâmetros Médios Totais.....	63
Figura 6.7 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.....	63
Figura 6.8 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Mulungú.....	64
Figura 6.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1981 e Simulado com Parâmetros Médios Totais.....	64
Figura 6.10 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.....	65
Figura 6.11 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte do Leitão.....	65
Figura 6.12 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1971 e Simulado com Parâmetros Médios Totais.....	66

Figura 6.13 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.....	67
Figura 6.14 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Guarita.....	68
Figura 6.15 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1981 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados pelo Volume.....	68
Figura 6.16 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.....	69
Figura 6.17 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte da Batalha.....	69
Figura 6.18 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados pelo Volume.....	70
Figura 6.19 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.....	70
Figura 6.20 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Mulungú.....	71
Figura 6.21 – Hidrogramas Observados na Bacia de Mulungú em 1981 e Simulados com Parâmetros Médios Calibrados pelo Volume.....	71
Figura 6.22 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.....	72
Figura 6.23 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte do Leitão.....	72
Figura 6.24 – Hidrogramas Observados na Bacia de Ponte do Leitão em 1981 e Simulados com Parâmetros Médios Calibrados pelo Volume.....	72
Figura 6.25 – Volumes Totais Anuais Simulados alidados e Observados na bacia de Guarita.....	74
Figura 6.26 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Guarita.....	74
Figura 6.27 – Hidrogramas Observados na Bacia de Guarita em 1970 e Simulados com Parâmetros Médios Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	75
Figura 6.28 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.....	75
Figura 6.29 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte da Batalha.....	76
Figura 6.30 – Hidrogramas Observados na Bacia de Ponte da Batalha em 1987, e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	76
Figura 6.31 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.....	77
Figura 6.32 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Mulungú.....	77
Figura 6.33 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1985, e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados pela Vazão Máxima Anual.....	78
Figura 6.34 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.....	78
Figura 6.35 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Ponte do Leitão.....	79

Figura 6.36 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1979 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados pela Vazão Máxima.....	79
Figura 6.37 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Guarita.....	81
Figura 6.38 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1987 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados para anos Normais.....	81
Figura 6.39 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Guarita.....	82
Figura 6.40 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1987 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados para anos Normais.....	82
Figura 6.41 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na Bacia de Guarita.....	83
Figura 6.42 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1987 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados para anos Úmidos.....	83
Figura 6.43 – Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Guarita.....	84
Figura 6.44 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com Parâmetros Médios Calibrados para anos Úmidos.....	84
Figura 6.45 – Variação de ALFA e EET com a Escala da Bacia, em Diferentes faixas de Pluviometria Anual.....	85
Figura 6.46 – Variação de ALFA EET com a Escala da Bacia, em Diferentes faixas de Pluviometria Anual.....	85
Figura 6.47 – Variação de ALFA com a Escala da Bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo .....	86
Figura 6.48 – Variação de EET com a Escala da Bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo.....	86
Figura 6.49 – Variação de CN com a Escala da Bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo.....	86

## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2	
Tabela 2.1 – Escalas espaciais adotadas na hidrologia.....	15
CAPÍTULO 4	
Tabela 4.1 – Período de dados dos Postos Fluviométricos.....	39
Tabela 4.2 – Postos Pluviométricos selecionados.....	41
Tabela 4.3 – Evaporação Média Diária.....	42
CAPÍTULO 5	
Tabela 5.1 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP Calibrados para o posto de Guarita pelos Volumes.....	45
Tabela 5.2 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP Calibrados para o posto de Guarita pelos Picos.....	45
Tabela 5.3 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte da Batalha pelos Volumes.....	46
Tabela 5.4 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte da Batalha pelos Picos.....	46
Tabela 5.5 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Mulungú pelos Volumes.....	47
Tabela 5.6 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Mulungú pelos Picos.....	47
Tabela 5.7 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte do Leitão pelos Volumes.....	48
Tabela 5.8 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte do Leitão pelos Picos.....	48
CAPÍTULO 6	
Tabela 6.1 – Valores Médios dos Parâmetros (Volume e Vazão Máxima).....	59
Tabela 6.2 – Valores Médios dos Parâmetros (Volume).....	63
Tabela 6.3 – Valores Médios dos Parâmetros (Vazão Máxima).....	72
Tabela 6.4 – Valores Médios dos Parâmetros.....	79

# CAPÍTULO 1

## 1.0 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a vida e sua disponibilidade é fundamental para o funcionamento dos sistemas naturais bem como para a sustentação dos ciclos e da vida no planeta. A água sempre foi e sempre será um fator limitante para os desenvolvimentos sustentável, econômico e social das atividades humanas.

Algumas partes do mundo, dentre elas o Nordeste do Brasil, fazem parte de um grupo de regiões que possuem problemas relativos à água, onde além da escassez de água são regiões marcadas pela semi-aridez, pela degradação do solo e pela grande variabilidade de fatores climáticos, com regime pluviométrico geralmente concentrado em poucos meses do ano (3 a 4 meses) e mal distribuída espacialmente. Sendo essas características típicas das regiões semi-áridas do planeta.

A bacia hidrográfica é parte do sistema onde os processos hidrológicos se desenvolvem, os quais podem ser representados por modelos hidrológicos. Atualmente, diversos estudos fazem uso de modelos hidrológicos para a modelagem dos processos físicos numa bacia hidrográfica.

Os modelos podem ser utilizados em estudos voltados para a simulação hidrológica, avaliação de impactos ambientais, dimensionamento de sistemas de abastecimento, avaliação de níveis de reservatórios, operação e controle de cheias, e de drenagem urbana. O modelo por si só não é um objetivo, mas uma ferramenta para atingir um objetivo (Tucci 2005).

A modelagem tem várias finalidades como a compreensão de processos e suas relações com a escala e uso do solo (Lacerda Júnior, 2002; Furtunato, 2004), geração de séries (Nunes, 2005) em locais onde não há registros de medição, etc.

Os modelos são desenvolvidos para calcular, em geral, a vazão que reflete a interação entre os vários processos hidrológicos. Sendo assim, a utilização de modelos computacionais se torna imprescindível na análise quantitativa dos processos hidrológicos.

O presente trabalho visa modelar o escoamento nas bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape.

Para uma avaliação quantitativa, foi escolhido o modelo NAVMO que é distribuído, considera as heterogeneidades da bacia e do clima e já foi testado e validado para algumas bacias da Paraíba como a do alto rio Piranhas (~15000 Km<sup>2</sup>), por exemplo, (Braga, 2001), a bacia Representativa e Experimental de Sumé (Lacerda Júnior, 2002) localizada numa das regiões mais secas do Brasil, e a bacia do alto rio Paraíba (~14000 Km<sup>2</sup>) incluída a de Taperoá (Furtunato, 2004; Batista, 2006). A modelagem do baixo rio Paraíba com o modelo NAVMO ainda não havia sido feita e representa uma extensão dos trabalhos anteriores na parte do alto Rio Paraíba além de dar subsídios aos estudos futuros de regionalização em toda a bacia do Rio Paraíba (~20000 Km<sup>2</sup>).

## 1.1 Objetivos da Pesquisa

### - Geral

Modelagem do Escoamento nas Bacias do Rio Paraíba e Mamanguape.

### - Específicos

- Calibrar o modelo NAVMO para os vários locais do com disponibilidade de dados considerando:
  - ✓ Calibração manual, ano a ano, por pico e por volume anual, para anos secos, normais e úmidos.
- Validar o modelo através de simulações utilizando diferentes critérios:
  - ✓ Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes;
  - ✓ Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos picos;
  - ✓ Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações por picos e volumes;

- ✓ Simulações com parâmetros classificados por anos secos, normais e úmidos.
- Análise do efeito de escala sobre os parâmetros;

## 1.2 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 capítulos.

**No capítulo 2** é apresentada uma revisão de literatura acerca dos assuntos abordados nesta pesquisa. **No capítulo 3** é feita uma descrição do modelo NAVMO. **No capítulo 4** é feita uma descrição da área de estudo, as bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape, bem como os dados disponíveis que serviram de base para o desenvolvimento do presente trabalho. **No capítulo 5** são apresentados e discutidos os resultados da calibração do modelo. **No capítulo 6** são apresentados os resultados da validação do modelo bem como uma análise da mesma. **No capítulo 7** são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como, algumas sugestões para estudos futuros.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.0 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **2.1 O Ciclo Hidrológico**

A hidrologia pode ser entendida como o estudo científico do ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico, mais do que uma simples seqüência de processos, constitui-se de um conjunto de fases, as quais representam os diferentes caminhos através dos quais a água circula na natureza. Esta circulação ocorre em três partes do sistema terra: a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera, numa profundidade aproximada de 1 km na litosfera, até 15 km na atmosfera. Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e o longitudinal. O vertical é representado pelos processos

(Toebes e Ouryvaev 1970). A Figura 2.1 mostra uma representação do sistema hidrológico global apresentado por Chow et al (1988).

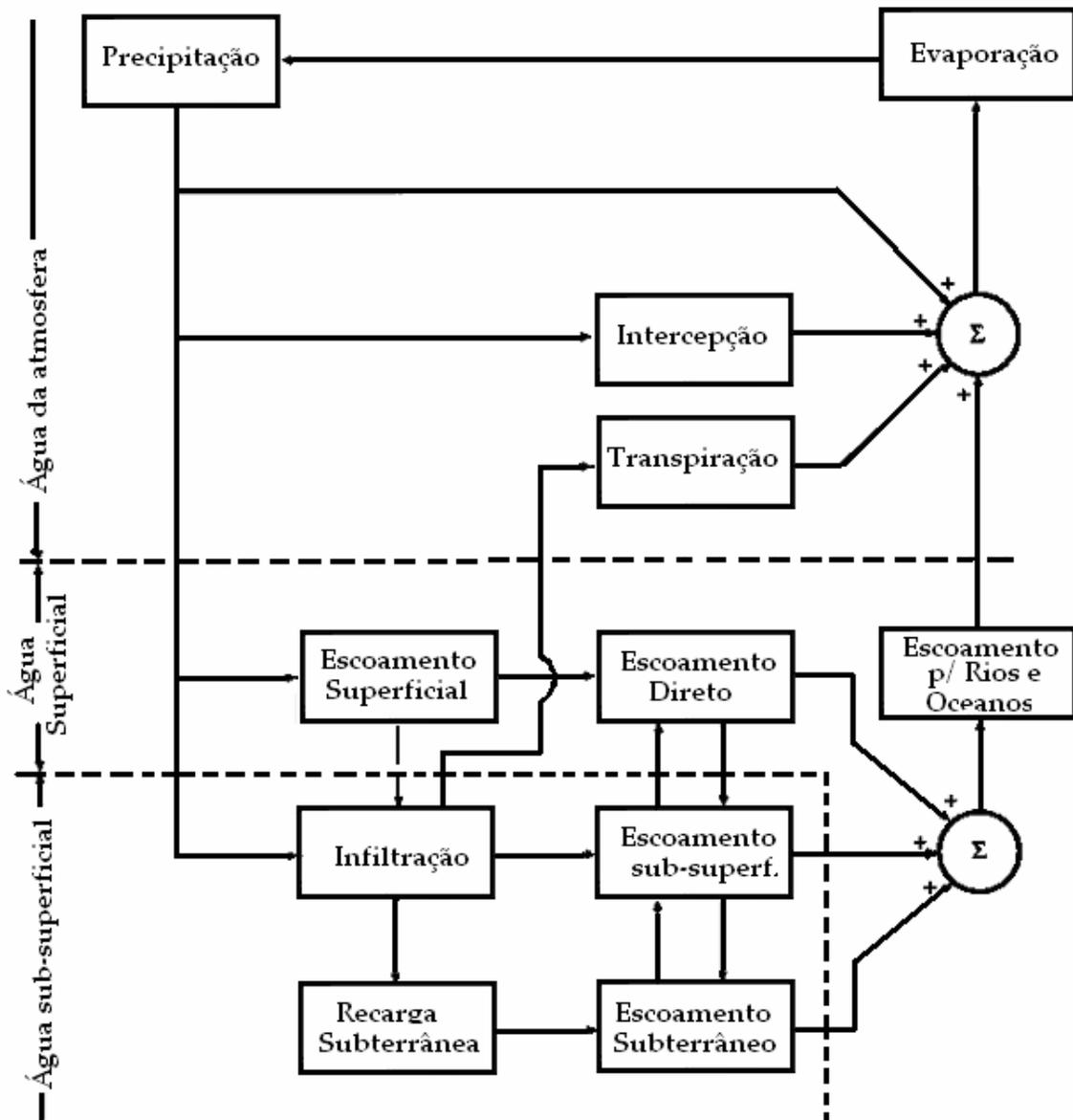


Figura 2.1 – Representação do sistema hidrológico global (adaptado de Chow et al., 1988)

O intercâmbio entre as circulações da água na superfície terrestre (escoamentos) e na atmosfera (movimento de massas de vapor pelos ventos ou advecção) ocorre pela evaporação, da superfície para a atmosfera, e pela precipitação da atmosfera para superfície (Silveira, 2000), podendo ser representado por diferentes esquemas dependendo do modelo matemático a ser utilizado para representá-los. Esquemas de representação para sistemas de bacias hidrográficas podem ser encontrados na literatura com os seus respectivos modelos

hidrológicos, como por exemplo o modelo NAVMO (Kleeberg et al, 1989), utilizado nesta pesquisa, e outros.

Os processos hidrológicos apresentam propriedades e características que variam, com as escalas espaço - temporais em consequência da grande heterogeneidade observada tanto no sistema quanto nos processos estudados. Assim, o ciclo hidrológico deve ser analisado de acordo com as características do sistema, sempre considerando a dinâmica de seus processos, que são altamente não-lineares (Mendiondo e Tucci, 1997).

## **2.2 Modelos Hidrológicos**

“A hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos do ciclo hidrológico, tais como precipitação, evaporação, infiltração, interceptação, escoamento superficial e subterrâneo. Como esses processos dependem de um grande número de fatores (variabilidade climática, características do solo, vegetação, topografia e usos do solo), sua análise quantitativa e qualitativa se torna muito complicada. Desta forma, torna-se imprescindível à utilização de modelos hidrológicos computacionais”. (Abbott et al., 1986a, Abbott et al., 1986b, Tucci, 1998).

Segundo Tucci (2005), um modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. Geralmente os modelos hidrológicos se baseiam nos sistemas existentes e diferem em termos de sua utilização e magnitude dos componentes que integram os processos hidrológicos. Para melhor entender os modelos hidrológicos, é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, os quais são desenvolvidos em geral, para calcular a vazão que reflete a interação entre os vários processos hidrológicos ocorrendo nos sistemas atmosféricos e da bacia hidrográfica. As principais limitações dos modelos hidrológicos são a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, bem como a dificuldade em formular matematicamente alguns processos e a simplificação do comportamento espacial das variáveis e dos fenômenos.

Alguns conceitos ligados aos modelos hidrológicos são apresentados para compreensão

## **2.2.1 Conceitos ligados aos Modelos Hidrológicos**

### **Sistema**

- Sistema é qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato que num dado tempo de referência se inter-relaciona com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação (Dooge, 1973).

- É qualquer engenho que responde através de uma saída a uma entrada. Cada sistema possui suas próprias características e pode, em função de cada caso, ser subdividido em subsistemas onde certas características são mais homogêneas (Tucci, 1998).

Por exemplo, a bacia hidrográfica é um sistema que responde com uma vazão (saída) referente a um dado estímulo, ou entrada (precipitação) onde a vazão é influenciada pelos demais processos e características do sistema. A bacia hidrográfica é, portanto, um exemplo de um sistema que pode ser representado e estudado através da aplicação de modelos hidrológicos. Devido à heterogeneidade física das bacias e a complexidade dos processos envolvidos, um grande número de modelos foram desenvolvidos os quais se diferenciam em função dos dados utilizados, da discretização, das prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados.

### **Modelo**

O modelo é uma representação do sistema onde os processos que ocorrem no mesmo são representados de forma matemática, física ou analógica de modo a atingir um objetivo.

### **Fenômeno**

- É um processo físico que produz alteração de estado no sistema. Por exemplo, precipitação, evaporação e infiltração (Tucci, 1998).

## **Variável**

- É um valor que descreve quantitativamente um fenômeno, variando no espaço e no tempo. Por exemplo, vazão é uma variável que descreve o estado do escoamento (Tucci, 1998).

## **Parâmetro**

- É um valor que caracteriza o sistema, o parâmetro também pode variar no espaço e no tempo. Exemplos: rugosidade de uma seção de um rio, área de uma bacia hidrográfica e áreas impermeáveis de uma bacia (Tucci, 1998).

## **Simulação**

- É o processo de utilização do modelo. Na simulação existem, em geral, três fases que são classificadas como estimativa ou ajuste, verificação e previsão (Tucci, 1998).

A estimativa dos parâmetros é a fase da simulação onde os parâmetros devem ser determinados. A verificação é a simulação do modelo com os parâmetros estimados, onde se verifica a validade do ajuste realizado. A previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de suas respostas a diferentes entradas.

### **2.2.2 Tipos de modelo**

#### **Modelo matemático**

É representado por um conjunto de equações ou expressões matemáticas e argumentos lógicos sendo os mesmos usados para simular a natureza do sistema. São ditos também digitais, pois usualmente é desenvolvido um programa computacional para realizar os cálculos do modelo idealizado.

Segundo Tucci (1998) esses modelos apresentam como vantagem a versatilidade devido à facilidade de modificar a sua lógica de modo a obter resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas. Mas, por outro lado, na utilização desses tipos de modelo é necessário discretizar processos contínuos e representar matematicamente os fenômenos físicos, o que ainda representa certa dificuldade para os

hidrólogos, pois, em determinadas áreas de estudo ainda não foi possível estabelecer funções matemáticas que representem convincentemente certos fenômenos físicos.

### **Modelo físico**

Modelo físico é a representação de um sistema em escala de um protótipo, tomando como base a semelhança geométrica, cinemática e dinâmica entre o sistema e o protótipo.

Na engenharia hidráulica os modelos físicos são geralmente reproduzidos em escala menor (modelo reduzido). O fluxo sobre o vertedor de uma barragem, por exemplo, pode ser estudado através de um modelo físico reduzido.

### **Modelo analógico**

Os modelos analógicos valem-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos para modelar, no sistema mais conveniente, o fenômeno mais complexo. A analogia entre as equações do escoamento hidráulico e de um circuito elétrico permite a representação do sistema hidráulico complexo e caro, por um circuito de custos reduzidos (Tucci, 1998).

Um exemplo típico é a análise do fluxo de água através do corpo de uma barragem, utilizando a analogia do fluxo com uma corrente elétrica, haja vista que as equações diferenciais que representam a diferença de potencial elétrico (tensão) e a carga hidráulica da barragem serem semelhantes. Desse modo é possível projetar um sistema (físico) com circuitos e aplicar diferentes tensões para simular diferentes condições de carga e fluxo.

## **2.3 Classificação dos modelos matemáticos hidrológicos**

### **2.3.1 Quanto à descrição dos processos**

#### **Determinísticos**

- Um modelo matemático do tipo determinístico é aquele que tende a estabelecer relações quantitativas da causa-efeito, utilizando uma relação direta para obter uma resposta devido a um estímulo (Velarde, 2004).

- É um modelo que segue uma lei definida que não a lei das probabilidades, e onde a chance de ocorrência das variáveis envolvidas no processo é ignorada. (Chow, 1964).

Os modelos determinísticos podem ser subdivididos em empíricos e conceituais.

a) Empírico

São denominados modelos empíricos quando a análise dos processos hidrológicos se reduz a um ajustamento da relação entre as variáveis de entrada (dados) e as variáveis de saída (resultados). Utilizam funções empíricas, baseadas em observações e que não estão relacionadas com os fenômenos físicos.

#### a) Probabilístico

Quando a variável interveniente tem comportamento puramente aleatório; é, portanto, ignorada a seqüência temporal ou a seqüência espacial dos valores dessa variável (Portela & Quintela, 2002).

#### b) Estocástico

Quando para além da componente aleatória tem uma outra que permite contemplar a seqüência temporal ou a seqüência espacial dos valores das variáveis (Portela & Quintela, 2002).

### 2.3.2 Quanto à variabilidade espacial

#### **Concentrado**

Um modelo é dito concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial, ou seja, quando os seus parâmetros e variáveis variam somente em função do tempo. Em termos matemáticos, a equação diferencial ordinária com uma variável independente representa um sistema concentrado, onde o tempo é geralmente utilizado como variável independente nos modelos concentrados (Tucci, 1998).

Nesse tipo de modelo, considera-se que todas as variáveis de entrada e de saída são representativas de toda a área estudada, como por exemplo, a precipitação média de uma bacia (variável de entrada) e seu escoamento médio (variável de saída).

#### **Distribuído**

Um modelo é dito distribuído quando as variáveis e parâmetros do modelo variam também segundo o espaço. Matematicamente o comportamento desses modelos é representado através de equações diferenciais parciais com mais de uma variável independente.

Segundo Rosso (1992), um dos maiores problemas é como representar a variabilidade espacial dos processos hidrológicos em pequenas escalas, devido à interação entre as escalas temporais e espaciais.

Nos Modelos Hidrológicos Distribuídos a bacia hidrográfica é tipicamente subdividida em elementos de área (figura 2.2). O uso do solo dentro de cada elemento é caracterizado em uma ou mais classes, dependendo da vegetação presente (Collischonn, 2001; Collischonn e Tucci, 2001).



Figura 2.2 – Esquema da divisão da bacia hidrográfica em planos e canais (A), em sub-bacias (B), e em quadrículas (C).

(Fonte: Figueiredo et al., 2005; Lacerda jr. et al., 2003)

Na prática não existem modelos puramente distribuídos já que são utilizadas discretizações que, de alguma forma, tornam o modelo distribuído concentrado numa pequena subdivisão, conseqüentemente cada elemento discreto pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. A qualidade do modelo distribuído pode ser avaliada pela capacidade em representar melhor a variabilidade espacial do sistema, sujeito às condições também das variáveis de entrada, como a precipitação. Modelos distribuídos mais realísticos consideram também a existência de relação espacial entre elementos (relação topológica) vizinhos (Tucci, 1998; Rennó & Soares, 2003).

### **2.3.3 Quanto à variabilidade temporal**

#### **Contínuo**

Um modelo é dito contínuo quando os fenômenos são representados de maneira contínua no tempo. Mesmo que um sistema se modifique continuamente, a simulação no modelo é feita em intervalos de tempos. A escolha desse intervalo é função da economia desejada e da precisão dos resultados, que são conflitantes.

## **Discreto**

Apesar dos fenômenos naturais variarem continuamente no tempo, na maioria das vezes, estes fenômenos são representados por modelos discretos, quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. O registro discreto dessa variável é efetuado por observadores, em determinadas horas do dia.

### **2.3.4 Quanto à dependência temporal**

#### **Estático**

Quando, com um conjunto de dados de entrada produz-se um resultado oriundo da solução das equações do modelo em um único passo (Rennó & Soares, 2003).

#### **Dinâmico**

Quando utiliza o resultado de uma iteração como entrada para uma próxima iteração (Rennó & Soares, 2003).

## **2.4 Etapas de utilização de Modelos Hidrológicos**

Na utilização de um modelo hidrológico três etapas são seguidas:

### **o Calibração**

É a fase da simulação onde os parâmetros devem ser determinados segundo um ajuste para que os dados de saída do modelo (dados simulados) sejam iguais ou aproximados dos dados observados que estão sendo simulados.

Para alguns autores (Diniz, 1994; Sorooshian e Gupta, 1995) existem dois tipos principais de calibração: uma manual e outra automática. A calibração manual pode usar o processo de tentativa e erro, aquele que o modelador manipula os parâmetros até encontrar as melhores respostas. Na calibração automática, perde-se um pouco da sensibilidade que se adquire na calibração manual, mas se ganha na rapidez da obtenção dos resultados, já

que ela é realizada por funções ou algoritmos pré-definidos que facilitam a busca das respostas.

- **Verificação ou Validação**

Consiste na simulação, utilizando os parâmetros ajustados, das variáveis utilizando, por exemplo, outra série de dados observados. Existem diferentes métodos de validação, tais como a divisão de dados, uso de duas ou mais bacias, etc. (Klemes, 1986; Ewen e Parkin, 1996; Figueiredo, 1999; Braga, 2001).

- **Previsão das variáveis do modelo**

A previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para a quantificação de suas respostas a diferentes entradas. Os dados de saída são utilizados para verificar se o modelo representa bem o sistema em condições diferentes daquelas utilizadas no ajuste/calibração.

Um modelo só é confiável quando suas suposições, entrada e parâmetros, estimam os melhores resultados (Srooshian e Gupta, 1995). O modelo deve ser selecionado de acordo com o tipo de estudo a ser realizado e suas qualificações devem interagir com a necessidade do modelador e o melhor modelo sempre será aquele que o modelador consegue compreender sua estrutura interna e interpretar seus dados de saída.

## **2.5 Escalas hidrológicas e seus efeitos**

Para todos os processos que ocorrem na natureza, e os parâmetros que lhes influenciam, existe uma variedade de escalas. Os processos hidrológicos naturais são bastante complexos e heterogêneos no tempo e no espaço, logo, apresentam comportamentos distintos de acordo com a escala do sistema. Percebe-se então que é muito importante identificar os efeitos provocados pelas mudanças de escala, principalmente em regiões semi-áridas, que apresenta características adversas e necessita de uma representação mais próxima do real para que erros na estimativa do escoamento superficial e erosão do solo possam ser evitados ou minimizados.

## Escalas Espaciais

Devido à complexidade da variabilidade espacial dentro de uma bacia, Rennó & Soares (2003) apontam que a forma mais comum de tratar uma bacia hidrográfica é considerá-la um sistema agregado com propriedades espacialmente homogêneas, desprezando-se a variabilidade espacial natural da bacia e as relações existentes entre seus componentes.

Mas, reconhecendo a importância de variabilidade de espaço, e quando da necessidade de um maior detalhamento dos processos dentro de uma bacia o recomendável é subdividir bacias maiores e então calibrar os modelos hidrológicos. O caso mais simples de discretização espacial é dividi-la (compartimentá-la) em sub-bacias (elementos), conectadas por ligações que representam os cursos d'água (Maidment, 1993). Na prática a subdivisão é caracterizada mais por disponibilidade de dados que por características físicas.

Os processos hidrológicos podem ser mensurados sob várias escalas espaciais, tais como: escala de vegetação, escala local, bacia, regional, sazonal e outras. Becker (1992) apresenta uma classificação das escalas espaciais adotadas na hidrologia, como se pode observar na tabela 2.1:

**Tabela 2.1 – Escalas espaciais adotadas na hidrologia, Fonte: Becker (1992).**

Escalas	Comprimentos (Km)	Áreas (Km <sup>2</sup> )
Macroescala	$>10^2$	$>10^4$
Transição (meso $\alpha$ )	30-10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>
Mesoescala ( $\beta$ )	3-30	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup>
Transição (meso $\beta$ )	10 <sup>2</sup> -3	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>1</sup>
Microescala	$<10$	$<10^{-4}$

## Escalas Temporais

Os processos hidrológicos são caracterizados pelo alto índice de variação de estado ao longo do tempo, o tipo de modelo adotado e o grau de detalhes empregados no modelo

são fatores que influenciam na escala temporal, ou seja, a concepção e a arquitetura de um modelo hidrológico variam significativamente dependendo do tempo para qual o mesmo vai ser empregado.

Para processos operando em diferentes escalas temporais em diferentes componentes do ciclo hidrológico não é possível migrar de uma escala temporal para outra, ou seja, a simulação de um processo num modelo cuja escala temporal definida conceitualmente variar significativamente da escala dos dados amostrados pode levar a resultados com erros significativos.

Para Singh (2002) a atenuação desse problema de modelagem contribuiria para facilitar a construção dos modelos e a definição dos dados de entrada do sistema.

As escalas de tempo mensal, anual, e algumas vezes, a escala diária, são utilizadas geralmente para processamento dos dados, enquanto que as escalas menores (segundo, minutos, horas) são chamadas escalas de ocorrência.

### **Variabilidade dos processos hidrológicos**

A escala é um fator bastante importante nos estudos de modelagem hidrológica, pois o efeito da variação da área considerada (efeito de escala) pode afetar os parâmetros físicos, devido à heterogeneidade do clima e do solo. Em consequência, variáveis hidrológicas se comportam de maneiras distintas conforme a escala da bacia hidrográfica (Figueiredo et al, 2002).

Figueiredo et al (2002) consideram ainda que uma caracterização da variabilidade espacial, das condições de uso de solo e dos parâmetros físicos correspondentes quando utilizados nas simulações pode levar a resultados mais consistentes e menos distorcidos do que os resultados encontrados ao empregar parâmetros médios nos processos de simulação do escoamento. Em seu trabalho foi demonstrado que os valores CN diminuem com o aumento da bacia, para qualquer condição de umidade antecedente, e com o aumento da cobertura vegetal, enquanto que, o coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ) aumenta com o aumento da bacia e vegetação.

Lacerda Júnior (2002) realizou um estudo do efeito de escala sobre os parâmetros CN e de rugosidade de Manning (Chow, 1959), com base em dados observados na Bacia Representativa de Sumé e da Bacia Experimental de Sumé que é uma sub-bacia da bacia do

alto rio Paraíba, levando em consideração as condições de umidade antecedente. Os resultados mostraram que esses parâmetros variaram conforme a escala da bacia (figura 2.3).

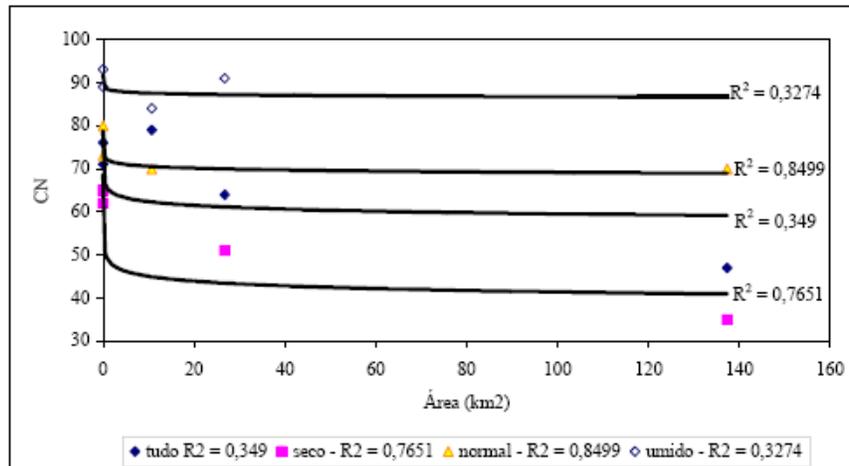


Figura 2.3 – Variação do valor de CN com a Escala da Bacia (Fonte: Lacerda Junior 2002).

Fortunato (2004) também avaliou o efeito da escala sobre os parâmetros e concluiu que “os valores de ALFA diminuem com o aumento do índice pluviométrico anual, devido o solo apresentar maior índice de umidade nos anos mais chuvosos (figura 2.4); com relação ao parâmetro EET (figura 2.5) verificou-se que o mesmo varia pouco entre as escalas da bacia, porém apresenta um aumento gradual com o aumento da área. Isto é devido ao fato de que, a ocorrência de cobertura vegetal aumenta nas áreas maiores e, por conseguinte, a evapotranspiração.” Uma análise semelhante também é feita na presente pesquisa para as bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape.

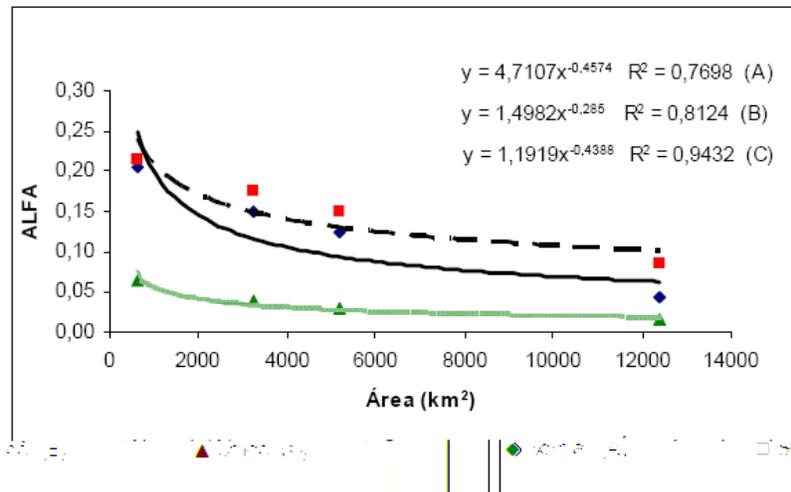


Figura 2.4 – Variação de ALFA com a Escala da Bacia em diferentes faixas de pluviosidade anual. Fonte: Furtunato (2004).

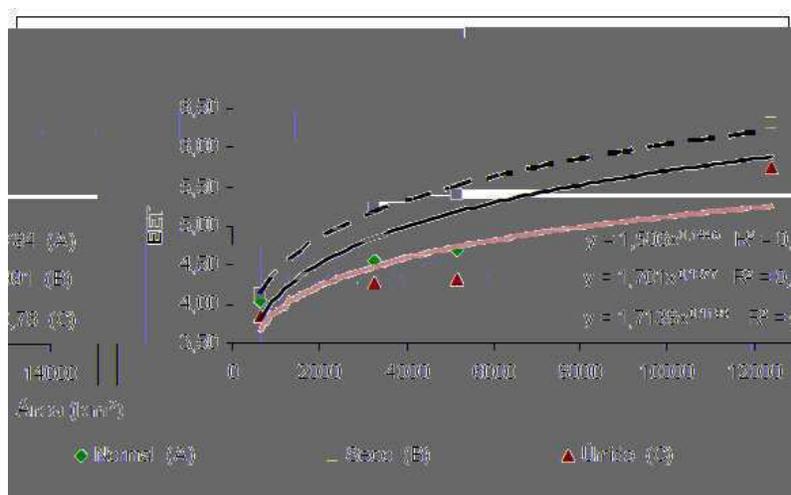


Figura 2.5 – Variação de EET com a Escala da Bacia em diferentes faixas de pluviosidade anual. Fonte: Furtunato (2004)

## 2.6 Alguns Exemplos de Modelos Hidrológicos Distribuídos

a) O modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool): desenvolvido pelo Agricultural Research Service e pela Texas A&M University em 1996 objetivando a análise dos impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade química da água (King et al., 1996). Ele é um modelo físico, do tipo distribuído e a bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias de modo a refletir a diferença de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo. O

escoamento superficial é estimado usando a equação de Curva Número (CN) do Soil Conservation Service-SCS (USDA-SCS, 1972).

b) O modelo SHE (Système Hydrologique Européen): desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (Bathurst, 1986a; Bathurst, 1986b; Bathurst et al., 1995), consiste de um modelo distribuído, de base física cujas equações físicas são resolvidas através do método de diferenças finitas. A bacia é discretizada através de malhas (horizontal e vertical).

c) O modelo NAVMO (Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell, Kleeberg et al., 1989): é um modelo diário, conceitual distribuído que considera o sistema da bacia através de uma divisão da mesma em sub-bacias de produção e trechos de acompanhamento do fluxo. A precipitação é transformada no escoamento total em cada sub-bacia. A vazão total é a soma dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo, os quais são controlados por dois sistemas de reservatórios: um superficial e outro sub-superficial. O escoamento subterrâneo é controlado por uma função de transformação do excesso de água proveniente do reservatório sub-superficial. Para avaliar o armazenamento de água nos reservatórios do sistema é usado o método CN do Serviço de Conservação do Solo - SCS (McCuen, 1982), o qual é associado às condições do solo e do seu uso.

No presente trabalho o modelo NAVMO será utilizado, para Modelagem do Escoamento nas Bacias do Rio Paraíba (3925 km<sup>2</sup>) e Mamanguape (3522 km<sup>2</sup>), o qual é apresentado em maiores detalhes no capítulo seguinte.

## CAPÍTULO 3

### 3.0 O MODELO NAVMO

#### 3.1 Características Gerais do Modelo NAVMO

NAVMO - “Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell”, que significa modelo de precipitação, vazão, evaporação, para simulação do escoamento diário. Foi desenvolvido no Instituto de Recursos Hídricos da Universidade de Bundeswehr, Munique, Alemanha, para simular o escoamento em uma bacia hidrográfica, considerando as variabilidades de fatores climáticos (evaporação e precipitação) e do sistema da bacia (Kleeberg et al., 1989).

O NAVMO é um modelo diário, determinístico, conceitual, distribuído, que utiliza a equação do balanço hídrico para transformar a precipitação em escoamento.

O processo de transformação da precipitação efetiva em escoamento superficial utiliza a equação do balanço hídrico que é aplicada à bacia através de dois reservatórios hipotéticos: um superficial e outro sub-superficial que controlam o escoamento. Para avaliar a capacidade de armazenamento de água nos reservatórios, os quais são dependentes do tipo e das condições de uso do solo, é utilizado o método CN (Curva Número) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – SCS (McCuen, 1982). O método é associado ao uso do solo e pode ser mudado para avaliações de cenários (Lopes, 1994).

Este modelo requer uma divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias bem como alguns dados de entrada: precipitação, evaporação, vazões observadas e as características físicas das sub-bacias como: área, cotas, declividades, características da cobertura do solo e geométricas dos canais. A figura 3.1 mostra o fluxograma do modelo.

Ao final da simulação, o modelo também apresenta critérios alternativos para avaliar a qualidade dos resultados como desvios médios, desvio hidrológico, centróides dos

hidrogramas, diferenças entre valores observados e calculados (volumes e picos), além da comparação entre os hidrogramas simulado e observado, os quais podem ser utilizados como funções com objetivo para avaliar a qualidade dos resultados.

A determinação da precipitação média no modelo NAVMO pode ser feita através da aplicação de duas metodologias, que são versões modificadas do método de Thiessen e do método do Ponto Reticular ou método das quadrículas (Kleeberg et al., 1989).

A propagação do escoamento pode ser feita utilizando diferentes métodos como, por exemplo, o método de Williams, o método de Kalinin-Miljukov, apud Fread (1985), e o método da velocidade de fluxo.

O NAVMO possui treze parâmetros calibráveis que são:

- MET1 - Tempo para atingir o pico do escoamento superficial (dias);
- MET2 - Tempo para atingir o pico do escoamento sub-superficial (dias);
- MAX1 - Tempo de base do escoamento superficial (dias);
- MAX2 - Tempo de base do escoamento sub-superficial (dias);
- KG - Parâmetro do escoamento subterrâneo (dias);
- EET - Parâmetro de evaporação (-);
- EKM - Fator de multiplicação do tempo de fluxo no leito do rio (-);
- EKL - Fator de multiplicação do tempo de fluxo no plano de inundação esquerdo (-);
- EKR - Fator de multiplicação do tempo de fluxo no plano de inundação direito (-);
- ALFA - Parâmetro de escoamento superficial (-);
- BETA - Coeficiente de escoamento sub-superficial;
- BFD - Parâmetro que define o déficit de umidade inicial do solo (%);
- QBSP - Parâmetro que define o escoamento subterrâneo inicial ( $\text{m}^3/\text{seg}/\text{km}^2$ );
- CN\* - Parâmetro que define a capacidade de armazenamento do solo (mm).

O parâmetro CN é definido em termos do solo e seu tipo de uso; mas a falta de informações sobre os usos do solo pode implicar na sua calibração.

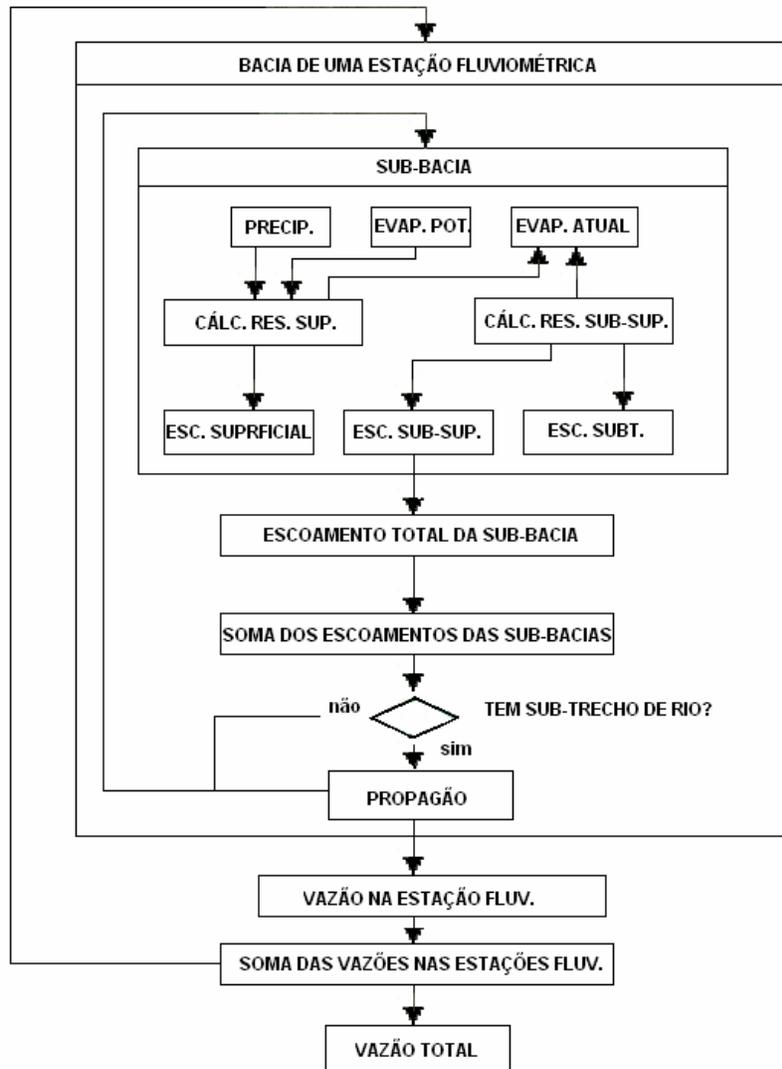


Figura 3.1 – Fluxograma do modelo NAVMO.  
(Fonte: Kleeberg et al., 1989)

### 3.2. Lâminas dos Escoamentos nas Sub-Bacias

No modelo NAVMO para cada sub-bacia são determinadas as lâminas dos escoamentos, considerando um sistema de reservatórios, conforme apresentado no esquema físico mostrado na Figura 3.2. Cada reservatório possui a função de controlar os componentes do fluxo total (Lopes, 1994).

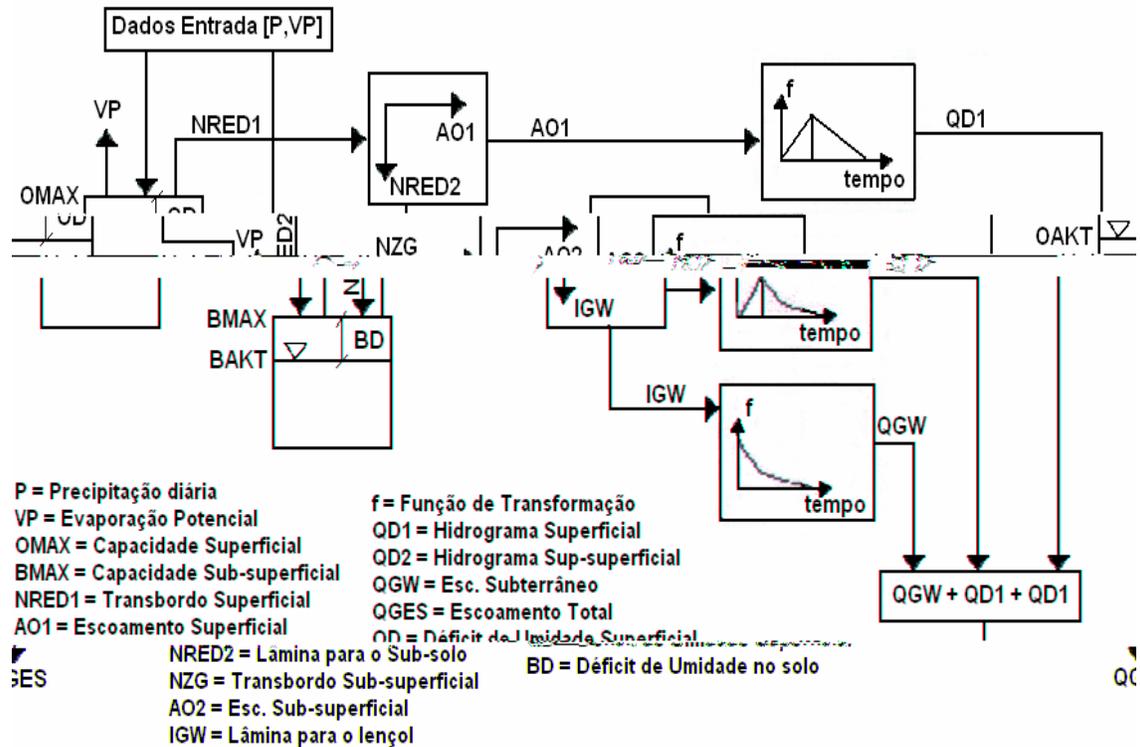


Figura 3.2 – Representação do processo de precipitação-vazão-evaporação no modelo NAVMO.

(Fonte: adaptação de Figueiredo & Braga, 2002)

O escoamento superficial é calculado a partir do reservatório superficial, que é abastecido pela precipitação e sobre ele age a evaporação potencial. Quando o reservatório superior enche, ocorre o transbordamento. Parte da lâmina do transbordamento do reservatório superficial irá abastecer o reservatório sub-superficial e outra parte será transformada no escoamento direto após aplicação de uma função de transformação.

O escoamento sub-superficial é calculado a partir do reservatório sub-superficial que é alimentado por uma parte do transbordo do reservatório superficial. A evaporação deste reservatório é calculada em função do seu déficit de umidade. Quando esta parcela é suficiente para encher o reservatório sub-superficial faz surgir uma lâmina de transbordamento, a qual se dividirá em duas lâminas. Uma dará origem ao escoamento sub-superficial e a outra será usada no cálculo do escoamento subterrâneo. O escoamento total simulado na saída da sub-bacia é a soma dos três escoamentos. Os hidrogramas em cada caso são obtidos através de funções de transformação e adicionados para que seja obtido o hidrograma total.

### 3.3. Equações Para o Cálculo das Lâminas dos Escoamentos

#### 3.3.1. Lâmina do Escoamento Superficial

A lâmina [mm/dia] do escoamento superficial direto (AO1) é calculada em termos do transbordamento do reservatório superficial. A parcela que se converte em lâmina do escoamento direto é dada por:

$$AO1(t) = ALFA * NRED1(t) \quad (3.1)$$

ALFA [-] é o fator de partição, a ser calibrado, da lâmina do transbordamento do reservatório superficial NRED1 [mm/dia], dado pela equação:

$$NRED1(t) = N(t) - OD(t-1) - VA(t) \quad (3.2)$$

N(t) é a precipitação [mm] média diária calculada pelo método do Ponto Reticular Modificado, isto é:

$$N_{I,t} = \frac{\sum_{S=1}^4 (N_{n,S,t} / D_S^{Rast})}{\sum_{S=1}^4 (1 / D_S^{Rast})} \quad (3.3)$$

$N_{I,t}$  é a precipitação calculada para a sub-bacia I no intervalo de tempo t;

$N_{n,s,t}$  é a precipitação na estação pluviométrica n, mais próxima do centro da sub-bacia I dentro do quadrante s, no intervalo de tempo t;

$D_s$  é a distância mínima no quadrante;

RAST é o fator de correção dependente da distância do posto.

OD (t-1) é o déficit [mm/dia] de umidade antecedente no reservatório superficial e OD (t) é o déficit [mm/dia] de umidade atual no reservatório superficial dado pela seguinte equação:

$$OD(t) = OMAX - OAKT(t) \quad (3.4)$$

OMAX é a capacidade máxima do reservatório superficial e OAKT é a condição de umidade inicial do mesmo. OMAX é calculado em função da capacidade de armazenamento do solo pela equação:

$$OMAX = 0,1 \cdot BMAX \cdot e^{-AGEBGEF} \quad (3.5)$$

GEBGEF é a declividade [-] da superfície e BMAX é a capacidade [mm] armazenamento do reservatório dado por:

$$BMAX = S = 25,4 * \left( \frac{1000}{CN - 10} \right) \quad (3.6)$$

VA (t) é a evaporação [mm/dia], durante o intervalo de tempo t. A evaporação (VA) assume valor potencial até que a superfície esteja completamente seca e o déficit de umidade do reservatório superficial (OD) atinja a capacidade do reservatório superficial (OMAX).

Quando o reservatório superficial atingir o nível mínimo de umidade, ou seja, secar completamente, dá-se então o início da evaporação da água no subsolo, aumentando seu déficit de umidade (BD). A evaporação atual do subsolo é calculada multiplicando-se a evaporação potencial (VP) [mm/dia] pelo fator de multiplicação EET, a ser calibrado no modelo e pela umidade do subsolo [(BMAX-BD)/BMAX].

A outra parcela do transbordamento (NRED2) do reservatório superficial vai alimentar o reservatório sub-superficial.

### 3.3.2 Lâmina do Escoamento Sub-superficial

NERD2 é a parcela do transbordamento [mm/dia] do reservatório superficial que supre o reservatório sub-superficial, que é dado pela equação:

$$NRED2(t) = (1 - ALFA) * NRED1(t) \quad (3.7)$$

O transbordamento do reservatório sub-superficial, NZG [mm/dia], é dado por:

$$NZG(t) = NRED2(t) - BD(t - 1) \quad (3.8)$$



### 3.4 Hidrogramas dos Escoamentos

#### 3.4.1 Escoamento superficial

O hidrograma superficial (QD1) é obtido através de duas funções lineares, uma para a ascensão e outra para a recessão, sendo gerado a partir da lâmina do escoamento superficial (AO1). As funções são as seguintes:

a) Para a subida:

$$QD1(t + J) = \frac{2 \cdot J \cdot AO1(t) \cdot AE}{MET1 \cdot MAX1} \quad [\text{m}^3/\text{dia}] \quad (3.12)$$

b) Para a descida:

$$QD1(t + J) = \frac{2 \cdot (MAX1 - J) \cdot AO1(t) \cdot AE}{(MAX1 - MET1) \cdot MAX1} \quad [\text{m}^3/\text{dia}] \quad (3.13)$$

AE é a área da sub-bacia, QD1(t+J) é o escoamento direto num dado intervalo de tempo (t + J), MET1 é o tempo para atingir o pico do escoamento superficial e MAX1 é o tempo de base do escoamento superficial.

#### 3.4.2 Escoamento sub-superficial

O hidrograma do escoamento sub-superficial (QD2) é obtido através de uma função linear na ascensão do hidrograma e de uma função exponencial para a recessão, dadas por:

a) Para a subida:

$$QD2(t + J) = \frac{QM(t) \cdot J}{MET2} \quad [\text{m}^3/\text{dia}] \quad (3.14)$$

b) Para a descida:

$$QD2(t + J) = QM(t) \cdot \left[ 1,1 \cdot e^{\left[ \left( \frac{\ln 0,1}{1,1} \right) \left( \frac{J - MET2}{(MAX2 - MET2)} \right) \right]} \right] \text{ [m}^3\text{/dia]} \quad (3.15)$$

onde:

$$QM(t) = \frac{AO2 \cdot AE}{(MAX2 - MET2) \cdot (1/\ln 1,1 - 0,1) + 0,5 \cdot MET2} \text{ [m}^3\text{/dia]} \quad (3.16)$$

$QD2(t+J)$  é o escoamento sub-superficial num dado intervalo de tempo  $(t + J)$ ,  $MET2$  é o tempo para atingir o pico do escoamento sub-superficial e  $MAX2$  é o tempo de base do escoamento sub-superficial.

### 3.4.3 Escoamento subterrâneo

O escoamento subterrâneo ( $QGW$ ) é obtido com a função de recessão dada pela equação (3.17) multiplicada pela área da bacia ( $AE$ ), isto é:

$$QGW(t) = AGW(t) \cdot AE \text{ [m}^3\text{/dia]} \quad (3.17)$$

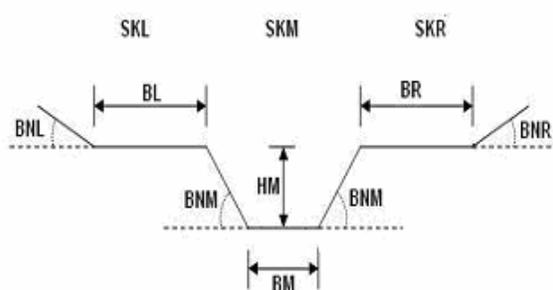
### 3.4.4 Escoamento total

O escoamento médio diário ( $QGES$ ) numa dada seção é a soma dos escoamentos superficial ( $QD1$ ), sub-superficial ( $QD2$ ) e subterrâneo ( $QGW$ ), isto é:

$$QGES(t) = \frac{QD1(t) + QD2(t) + QGW(t)}{86400} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (3.18)$$

## 3.5 Propagação do Escoamento nos Canais

Sendo o modelo distribuído, o hidrograma de uma sub-bacia serve como hidrograma de entrada do trecho de rio da bacia subsequente (Kleeberg et. al., 1989). A propagação do escoamento é feita nos trechos de rios cuja seção é considerada trapezoidal como pode ser visto na figura 3.3.



Onde:  
 BM - largura da calha principal (m);  
 HM - altura da calha principal (m);  
 BL - largura do plano de inundação esquerdo (m);  
 BR - largura do plano de inundação direito (m);  
 BNM - declividade das paredes da calha do rio principal;  
 BNL - declividade das paredes da margem esquerda;  
 BNR - declividade das paredes da margem direita;  
 SKM -  $(1/n)$  para a calha principal;  
 SKL -  $(1/n)$  para a margem esquerda;  
 SKR -  $(1/n)$  para a margem direita;  
 n - coeficiente de Manning.

Figura 3.3 – Seção transversal do rio.  
 (Fonte: Kleeberg et al., 1989)

A equação de Manning é utilizada para o cálculo das velocidades de escoamento na calha principal e nos planos de inundação. O modelo NAVMO pode utilizar as metodologias de Williams, Kalinin-Miljukov (Fread, 1985) e velocidade de fluxo para propagar o escoamento. Todos os métodos são hidrológicos e fundamentados no método de Muskingum (Braga, 2001).

### 3.6 Dados Requeridos pelo Modelo NAVMO

O modelo NAVMO requer dados diários de precipitação, evaporação e vazão. Para cada sub-bacia são necessárias as informações de área, declividade média, valor de CN (Curva Número) e coordenadas dos centróides das mesmas.

Nas sub-bacias onde ocorre propagação do escoamento o modelo exige ainda a declividade dos trechos de rios, as características das calhas do rio como profundidade e declividades do leito e dos planos laterais, bem como o coeficiente de Manning-Strickler (inverso do coeficiente de rugosidade de Manning) para o leito principal e os planos laterais. (Maiores detalhes sobre o arquivo de dados requeridos são encontrados no ANEXO A).

### 3.7 Pesquisas Recentes Utilizando o Modelo NAVMO

Inicialmente utilizado no Brasil por Figueiredo et al (1991) e depois, em 1993, (Figueiredo et al , 1993) num estudo das prováveis causas da diminuição do volume de armazenamento do açude de Sumé.

O modelo NAVMO foi em seguida calibrado e validado por Lopes (1994), para avaliar o escoamento na bacia do rio Piancó (4.550km<sup>2</sup>) tendo obtido bons resultados.

No sentido de se fazer uma avaliação da influência da discretização da bacia sobre o escoamento usando o modelo distribuído NAVMO na bacia do Rio Piancó – PB, Figueiredo et al (1998) observaram que a discretização da bacia não afetou os resultados simulados.

Figueiredo et al (1999) calibraram o modelo distribuído NAVMO para a bacia hidrográfica do Rio Piancó – PB e validaram-no através de quatro procedimentos distintos tendo obtido resultados bastante semelhantes.

Figueiredo & Srinivasan (1999) avaliaram os impactos do uso do solo e da presença dos açudes localizados a montante do açude Público de Sumé, mostrando que os impactos causados pela modificação do uso do solo, bem como pela influência desses açudes sobre o escoamento para a bacia, foram significativos.

Recentemente o NAVMO foi estudado por Furtunato (2004) que avaliou os efeitos dos fatores climáticos e do uso do solo sobre o escoamento através da simulação com o modelo NAVMO na região do alto rio Paraíba. Tendo o mesmo realizado uma calibração do modelo ano a ano, para dois pares de sub-bacias e bancos de dados diferentes, isto porque os períodos de dados observados eram distintos. Ou seja, calibrou conjuntamente as sub-bacias de Taperoá e Boqueirão com um banco de dados com 18 postos pluviométricos, em seguida calibrou as sub-bacias de Caraúbas e Poço de Pedras com um banco de dados com 80 postos pluviométricos. Depois, validou os parâmetros mais sensíveis do modelo para as sub-bacias e concluiu que o modelo simulou razoavelmente bem o escoamento, sendo afetado principalmente pela variabilidade conjunta da precipitação e evaporação.

Furtunato et al. (2004) avaliaram o efeito de escala e a variabilidade climática sobre os parâmetros calibrados com o modelo NAVMO para várias sub-bacias, a partir de dados disponíveis na bacia do alto rio Paraíba, e determinaram que o parâmetro ALFA diminuiu com o aumento da área da bacia e do índice pluviométrico; o EET variou pouco com a escala da bacia, porém apresentou um aumento gradual, e diminuiu nos anos úmidos; já o CN foi menor nas áreas maiores e nos anos secos.

Figueiredo et al. (2004) analisaram o escoamento simulado com o NAVMO, calibrado em uma grande bacia na região semi-árida da Paraíba e concluíram que a divisão da bacia influenciou as vazões máximas e volumes.

Crispim (2005), Crispim et al (2005a) e Crispim et al (2005b) utilizaram séries simuladas com o modelo NAVMO, em nove sub-bacias da região do alto rio Piranhas – PB, e aplicaram testes paramétricos e não paramétricos e algumas distribuições de probabilidade. Os resultados mostraram que as séries apresentaram razoável consistência e homogeneidade e que a distribuição de Pearson III foi aceita sem restrições. Crispim (2005) empregou técnicas de regionalização para estabelecer funções matemáticas que auxiliam na determinação de vazões máximas, vazões médias e vazões com 95% de garantia e concluiu que as variáveis físicas que melhor explicaram as variáveis hidrológicas foram: a área da bacia e o comprimento do rio principal.

Nunes (2005), Nunes et al. (2005a) e Nunes et al. (2005b) utilizaram o modelo distribuído NAVMO para simular séries de vazões de longo período em nove bacias da região do alto Rio Paraíba - PB, quatro com dados e mais cinco sem dados e com parâmetros médios determinados por Furtunato (2004).

Estudos realizados por Furtunato et al. (2005), na região do alto rio Paraíba com o modelo distribuído NAVMO, mostraram que os valores dos parâmetros do escoamento diminuíram de maneira não linear à medida que a área da bacia aumentou, enquanto que os valores do parâmetro da evapotranspiração aumentaram linearmente com o aumento da área, todos variando com a precipitação anual.

Bastista (2006) fez a análise no escoamento simulado em várias bacias na região do alto rio Paraíba considerando diferentes divisões da bacia e investigaram as incertezas nas simulações realizadas.

Este estudo propõe, portanto a extensão dos estudos anteriormente realizados na bacia do Rio Paraíba, visto que os mesmos foram limitados à região do alto rio Paraíba (seção do Açude de Boqueirão) e Taperoá, para dar subsídios a futuros estudos de regionalização na bacia do Rio Paraíba como um todo.

## CAPÍTULO 4

### 4.0 ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

#### 4.1 – Características da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba

A bacia do Rio Paraíba está localizada na porção sudeste do Estado da Paraíba, fazendo fronteiras ao Oeste com o Estado de Pernambuco, ao Sul com o Estado de Pernambuco e a bacia do Rio Gramame, a Leste com o Oceano Atlântico e ao Norte com as bacias do Espinharas, Seridó, Jacu, Curimataú, Mamanguape e Miriri (PDRHP/PB, 2001). Ela drena uma área de aproximadamente 20.000,00 km<sup>2</sup>, compreendida ente as latitudes 6°51'31'' e 8°26'21'' Sul e as longitudes 34°48'35'' e 37°2'15' Oeste de Greenwich. É a segunda maior do Estado da Paraíba, pois abrange 38% do seu território, abrigando 1.734.470 habitantes que correspondem a 52% da sua população total (SEMARH, 2004).

Compreende as sub-bacias do Baixo, Médio e alto rio Paraíba e do Rio Taperoá. A área da bacia do Rio Paraíba, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:100.000, é de 19.545 km<sup>2</sup>. O seu perímetro é de 966 km e o comprimento do rio principal é de 412 km. As bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape (figura 4.1) são as áreas de estudo deste trabalho.

A região do Baixo Curso do rio Paraíba-PB situa-se na parte litorânea do estado da Paraíba, conforma-se sob as latitudes 6°55'13'' e 7°30'20'' Sul e entre as longitudes 34°47'37'' e 35°55'23'' Oeste de Greenwich (PDRH Rio Paraíba 2001). Deságua no Oceano Atlântico na Cidade de Cabedelo e tem como principal afluente o rio Paraíba. Drena uma área de 3.925,41km<sup>2</sup> (PERH – PB 2006).

Esta região abrange as microrregiões de Umbuzeiro, Campina Grande, Itabaiana, Sapé e João Pessoa abrangendo os seguintes municípios: Bayeux, Cabedelo, Caldas Brandão, Cruz do Espírito Santo, Fagundes, Gurinhém, Ingá, Itabaiana, Itatuba, João

Pessoa, Juarez Távora, Juripiranga, Lagoa Seca, Mari, Massaranduba, Mogeiro, Pilar, Riachão do Bacamarte, Riachão do Poço, Salgado de São Félix, Santa Rita, São José dos Ramos, São Miguel do Taipu, Sapé, Serra Redonda e Sobrado, compreendendo uma população de aproximadamente 1.170 habitantes.

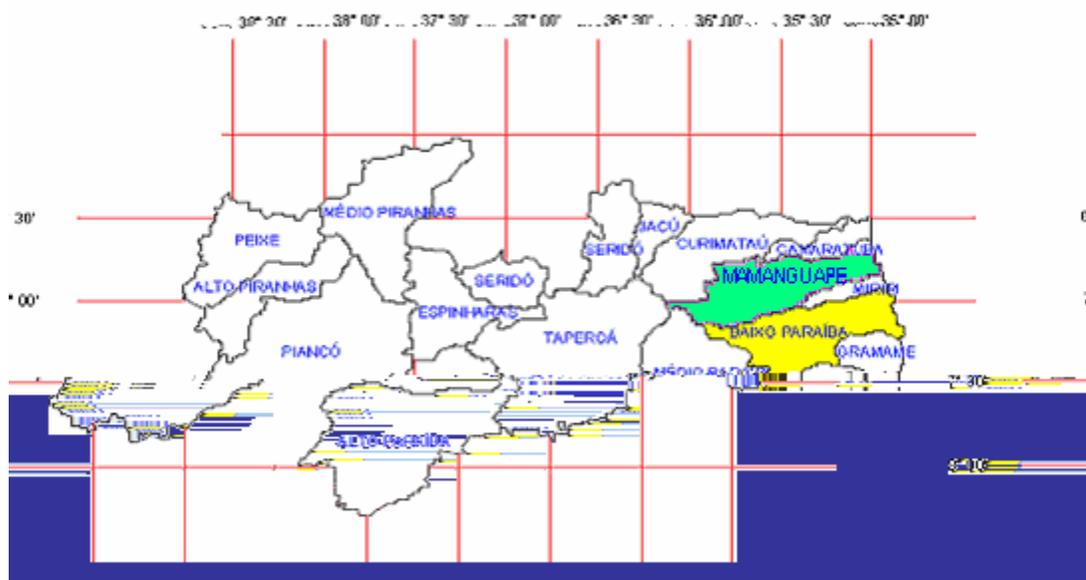


Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do baixo rio Paraíba no Estado da Paraíba

#### 4.1.1 - Características climáticas e fisiográficas da bacia do baixo rio Paraíba

##### Clima

A bacia hidrográfica do baixo rio Paraíba possui um clima quente, temperatura média anual em torno dos 25°C, apresentando pouca variação intra-anual e uma distribuição espacial da temperatura altamente dependente do relevo. Segundo a classificação de Köppen, na parte oeste da região o clima é caracterizado como do tipo BSw'h', isto é, semi-árido quente, com precipitação média de 400mm e na sua parte leste, o clima é do tipo Aw', caracterizado como semi-úmido e precipitação média de 1800mm. Observa-se ainda a existência de uma região tropical úmida na faixa litorânea do Estado (ver figura 4.2). O setor que abrange a região do planalto da Borborema encontra-se inserido em clima seco de tipo estepe (PERH – PB 2006).

O regime pluviométrico mensal e anual, muito irregular, com a concentração das precipitações em poucos meses do ano e ainda com ocorrência de anos muitos secos e outros muitos chuvosos.

Quanto à evaporação potencial, os dados obtidos a partir de tanque classe A, mostram dados que variam entre 2.200 a 3.000 mm.

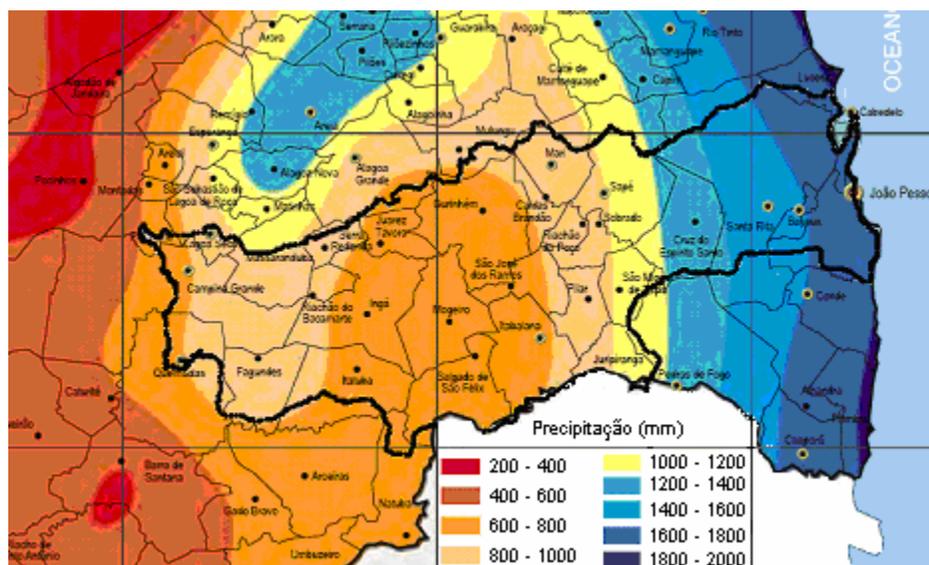


Figura 4.2 - Pluviometria Média da Bacia do baixo rio Paraíba  
Fonte: Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba 2006

A umidade relativa média do ar varia de cerca de 67% a 87 % para o conjunto da bacia, com valores máximos em abril e mínimos em outubro; os maiores (72 a 91%) em Campina Grande, com máximo em junho e mínimos em novembro e fevereiro. No litoral (João Pessoa) a faixa de variação anual oscila entre 67 e 87%.

A insolação nesta região apresenta variações nos valores médios mensais de Janeiro a Julho, cuja duração efetiva do dia é de 7 a 8 horas diárias, e de Agosto a Dezembro sendo da ordem de 8 a 9 horas diárias.

## Relevo

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo se por formas de relevo diferentes trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. O relevo da região da bacia do baixo rio Paraíba, caracteriza-se por apresentar formas que vão de

ondulado, forte ondulado a montanhoso (PERH – PB 2006). No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, sub-úmido e semi-árido. São eles:

- **Setor Oriental Úmido e Sub-úmido** compostos por áreas sedimentares marinhas e fluviomarinhas; áreas sedimentares continentais e áreas cristalinas.
- **Setor Ocidental Sub-úmido e Semi-Árido** compostos por áreas cristalinas e sedimentares continentais.

## Solos

Na parte leste da bacia do baixo rio Paraíba há presença de diversos tipos de solos, mas com predominância de solos Podzólicos Vermelho Amarelo e em sua parte litorânea solos aluviais e mangues. Na fixa oeste de bacia o tipo de solo predominante é Bruno não Cálcico, apresentando também alguns afloramentos rochosos (figura 4.3).

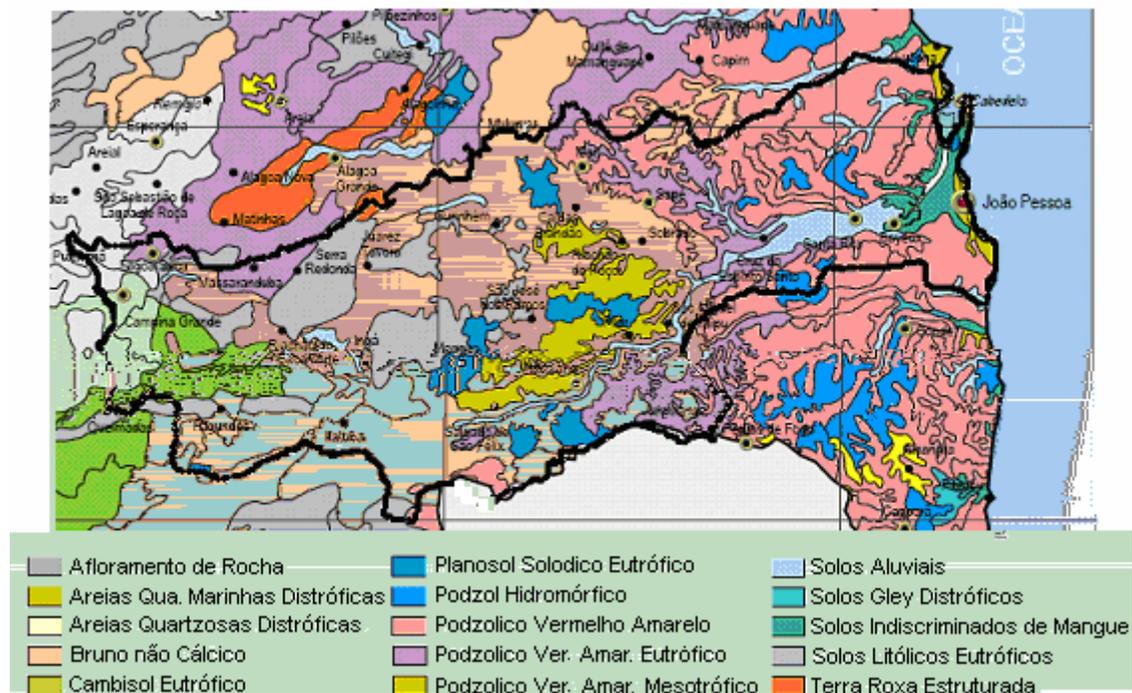


Figura 4.3 - Solos da Bacia do baixo rio Paraíba  
 Fonte: Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba 2006

## **Vegetação**

A vegetação natural que dominava a área da Bacia do baixo rio Paraíba era constituída da Mata Atlântica e ecossistemas associados, ou seja, manguezais, campos de várzeas e formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. No entanto, ao longo do processo de colonização e ocupação das terras, quase toda a vegetação natural foi sendo indiscriminadamente retirada e substituída pelas culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, mandioca, entre outras de caráter intensivo e extensivo. Atualmente restam somente alguns pequenos trechos da mata atlântica e de seus ecossistemas (PDRH Rio Paraíba 2001).

### **4.2 Características da Bacia Hidrográfica do rio Mamanguape**

Dos rios que drenam a porção oriental do estado da Paraíba, os rios Paraíba e Mamanguape são os mais importantes pelo que significaram no processo histórico de ocupação deste estado. Na bacia do rio Mamanguape estão três regiões distintas: Brejo, Agreste e Baixo-vale.

A Bacia do Mamanguape encontra-se, inserida nas microrregiões de Esperança Brejo Paraibano, Guarabira e Litoral Norte (figura 4.4).

A divisão do curso do rio Mamanguape em alto, médio e baixo curso se dá não só em função do relevo e do clima, mas, sobretudo do tipo de ocupação e das atividades econômicas que se desenvolvem ao longo do rio. Sendo assim, o alto curso compreende o trecho em que o rio está sobre o Planalto da Borborema, descendo a serra e passando por Alagoa Grande até a cidade de Mulungú. Neste trecho, o rio corta o Cariri e o Brejo, chegando ao Agreste. O médio curso situa-se na região do Agreste propriamente, onde predomina a atividade pecuária. O baixo curso compreende o tabuleiro costeiro e a zona de influência das marés. No tabuleiro, onde é praticada a atividade canavieira. Na zona de marés, predominam os manguezais e a atividade pesqueira das populações ribeiras.

O rio Mamanguape deságua no Oceano Atlântico na Cidade de Rio Tinto, drenando uma área de 3.522,69 km<sup>2</sup> (PERH – PB 2006). Da nascente até a foz, o rio Mamanguape passa pelas cidades de Alagoa Grande, Mulungú, Mamanguape e Rio Tinto. O rio é temporário em quase toda a sua extensão, tornando-se perene até onde chega à influência das marés oceânicas. A largura na foz alcança 4 km.

No passado, a navegação era intensa chegando o rio a atingir 70 quilômetros de curso navegável, em períodos de chuvas. Atualmente a navegação alcança apenas 16 quilômetros através da área dos manguezais, em embarcações pequenas.

Seus principais afluentes são os rios Araçagi, que inicia seu percurso em Serraria, e o Quandú, no município de Bananeiras. Ambos são perenes e contribuem, por isso, com muito volume de água na bacia do Mamanguape.

#### **4.2.1 Características climáticas e fisiográficas da bacia do Mamanguape**

##### **Clima**

A bacia hidrográfica do Mamanguape apresenta pouca variação intra-anual na sua temperatura média anual sendo a mesma em torno dos 25°C, possui um clima quente, e uma distribuição espacial da temperatura altamente dependente do relevo.

Como é comum no Nordeste brasileiro seu regime pluviométrico mensal e anual apresentam grandes irregularidades, com concentração de precipitações em poucos meses do ano e com a ocorrência de anos muito secos e outros muitos chuvosos.

Quanto à evaporação, os dados obtidos a partir de tanque classe A, mostram uma variação entre 2.200 a 3.000 mm.

A umidade relativa média do ar varia de cerca de 70% a 87 % para o conjunto da bacia, com valores máximos em abril e mínimos em outubro. A insolação nesta região apresenta semelhança com a da parte baixa do rio Paraíba, com variações nos valores médios mensais de Janeiro a Julho, cuja duração efetiva do dia é de 7 a 8 horas diárias, e de Agosto a dezembro, sendo da ordem de 8 a 9 horas diárias.

A distribuição de precipitação na região é razoavelmente uniforme (figura 4.5) com valores médios variando de 800mm a 2000mm, o que a caracteriza como uma região chuvosa.

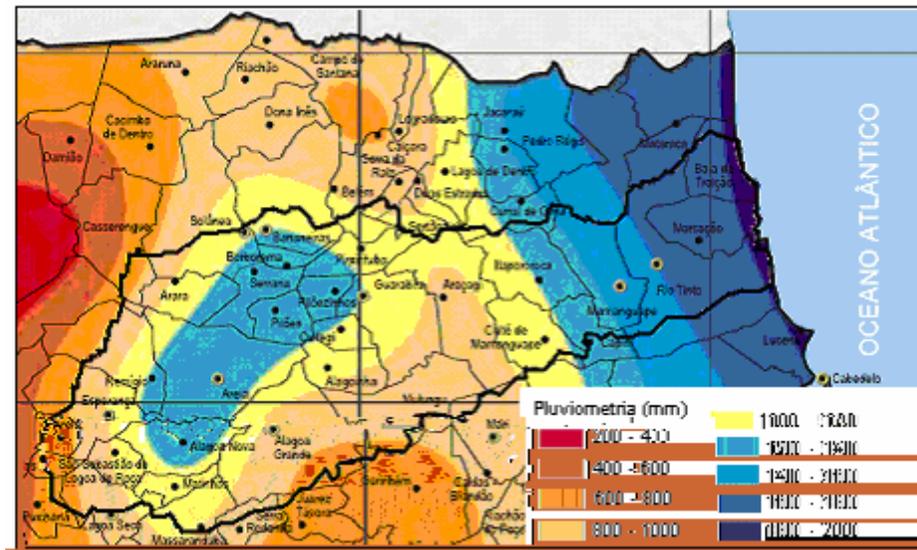


Figura 4.4 - Pluviometria Média da Bacia do Mamanguape  
 Fonte: Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba 2006

### Relevo

O relevo da região da bacia do Mamanguape caracteriza-se por apresentar formas que vão de ondulado, forte ondulado a montanhoso. Na parte do Alto Mamanguape apresenta áreas que chegam a mais de 500 metros de altitude, no planalto da Borborema ([www.paraíba.org.br/mamanguape](http://www.paraíba.org.br/mamanguape)). De lá, segue com seu leito escavado em profundo vale, descendo a serra da Borborema, quando alcança a cidade de Alagoa Grande, no Brejo alcança níveis inferiores aos 200 metros, chegando a sua foz com valores próximos de zero.

### Solos

Em quase toda a extensão da Bacia do Mamanguape o tipo de solo predominante é o Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico, apresentando também em sua parte litorânea a presença de Areias Quartzosas Distóficas e alguns Solos Aluviais (figura 4.5).

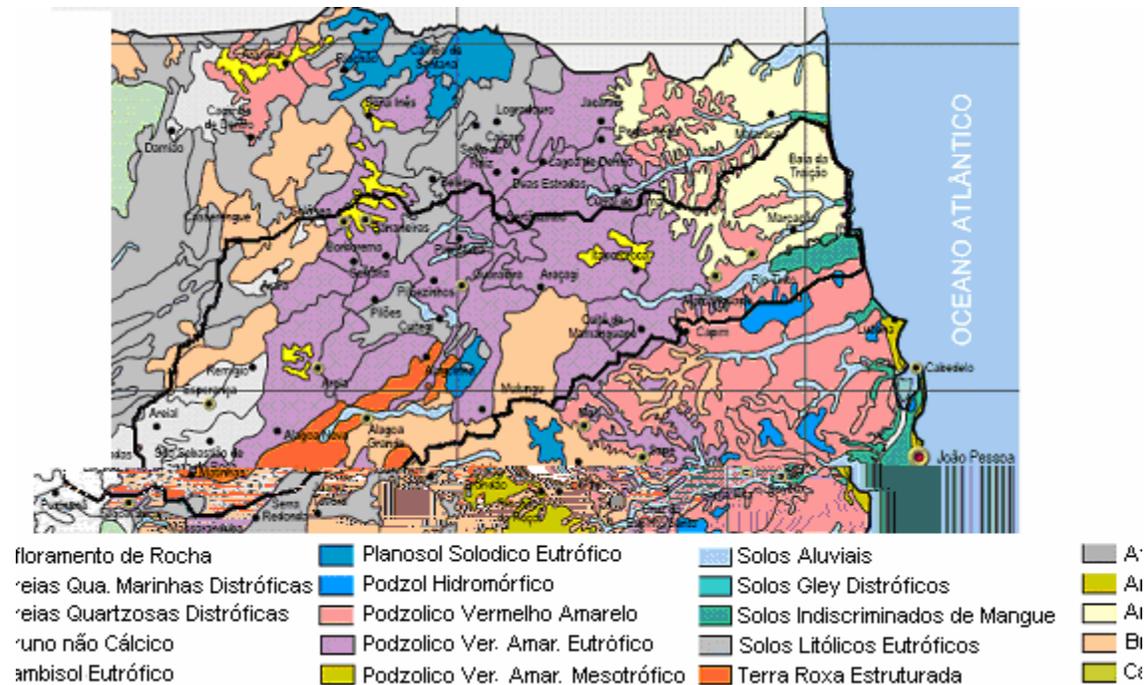


Figura 4.5 - Solos da Bacia do Mamanguape  
 Fonte: Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba 2006.

## Vegetação

Na região do Alto Mamanguape a vegetação predominante era a mata tropical de altitude, com espécies da zona costeira. A floresta foi destruída, permanecendo poucas manchas remanescentes, que atualmente podem ser observadas na região de Matinhas.

No médio curso do rio predominam a pecuária, atividade típica das áreas mais secas e a pequena produção de lavouras de milho, feijão e mandioca. Na paisagem, destacam-se as fazendas de gado que, em geral, possuem aglomerado de moradores, e as pastagens. Do ponto de vista ambiental, permanecem no médio curso os mesmos problemas observados no alto curso, ou seja, ausência de vegetação ribeirinha, retirada de areia e desmatamento das áreas florestadas.

O Baixo curso do rio Mamanguape compreende duas regiões distintas: os tabuleiros costeiros e a área de influência das marés, onde predominam os manguezais.

## 4.3 Base de Dados

### 4.3.1 Dados Hidroclimatológicos

As áreas de estudo foram delimitadas a partir de mapas da SUDENE, os quais foram digitalizados e geograficamente orientados. Após a delimitação das áreas foram selecionados os postos fluviométricos e pluviométricos do banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas).

Os postos fluviométricos (figura 4.6) e seus respectivos períodos de dados encontram-se na tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Período de Dados dos Postos Fluviométricos**

Código	Nome do Posto	Latitude			Longitude			Altitude (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Período de Dados
		gg	mm	ss	gg	mm	ss			
38880000	Guarita	7	20	4	35	22	22	50	17220	(1970 a 1987)
38895000	Ponte da Batalha	7	7	48	35	2	51	18	19244	(1970 a 1989)
38750000	Mulungú	7	1	47	35	28	5	100	1052	(1974 a 1988)
38790000	Ponte do Leitão	6	51	7	35	9	47	60	2910	(1970 a 1990)



Figura 4.6 – Distribuição dos postos Fluviométricos nas Bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape.

Os postos pluviométricos foram selecionados buscando uma distribuição homogênea nos 3925 km<sup>2</sup> da Bacia do baixo rio Paraíba e 3522 km<sup>2</sup> da Bacia do Mamanguape, totalizando 49 postos (tabela 4.2), dos quais 38 estão localizados no Estado da Paraíba e 11 no Estado de Pernambuco.

**Tabela 4.2 - Postos Pluviométricos Selecionados**

	Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)	Período De dados
				gg	mm	ss	gg	mm	ss		
1	Acaú	735035	PB	7	7	0	35	21	0	146	62-94
2	Açude Boqueirão	736023	PB	7	29	0	36	7	0	380	61-94
3	Algodão	636031	PB	6	53	0	36	2	0	470	62-83
4	Alagoa Grande	735033	PB	7	3	0	35	38	0	180	59-90
5	Alhandra	734008	PB	7	26	0	34	55	0	49	36-94
6	Aliança (Paraguaçu)	735038	PE	7	35	0	35	12	0	60	63-92
7	Alagoa Nova	735030	PB	7	4	0	35	47	0	500	11-93
8	Aroeiras	735029	PB	7	31	0	35	41	0	340	62-94
9	Bananeiras	635033	PB	6	46	0	35	38	0	552	30-94
10	Bodocongó 1	735028	PB	7	32	0	35	29	0	350	33-94
11	Bodocongó 2	735124	PB	7	31	42	35	59	59	350	70-06
12	Bom Jardim	735041	PE	7	48	0	35	35	0	325	11-93
13	Barra de Santa Rosa	636032	PB	6	43	0	36	4	0	440	30-83
14	Buenos Aires	735045	PE	7	47	0	35	22	0	150	67-93
15	Cacimba de Dentro	635037	PB	6	38	0	35	47	0	460	62-94
16	Campina Grande	735024	PB	7	12	0	35	51	0	508	62-68
17	Catolé	736019	PB	7	19	0	36	1	0	470	62-80
18	Cruz do Espírito Santo	735019	PB	7	9	0	35	5	0	20	11-90
19	Cuité	366035	PB	6	29	0	36	9	0	620	62-83
20	Fagundes	735018	PB	7	21	0	35	48	0	520	62-93
21	Faz. Lagoa dos Macacos	735012	PB	7	32	0	35	49	0	430	62-94
22	Goiânia	734009	PE	7	37	0	34	59	0	13	64-68
23	Ingá	735017	PB	7	17	0	35	37	0	144	10-88
24	Itabaiana	735015	PB	7	20	0	35	20	0	45	10-87
25	Itambé	735072	PB	7	25	0	35	7	0	190	10-90
26	Itapirema	734012	PE	7	40	0	35	56	0	30	79-85
27	Itaquitinga	735056	PE	7	40	0	35	6	0	80	67-91
28	Jacarajú	635043	PB	6	40	0	35	17	0	140	62-93
29	João Pessoa 1	734002	PB	7	8	0	34	53	0	5	64-85
30	João Pessoa 2	734003	PB	7	8	0	30	53	0	5	12-85
31	João Pessoa 3	734004	PB	7	8	0	34	53	0	37	77-78
32	Macaparama	735060	PE	7	33	0	35	27	0	350	63-92
33	Machados	735061	PE	7	41	0	35	31	0	320	63-93
34	Mataraca	635045	PB	6	36	0	35	3	0	35	62-87
35	Mata Virgem	735011	PB	7	44	0	35	49	0	645	62-94
36	Mogeiro	735010	PB	7	18	0	35	29	0	110	62-94
37	Mulungú	735009	PB	7	1	46	35	28	5	100	26-06
38	Pilar	735007	PB	7	16	0	35	17	0	35	62-94
39	Pocinhos	736014	PB	7	4	0	36	4	0	624	23-93
40	Ponte da Batalha	735036	PB	7	7	48	35	2	51	18	70-06
41	Riacho Santo Antônio	736013	PB	7	42	0	36	9	0	455	62-93
42	Sapé	735006	PB	7	6	0	35	14	0	125	24-93
43	Serraria	635048	PB	6	49	0	35	38	0	360	11-91
44	Sossego	636040	PB	6	46	0	36	15	0	600	62-83
45	Surubim	735068	PE	7	50	0	35	45	0	380	11-85
46	Taquaritinga do Norte	736021	PE	7	54	0	36	3	0	785	11-92
47	Timbaúba	735074	PE	7	31	0	35	19	0	190	11-89
48	Umbuzeiro	735002	PB	7	42	0	35	40	0	553	10-94
49	Vicência	735087	PE	7	40	0	35	19	0	90	63-89

Com os valores das evaporações médias mensais observadas nas estações climatológicas de Monteiro, Ouro Velho e Campina Grande, foi feita uma média e os valores utilizados para as simulações. A tabela 4.3 mostra os valores médios diários da evaporação em cada mês.

**Tabela 4.3 - Evaporação média diária**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação (mm)	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97

\*dados de tanque classe A

## CAPÍTULO 5

### 5.0 CALIBRAÇÃO DO MODELO NAVMO

#### 5.1 Modelagem das bacias

De posse de mapas da SUDENE, as regiões do baixo rio Paraíba e Mamanguape foram delimitadas e divididas, conforme requerido pelo modelo NAVMO, em sub-bacias (figura 5.1), sendo a bacia do Baixo Paraíba dividida em 13 sub-bacias e a bacia do Mamanguape em 5 sub-bacias. Buscando-se sempre coincidir cada uma das estações fluviométricas com a saída de uma dada sub-bacia, possibilitando a comparação de escoamentos simulados e observados.

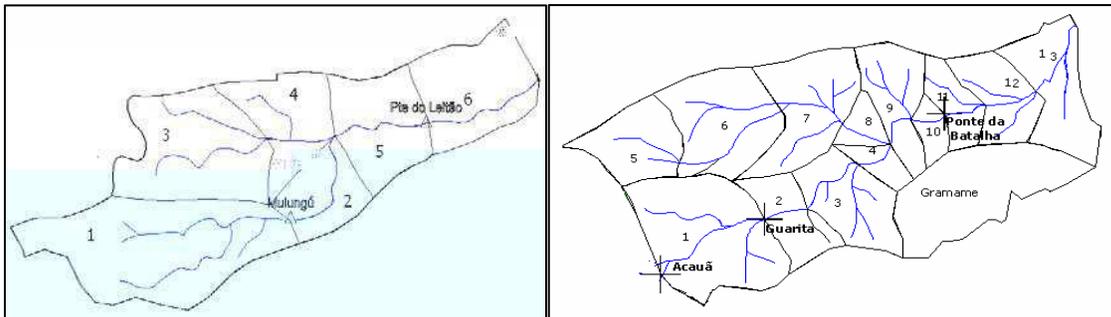


Figura 5.1 – Bacias hidrográficas do Mamanguape (esquerda) e baixo rio Paraíba (direita), com suas divisões em sub-bacias.

As estações fluviométricas de Guarita, Ponte da Batalha indicadas na tabela 4.1, têm seções de saída nas sub-bacias 1, 10, e as estações de Mulungú e Ponte do leiteiro, têm seções de saída nas sub-bacias 1 e 5 respectivamente. Os dados das áreas das sub-bacias, coordenadas cartesianas dos seus centróides, cotas e comprimentos de trechos de rios, foram obtidos a partir dos mapas da SUDENE e são apresentados no Anexo A.

O método de Williams foi utilizado para a propagação do fluxo nos canais. Os dados das seções onde ocorre propagação, conforme requerido pelo modelo (Anexo A),

foram determinados com base em dados das seções transversais das estações fluviométricas de cada posto no site da HIDRO-WEB.

## 5.2 Calibração

De acordo com Lacerda Jr. (2002) e Braga (2001), os parâmetros que mais afetam o escoamento no modelo NAVMO são ALFA, EET e CN, entretanto para a calibração do modelo para as bacias do Paraíba e Mamanguape também foi calibrado o parâmetro QBSP que inicialmente define o escoamento subterrâneo e funciona como uma vazão de regularização para o modelo. Também foi calibrado o parâmetro BETA para as estações de Ponte da Batalha, Mulungú e Ponte do Leitão, sendo esse parâmetro um coeficiente do escoamento sub-superficial. Isso devido ao fato de ambas as bacias possuírem rios com fluxo regularizado. Essas calibrações levaram em consideração a variabilidade do clima e do uso do solo sobre o escoamento nas bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape e suas sub-bacias, comparando-se vazões máximas e volumes anuais simulados com os observados, bem como hidrogramas diários simulados e observados.

Para a calibração foram utilizados dados diários de quatro estações fluviométricas, duas na bacia do baixo rio Paraíba e duas na bacia do Mamanguape (ver figura 4.7) e de 49 postos pluviométricos (tabela 4.2).

Para a variabilidade do clima os anos foram classificados em anos secos,  $P < 600$  mm/ano, normais,  $600 < P < 800$  mm/ano e úmidos  $P > 800$  mm/ano (Cadier, 1996; Figueiredo e Srinivasan, 1999).

A umidade inicial do solo foi fixada em 5%, o que corresponde a um déficit de umidade de 95%, devido ao fato de que as simulações são conduzidas para um período que inicia na fase de estiagem (geralmente 1 de janeiro de cada ano).

Os valores de ALFA, EET, CN, QBSP e BETA foram calibrados por tentativa e erro, comparando-se hidrogramas, vazões máximas e volumes anuais. Os outros parâmetros do modelo mostraram pouca sensibilidade, por isso não foram calibrados.

Foram utilizados os dados de evapotranspiração potencial de acordo com a tabela 4.3, a partir dos quais o parâmetro EET pode ser ajustado conforme os critérios definidos (vazão máxima, volumes anuais e hidrogramas). Os valores calibrados de ALFA, EET, CN, QBSP e BETA estão dispostos nas tabelas 5.1 a 5.8.

**Tabela 5.1 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP Calibrados para o posto de Guarita pelos Volumes.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	CN	Classificação
1970	1,660	0,200	-	80,00	ÚMIDO
1971	0,262	0,400	0,005	80,00	ÚMIDO
1972	1,800	0,240	0,005	90,00	ÚMIDO
1973	0,480	0,240	0,005	70,00	ÚMIDO
1974	0,100	0,500	0,005	70,00	ÚMIDO
1975	0,100	0,300	0,005	90,00	ÚMIDO
1976	0,910	0,300	0,005	90,00	ÚMIDO
1978	0,040	0,300	0,005	95,00	ÚMIDO
1979	1,200	0,660	0,005	80,00	NORMAL
1980	2,800	0,300	-	60,00	NORMAL
1982	2,000	0,400	0,005	75,00	NORMAL
1983	2,000	0,550	0,004	60,00	NORMAL
1984	0,190	0,370	0,005	97,00	ÚMIDO
1986	0,200	0,400	0,020	97,00	ÚMIDO
1987	1,500	0,580	0,002	70,00	NORMAL

**Tabela 5.2 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP calibrados para o posto de Guarita pelos Picos.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	CN	Classificação
1970	1,000	0,251	0,004	80,00	ÚMIDO
1971	0,500	0,550	0,006	70,00	ÚMIDO
1972	1,000	0,350	0,004	70,00	ÚMIDO
1973	0,500	0,500	0,004	80,00	ÚMIDO
1975	0,500	0,650	0,010	95,00	ÚMIDO
1976	0,500	0,400	0,006	80,00	ÚMIDO
1978	0,700	0,700	0,006	95,00	ÚMIDO
1979	1,700	0,572	0,002	75,00	NORMAL
1980	2,800	0,200	-	60,00	NORMAL
1982	2,500	0,720	0,001	60,00	NORMAL
1983	2,700	0,620	0,001	60,00	NORMAL
1984	0,200	0,400	0,006	95,00	ÚMIDO
1987	2,800	0,580	0,003	55,00	NORMAL

**Tabela 5.3 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte da Batalha pelos Volumes.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1970	2,040	0,158	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1971	1,580	0,262	0,001	0,100	90,00	ÚMIDO
1972	2,050	0,168	0,001	0,300	80,00	ÚMIDO
1973	1,430	0,248	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1974	0,600	0,600	0,017	0,100	80,00	ÚMIDO
1975	2,120	0,100	0,008	0,100	80,00	ÚMIDO
1976	2,000	0,113	0,005	0,100	80,00	ÚMIDO
1978	0,800	0,350	0,006	0,100	90,00	ÚMIDO
1979	1,100	0,214	0,001	0,100	90,00	ÚMIDO
1980	2,040	0,120	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1982	1,490	0,221	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1983	2,340	0,078	-	0,300	80,00	ÚMIDO
1984	0,700	0,450	0,007	0,100	95,00	ÚMIDO
1986	0,450	0,600	0,007	0,100	90,00	ÚMIDO
1987	1,000	0,210	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1988	0,510	0,420	0,003	0,100	90,00	ÚMIDO
1989	0,300	0,440	0,003	0,100	90,00	ÚMIDO

**Tabela 5.4 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte da Batalha pelos Picos.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1970	2,400	0,046	0,002	0,600	75,00	ÚMIDO
1971	1,500	0,310	0,002	0,600	80,00	ÚMIDO
1972	1,900	0,131	0,001	0,600	75,00	ÚMIDO
1973	0,900	0,360	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1974	0,500	0,600	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1975	0,800	0,300	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1976	1,380	0,120	0,002	0,100	80,00	ÚMIDO
1978	1,000	0,340	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1979	1,430	0,228	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1980	2,000	0,090	-	0,300	80,00	ÚMIDO
1982	1,000	0,300	-	0,300	80,00	ÚMIDO
1983	1,800	0,150	-	0,300	80,00	ÚMIDO
1984	1,200	0,270	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1986	1,200	0,300	-	0,200	80,00	ÚMIDO
1987	1,800	0,170	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1988	0,200	0,800	0,004	0,100	80,00	ÚMIDO
1989	0,800	0,750	0,001	0,100	80,00	ÚMIDO

**Tabela 5.5 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Munlungú pelos Volumes.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1974	3,000	0,005	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1975	3,000	0,009	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1976	3,500	0,001	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1978	2,730	0,008	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1979	2,380	0,009	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1980	3,500	0,001	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1982	3,050	0,004	-	0,900	70,00	ÚMIDO
1983	3,500	0,170	-	0,900	70,00	NORMAL
1984	2,000	0,015	-	0,100	70,00	ÚMIDO
1986	2,050	0,010	-	0,500	70,00	ÚMIDO
1987	3,620	0,005	-	0,550	65,00	ÚMIDO
1988	1,560	0,010	0,001	0,100	65,00	ÚMIDO

**Tabela 5.6 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Mulungú pelos Picos.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1974	2,600	0,025	-	0,700	80,00	ÚMIDO
1975	2,600	0,062	-	0,700	80,00	ÚMIDO
1976	2,400	0,091	-	0,700	80,00	ÚMIDO
1978	2,200	0,180	-	0,600	80,00	ÚMIDO
1979	2,600	0,045	-	0,700	80,00	ÚMIDO
1980	2,700	0,020	-	0,800	80,00	ÚMIDO
1982	2,700	0,010	-	0,800	80,00	ÚMIDO
1983	3,500	0,100	-	0,300	70,00	NORMAL
1984	2,400	0,070	-	0,500	80,00	ÚMIDO
1986	1,000	0,016	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1987	2,500	0,040	-	0,550	80,00	ÚMIDO
1988	0,500	0,120	-	0,100	80,00	ÚMIDO

**Tabela 5.7 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte do Leitão pelos Volumes.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1970	3,050	0,009	0,001	0,400	70,00	ÚMIDO
1971	2,160	0,012	0,001	0,100	70,00	ÚMIDO
1972	1,900	0,010	0,001	0,100	70,00	ÚMIDO
1973	2,000	0,013	-	0,400	70,00	ÚMIDO
1976	2,780	0,009	-	0,800	70,00	ÚMIDO
1977	2,770	0,013	-	0,600	70,00	ÚMIDO
1978	1,770	0,015	-	0,100	70,00	ÚMIDO
1979	2,330	0,012	-	0,300	70,00	ÚMIDO
1980	3,380	0,010	-	0,300	70,00	ÚMIDO
1981	3,700	0,002	-	0,400	70,00	ÚMIDO
1982	1,600	0,012	-	0,100	70,00	ÚMIDO
1983	1,700	0,013	-	0,100	70,00	ÚMIDO
1984	2,010	0,013	-	0,168	70,00	ÚMIDO
1985	1,220	0,013	0,002	0,100	70,00	ÚMIDO
1986	1,280	0,013	0,002	0,100	70,00	ÚMIDO
1987	1,710	0,013	0,002	0,100	70,00	ÚMIDO
1990	1,820	0,013	0,002	0,100	70,00	ÚMIDO

**Tabela 5.8 – Valores de EET, ALFA, CN, BETA e QBSP Calibrados para o posto de Ponte do Leitão pelos Picos.**

Ano	EET	ALFA	QBSP	BETA	CN	Classificação
1970	1,000	0,592	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1971	2,500	0,100	-	0,500	80,00	ÚMIDO
1972	2,600	0,057	-	0,600	70,00	ÚMIDO
1973	1,700	0,250	0,002	0,100	90,00	ÚMIDO
1976	1,800	0,257	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1977	2,250	0,180	0,002	0,100	80,00	ÚMIDO
1978	2,000	0,180	-	0,100	80,00	ÚMIDO
1979	1,000	0,363	0,002	0,100	70,00	ÚMIDO
1980	2,200	0,100	0,002	0,200	80,00	ÚMIDO
1981	2,500	0,078	-	0,535	80,00	ÚMIDO
1982	2,400	0,094	-	0,500	80,00	ÚMIDO
1983	2,250	0,120	-	0,500	80,00	ÚMIDO
1984	1,700	0,300	0,001	0,100	90,00	ÚMIDO
1985	1,000	0,400	0,001	0,100	95,00	ÚMIDO
1986	1,000	0,336	0,003	0,100	90,00	ÚMIDO
1987	1,200	0,310	0,002	0,100	95,00	ÚMIDO
1990	1,900	0,250	0,001	0,100	70,00	ÚMIDO

### 5.3 Análise e Discussão da Calibração

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados da calibração feitos com relação aos volumes totais anuais e vazões máximas anuais para cada sub-bacia em um dado ano.

Os resultados serão apresentados através de gráficos de valores anuais simulados X valores anuais observados, do coeficiente de determinação e da comparação entre os hidrogramas diários observados e simulados.

#### 5.3.1 Bacia de Guarita – 17220 Km<sup>2</sup> (1970 – 1987)

Os resultados obtidos para o volume total anual no processo de calibração da bacia de Guarita foram bons, com valores de  $R^2$  superior a 0,8 (figura 5.2), e uma boa representação do processo de escoamento (figura 5.3).

Na calibração para a Vazão Máxima Anual os resultados obtidos não foram tão bons quanto os anteriores, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,6 (figura 5.4) para alguns anos onde a vazão observada era muito alta o modelo NAVMO não representou bem o processo. O processo de escoamento foi bem representado graficamente pelo modelo (figura 5.5).

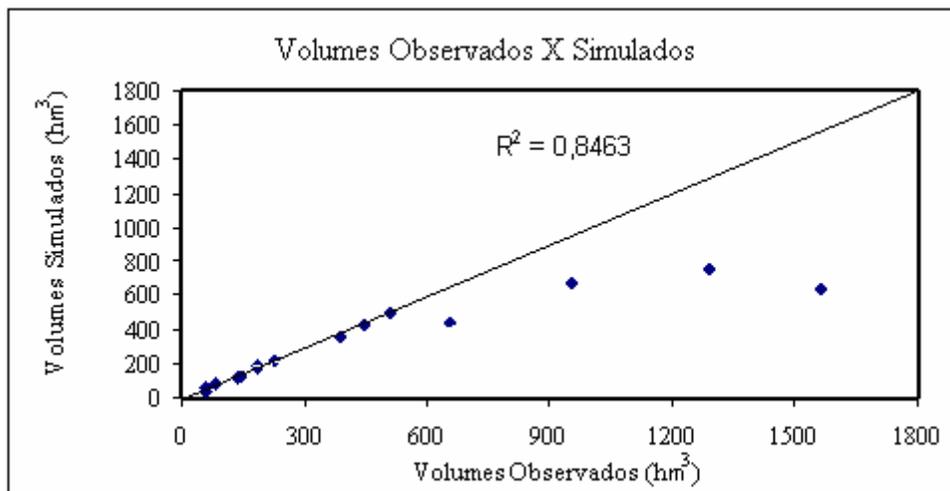


Figura 5.2 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

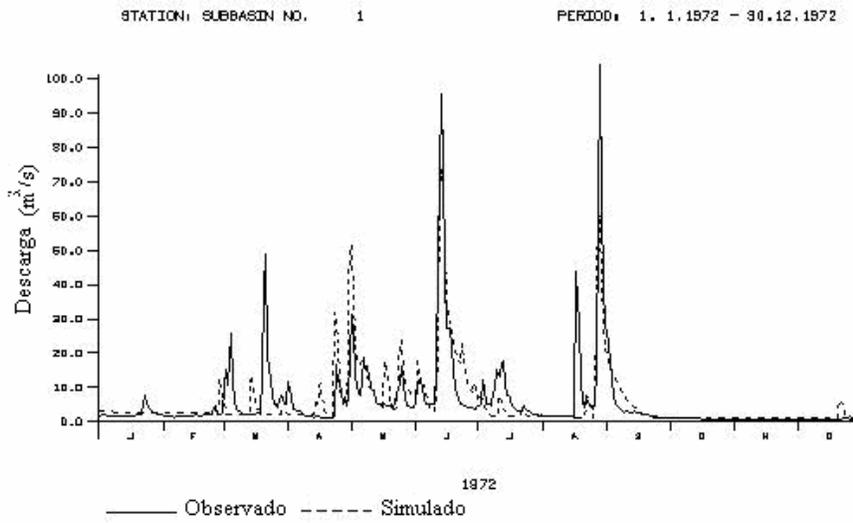


Figura 5.3 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume.

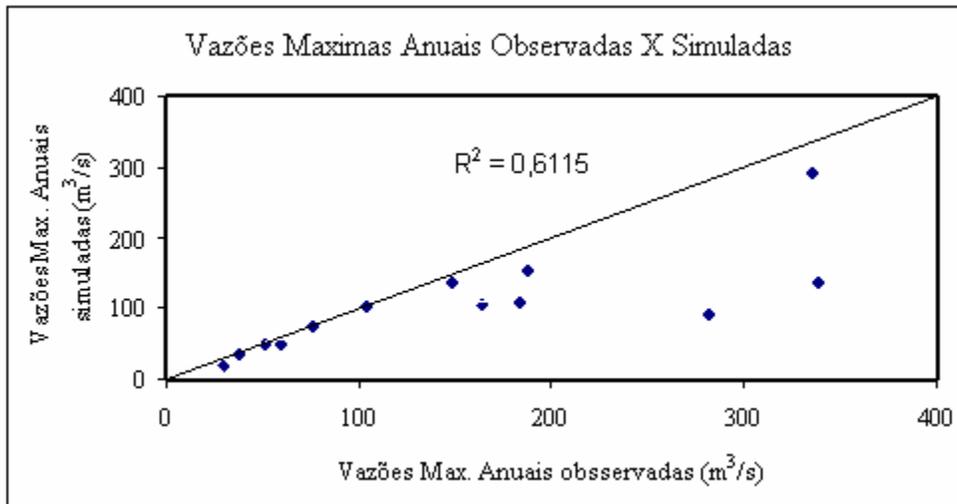


Figura 5.4 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

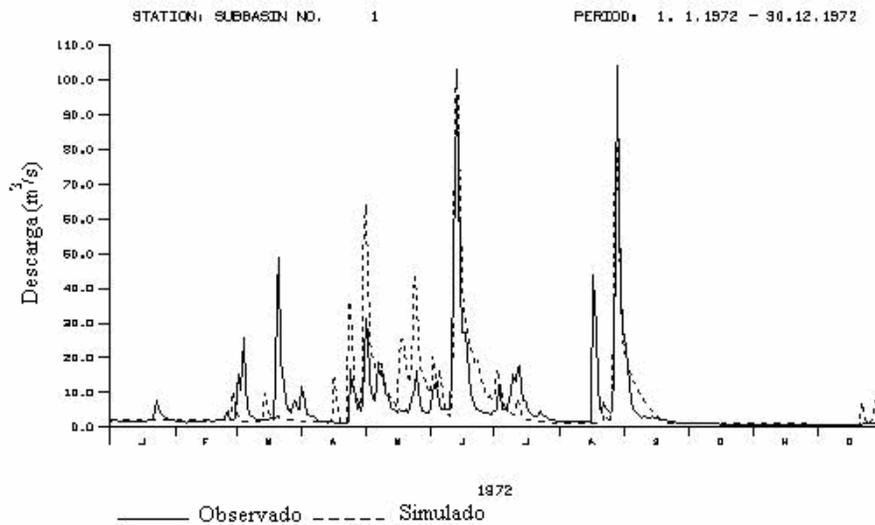


Figura 5.5 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual.

### 5.3.2 Bacia de Ponte da Batalha – 19244 Km<sup>2</sup> (1970 – 1989)

Com os parâmetros calibrados pelo volume total anual os resultados obtidos mostram que o modelo simulou bem os eventos o que ser pode observado nas figuras 5.6 e 5.7, apresentando também uma boa correlação com os dados observados obtendo-se valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9.

Para a calibração realizada com os parâmetros calibrados pela vazão máxima anual, os resultados também mostram que o modelo simulou bem os eventos, apresentando coeficiente de determinação acima de 0,9 (figura 5.8) e uma boa reprodução do hidrograma observado (figura 5.9).

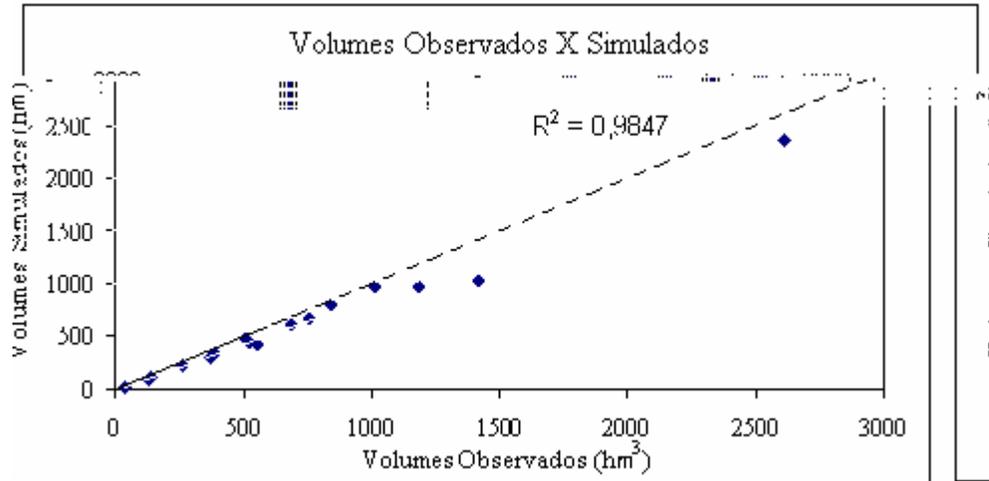


Figura 5.6 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.

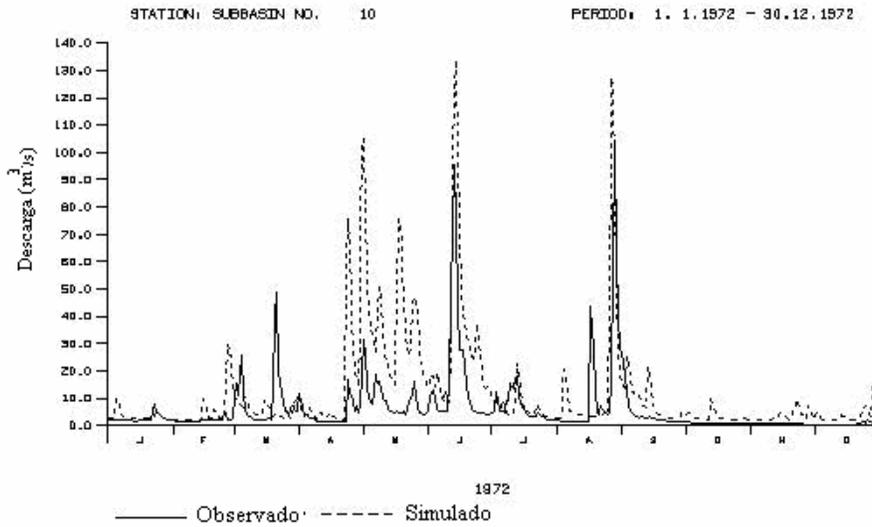


Figura 5.7 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume.

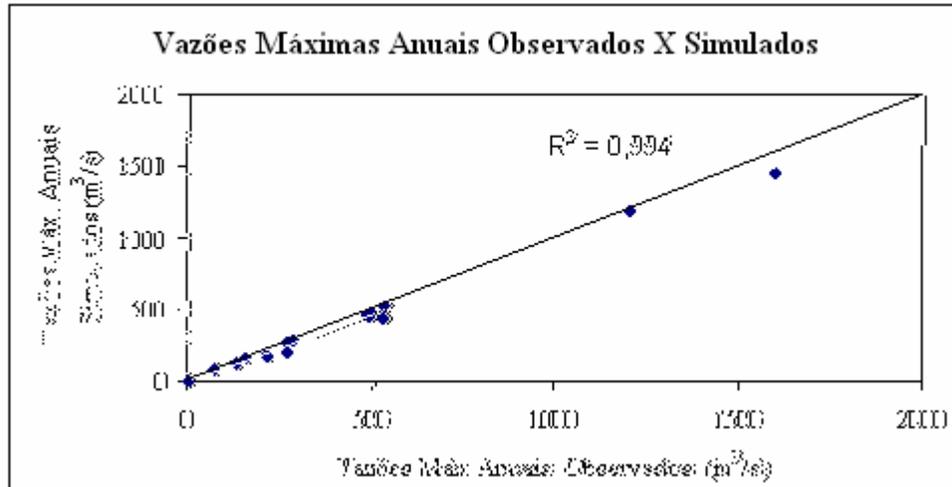


Figura 5.8 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

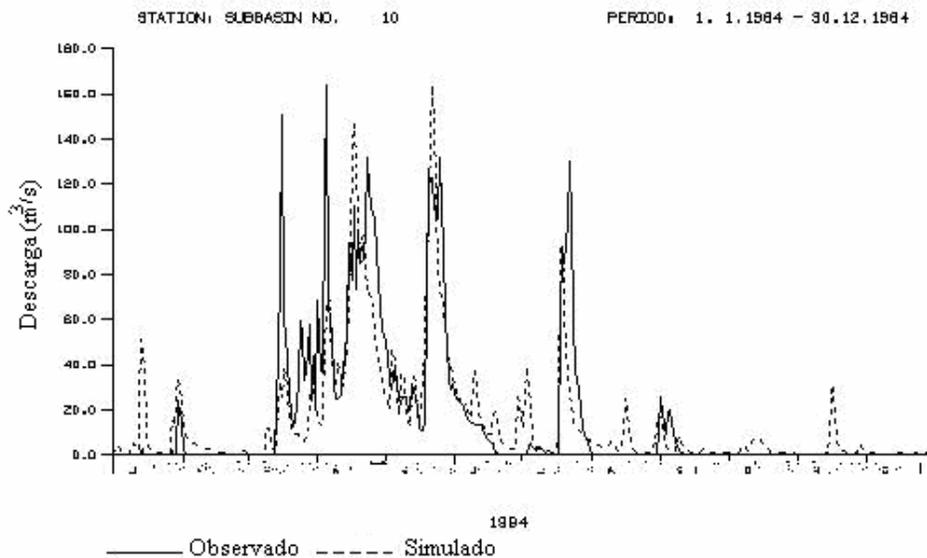


Figura 5.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual.

### 5.3.3 Bacia de Mulungú – 1052 Km<sup>2</sup> (1974 – 1988)

A calibração dos parâmetros levando-se em consideração a comparação entre os volumes totais anuais para a bacia de Mulungú (figuras 5.10 e 5.11), foi razoavelmente bem representada pelo modelo visto que o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,5993, e as representações gráficas dos processos de escoamento foram satisfatórias.

Para a calibração pela vazão máxima anual os resultados obtidos foram bons com um coeficiente de determinação superior a 0,8 (figura 5.12) e uma representação gráfica do processo de escoamento muito próxima da observada (figura 5.13).

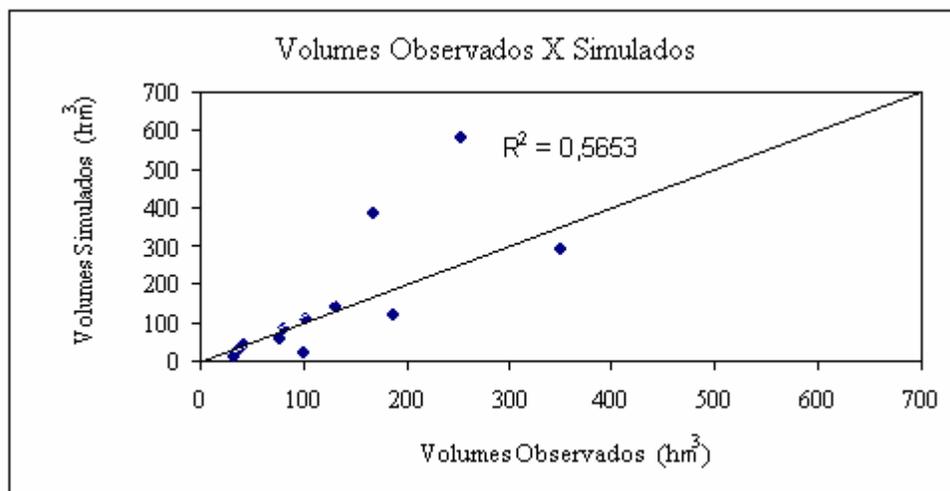


Figura 5.10 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.

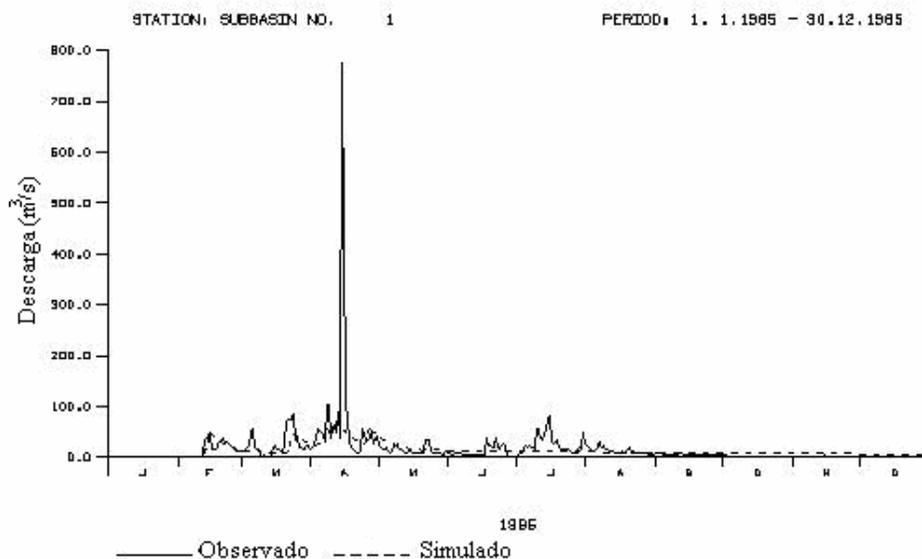


Figura 5.11 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1985 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume.

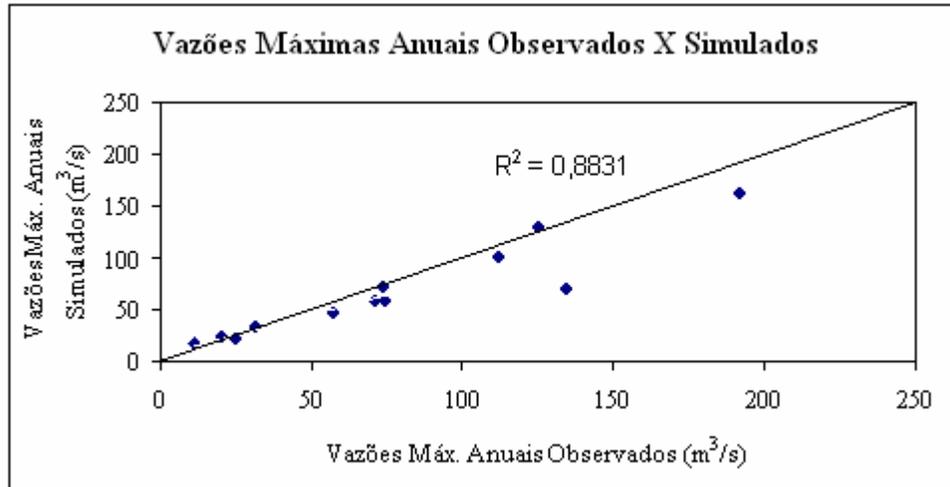


Figura 5.12 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.

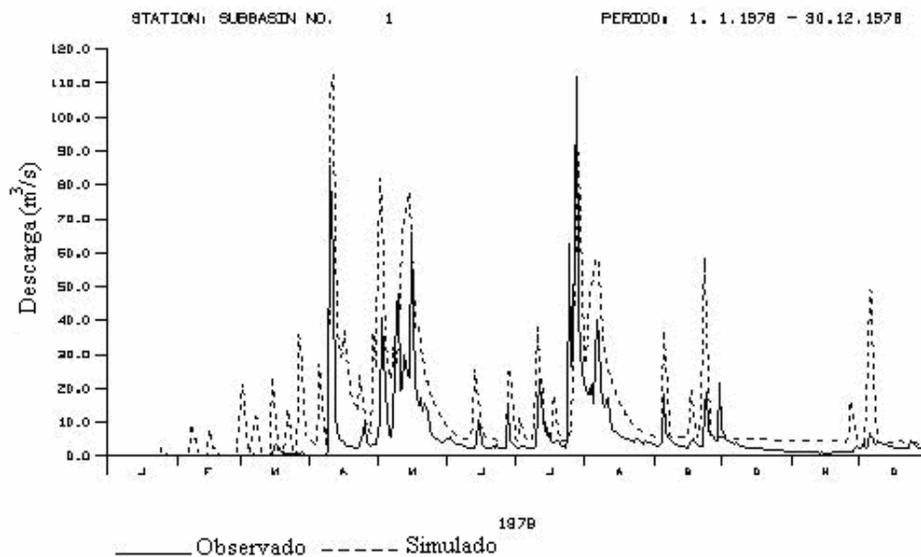


Figura 5.13 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1978 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual.

### 5.3.4 Bacia de Ponte do Leitão – 2910 Km<sup>2</sup> (1970 – 1990)

As figuras 5.14 a 5.17 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados pelo volume total anual e pela vazão máxima anual, respectivamente. De um modo geral, os resultados obtidos foram bons, pois apresentaram boa correlação com os dados observados, obtendo-se valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9 para a calibração pelos volumes totais anuais e 0,7 para a calibração pelas vazões máximas.

Os hidrogramas simulados representaram bem os escoamentos observados, conforme é visto nas figuras 5.15 e 5.17.

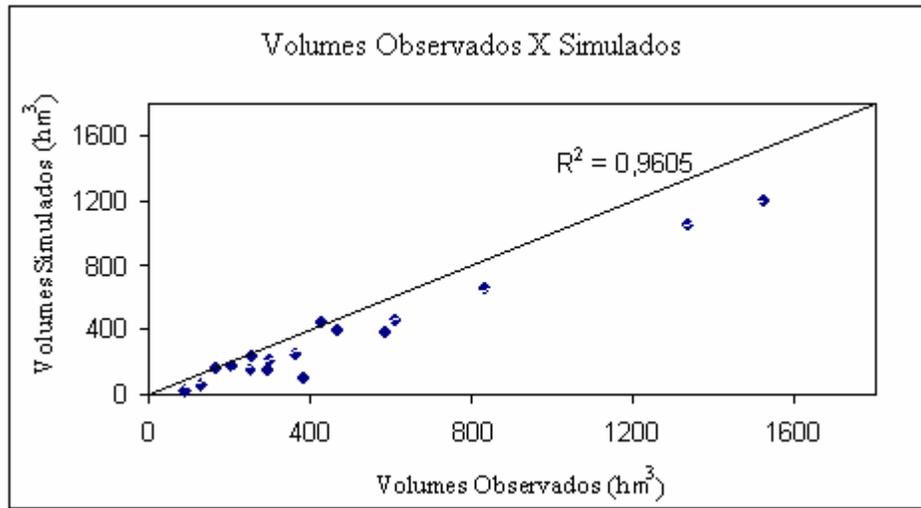


Figura 5.14 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

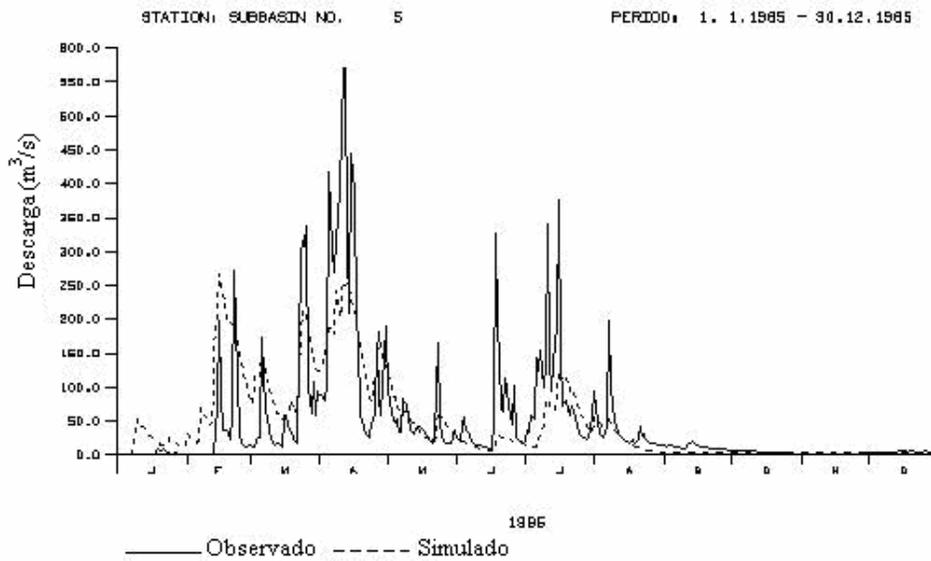


Figura 5.15 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1985 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume.

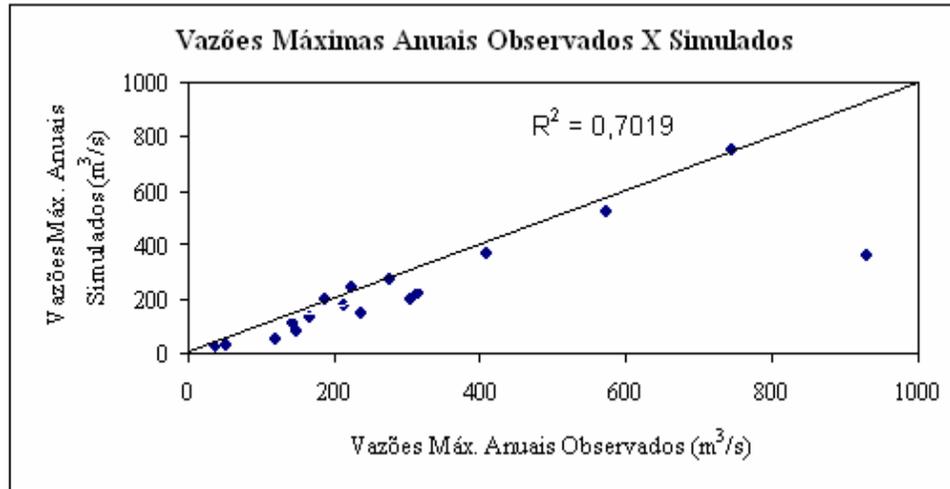


Figura 5.16 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

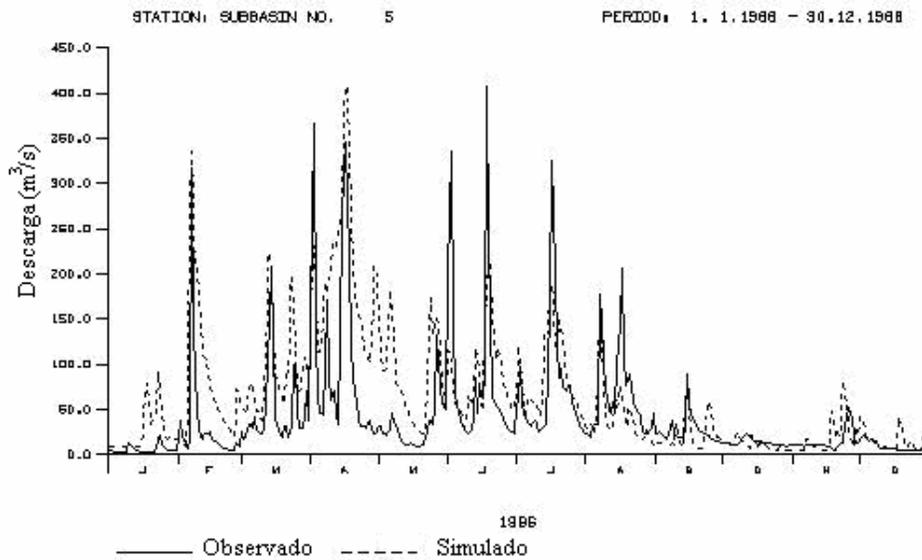


Figura 5.17 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1986 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual.

## CAPÍTULO 6

### 6.0 VALIDAÇÃO DO MODELO NAVMO

#### 6.1 Análise da validação do modelo

Com o objetivo de se verificar a consistência dos valores dos parâmetros obtidos na calibração dos dados diários utilizando o modelo distribuído NAVMO, foi feita a validação do modelo. Tal validação foi feita utilizando diferentes critérios:

- Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações por vazões máximas e volumes (parâmetros médios totais);
- Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes;
- Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelas vazões máximas;
- Simulações com parâmetros classificados de acordo com os anos secos, normais e úmidos;
- Análise do efeito de escala sobre os parâmetros;

#### 6.2 Validação utilizando parâmetros Médios totais

Essa validação foi feita utilizando-se a média dos parâmetros médios da calibração para volumes e da calibração para a vazão máxima anual para cada sub-bacia (tabela 6.1). Os resultados serão apresentados e discutidos com relação aos volumes e vazões máximas anuais, através de gráficos de valores anuais simulados X valores anuais observados e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 6.1 – Valores Médios dos parâmetros (Volumes e Vazões Máximas)

<b>Bacia de Guarita</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias</b>	1,177	0,441	0,0045	-	77,63
<b>Bacia de Ponte da Batalha</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias</b>	1,307	0,295	0,0025	0,168	83,67
<b>Bacia de Mulungú</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias</b>	2,566	0,043	-	0,625	74,19
<b>Bacia de Ponte do Leitão</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias</b>	2,006	0,122	0,001	0,249	75,88

### 6.2.1 Bacia de Guarita

Os resultados obtidos no processo de validação com parâmetros médios totais para a bacia de Guarita não foram bons, pois apresentaram valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito baixos 0,3624 e 0,1795 (figuras 6.1 e 6.2) para a validação pelo volume total anual e para validação pela vazão máxima anual respectivamente. No entanto os hidrogramas simulados representam bem os observados (figura 6.3)

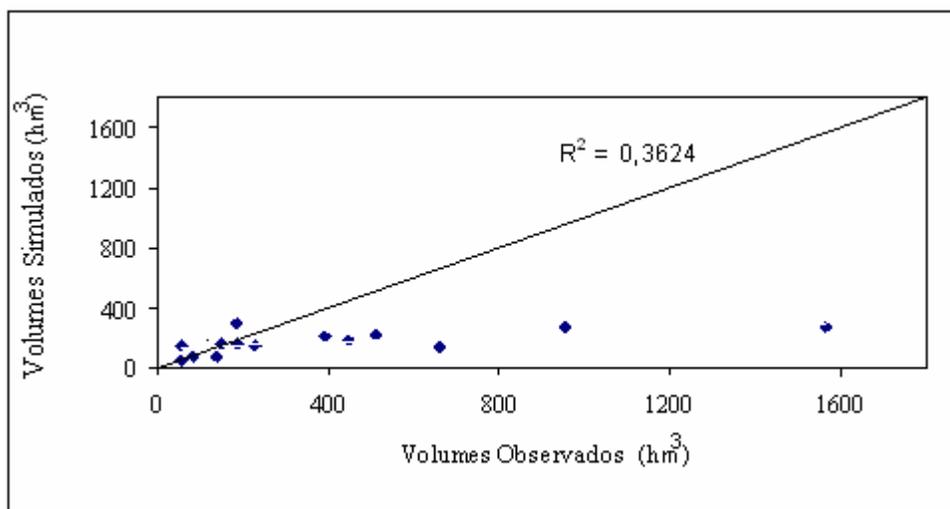


Figura 6.1 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

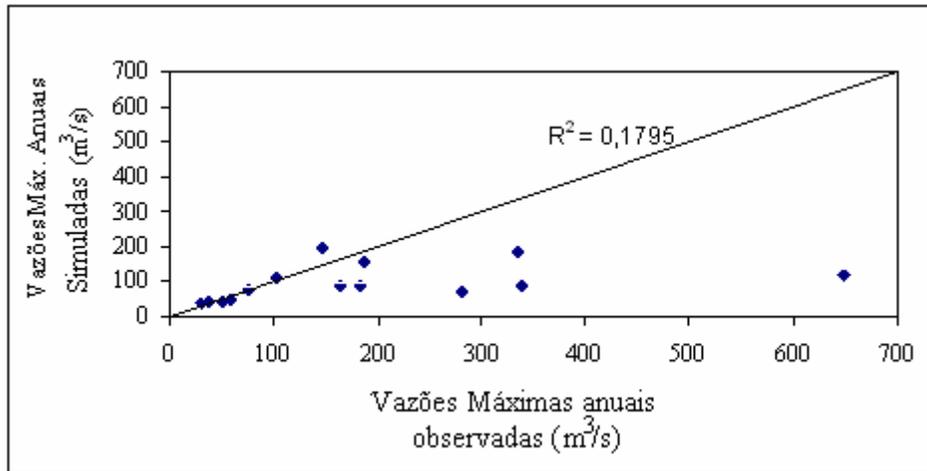


Figura 6.2 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

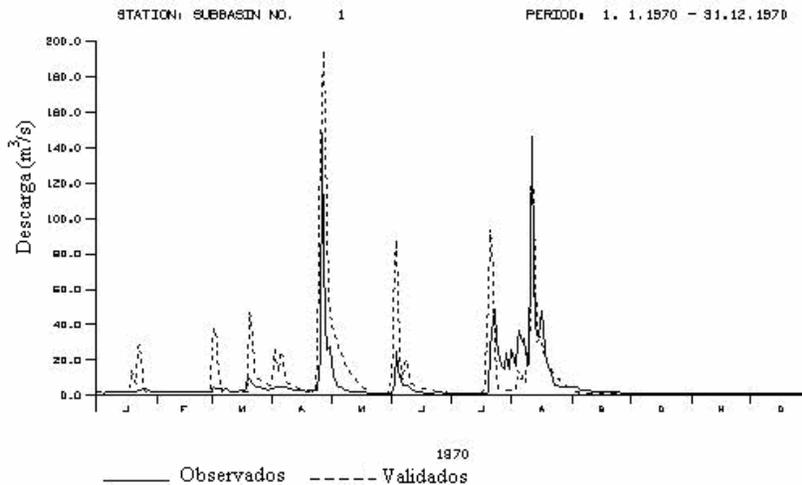


Figura 6.3 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com parâmetros Médios Totais.

### 6.2.2 Bacia de Ponte da Batalha

Os resultados obtidos com parâmetros médios totais para a bacia de Ponte da Batalha na validação pelo volume total anual não foram bons, pois apresentaram valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito baixo (0,2902) o que pode ser observado na figura 6.4. Para validação pela vazão máxima anual os resultados obtidos foram bons, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,8 (figura 6.5) com uma representação gráfica dos escoamentos satisfatória apesar de em alguns anos as vazões máximas terem sido defasadas no tempo (figura 6.6).

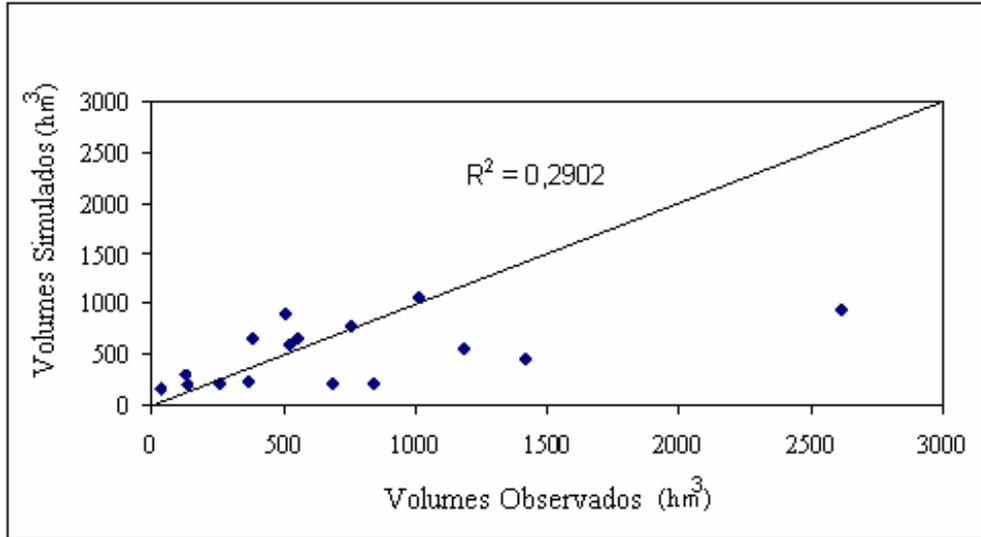


Figura 6.4 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

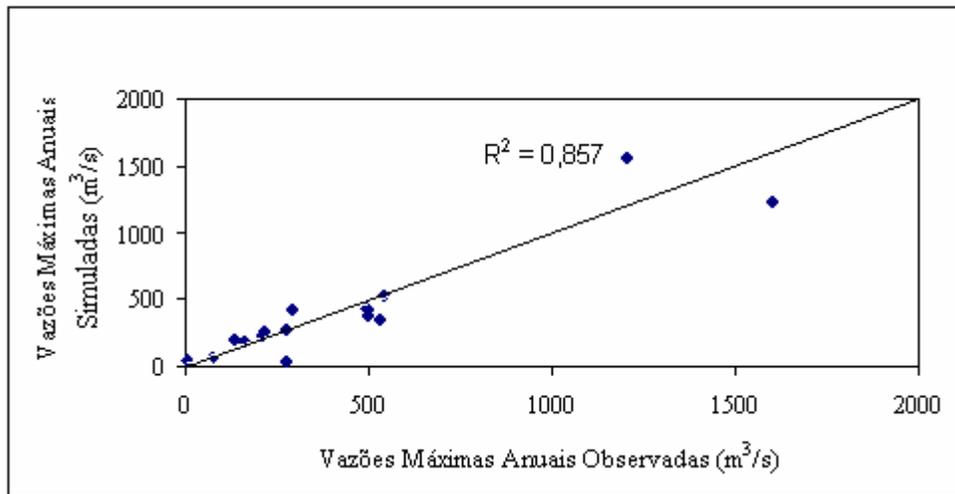


Figura 6.5 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

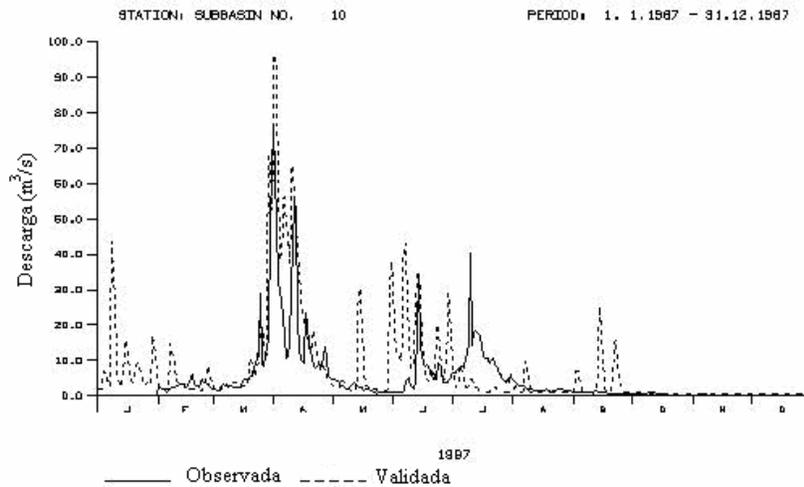


Figura 6.6 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1987 e Simulado com parâmetros Médios Totais.

### 6.2.3 Bacia de Mulungú

Esta validação não foi satisfatória para a bacia de Mulungú haja vista que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) não ultrapassaram 0,35 (figuras 6.7 e 6.8). A representação gráfica dos escoamentos também não foi boa, pois em grande parte dos anos os volumes validados superestimaram os observados conforme se pode ver na distribuição do escoamento indicado na figura 6.9.

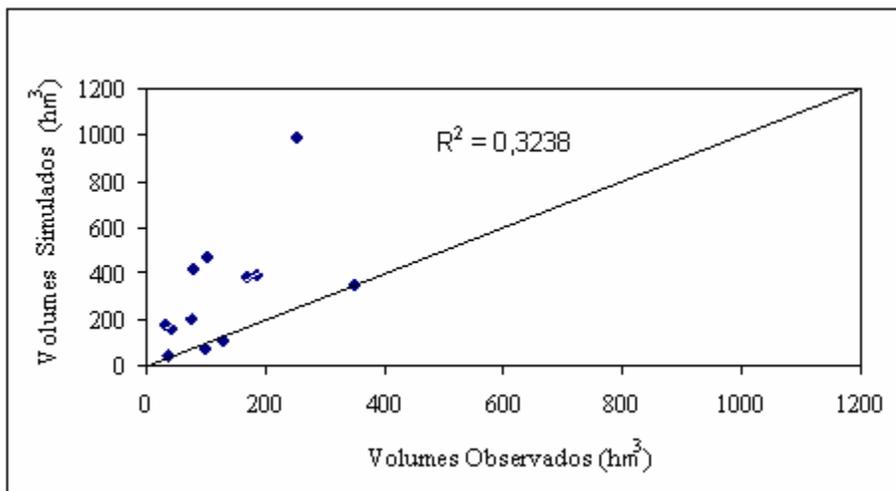


Figura 6.7 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.

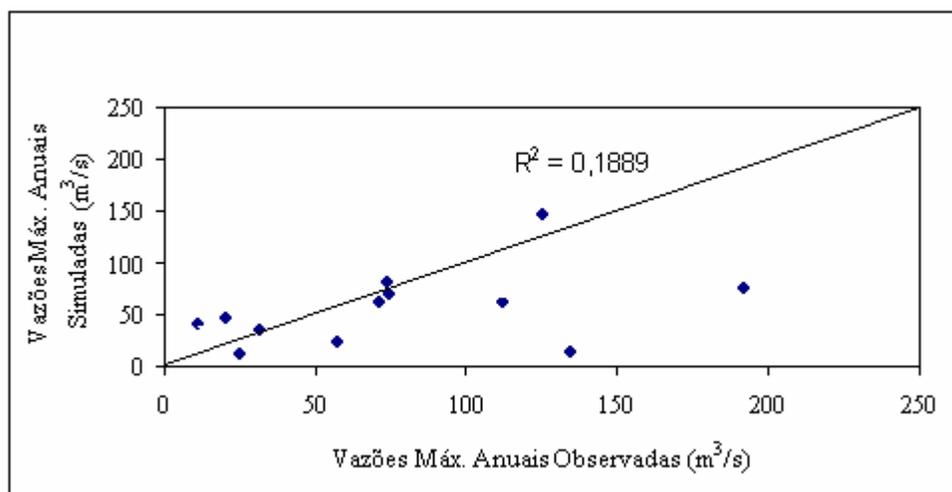


Figura 6.8 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.

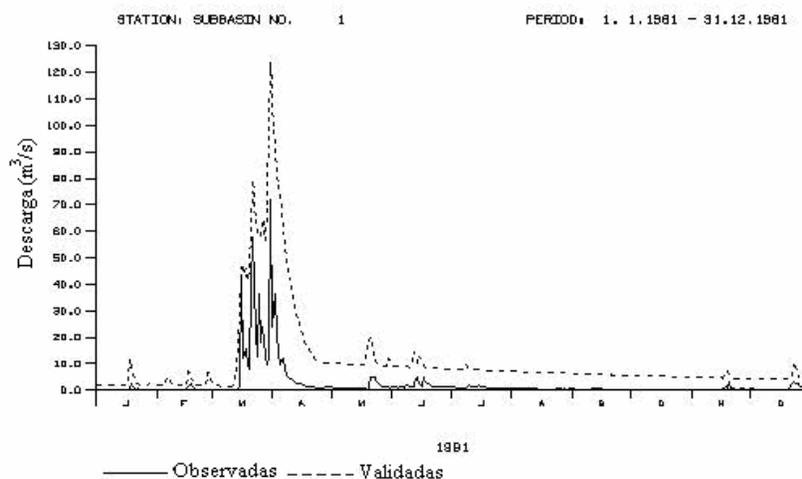


Figura 6.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1981 e Simulado com parâmetros Médios Totais.

#### 6.2.4 Bacia de Ponte do Leitão

A validação foi satisfatória para essa bacia com parâmetros médios totais quando os resultados considerados foram os dos volumes totais anuais (figura 6.10), pois apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,4033. Para a validação considerando os resultados das vazões máximas anuais os dados obtidos não foram bons com  $R^2$  de 0,1035 (figura 6.11). A representação gráfica dos escoamentos foi boa, pois simulou bem os escoamentos, mostrando com clareza a influencia da vazão de base (figura 6.12).

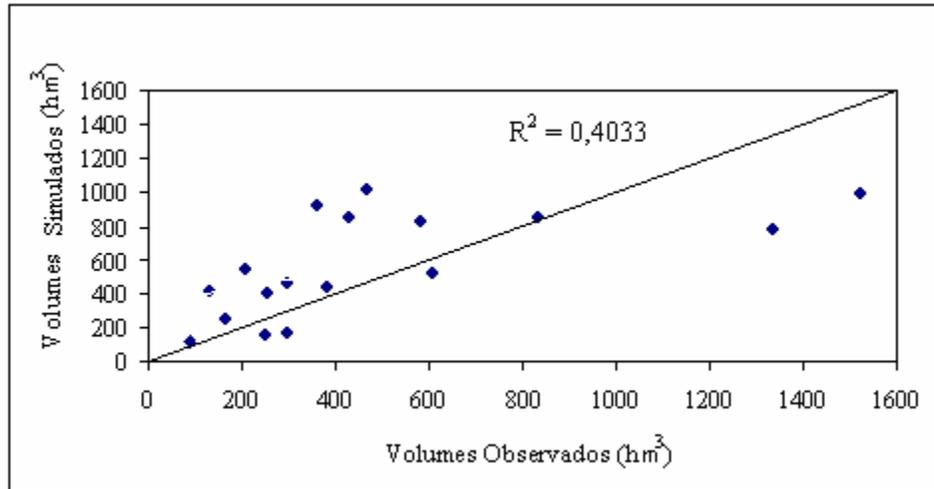


Figura 6.10 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

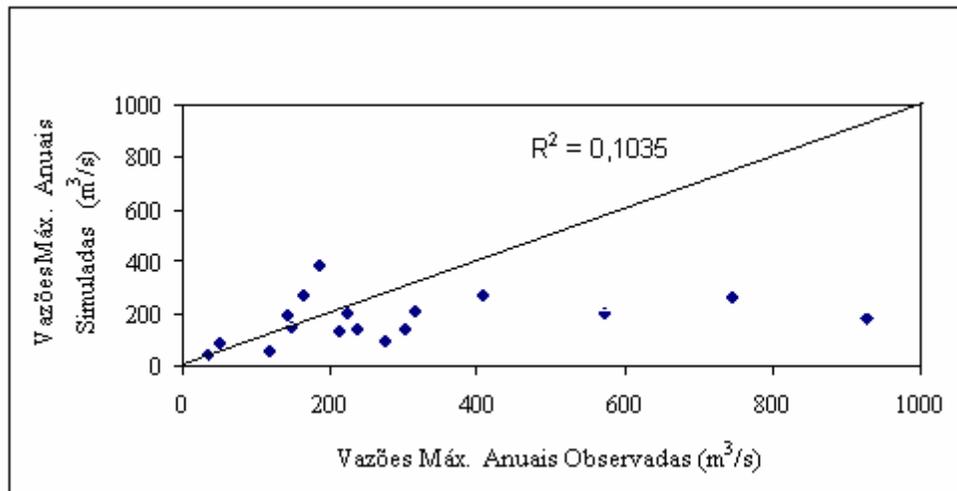


Figura 6.11 - Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte do Leitão.

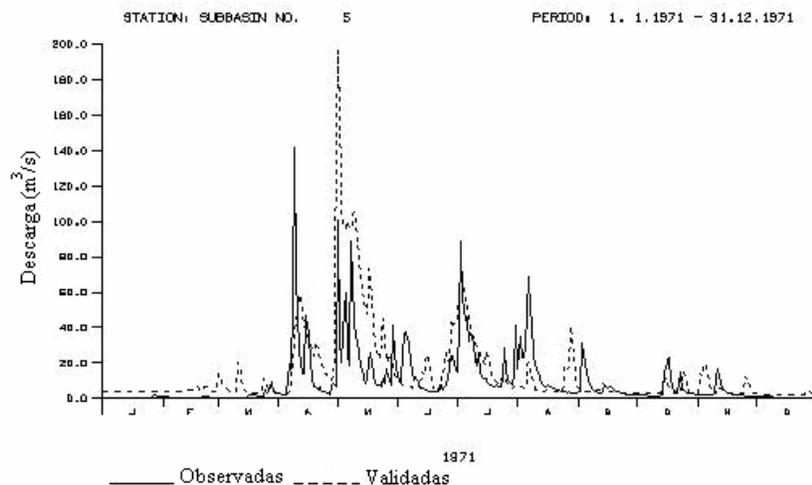


Figura 6.12 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1971 e Simulado com parâmetros Médios Totais.

### 6.3 Validação utilizando parâmetros Médios Calibrados Pelo Volume

Esse tipo de validação visa refinar um pouco a anteriormente realizada, visto que os parâmetros a serem utilizados (Tabela 6.2) foram retirados da calibração onde o objetivo era a determinação dos escoamentos observando-se o volume total anual. Os resultados serão apresentados e discutidos com relação aos volumes e vazões máximas anuais, através de gráficos de valores anuais simulados X valores anuais observados e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para cada sub-bacia.

Tabela 6.2 – Valores Médios dos parâmetros (Volumes)

<b>Bacia de Guarita</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	0,905	0,383	0,005	-	80,27
<b>Bacia de Ponte da Batalha</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	1,326	0,280	0,004	0,124	85,59
<b>Bacia de Mulungú</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	2,822	0,020	-	0,704	69,23
<b>Bacia de Ponte do Leitão</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	2,187	0,011	0,001	0,267	70,00

### 6.3.1 Bacia de Guarita

Os resultados obtidos para o volume anual foram razoavelmente bons mas, para as vazões máximas anuais não foram bons (Figuras 6.13 e 6.14), já que o modelo não conseguiu explicar este processo. No entanto os hidrogramas simulados (figura 6.15) mostram uma boa representação, mas com superestimação dos picos anuais.

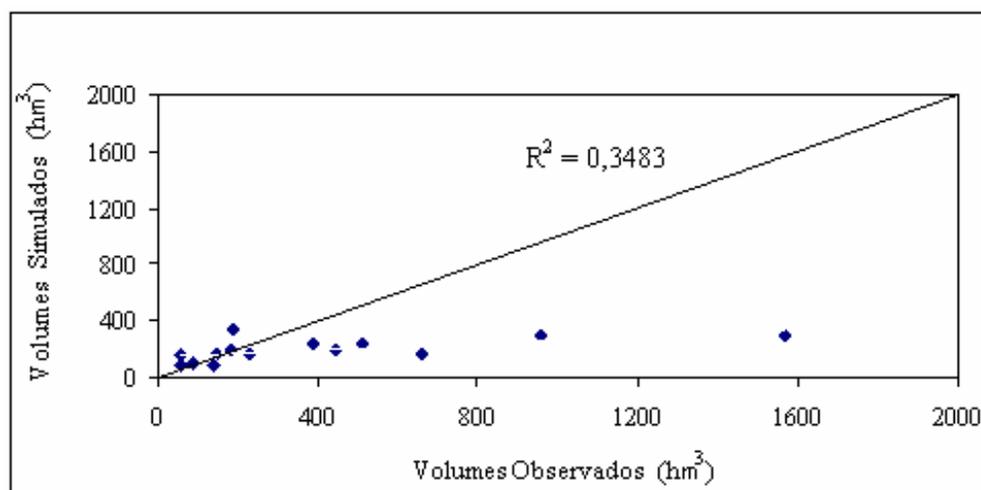


Figura 6.13 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

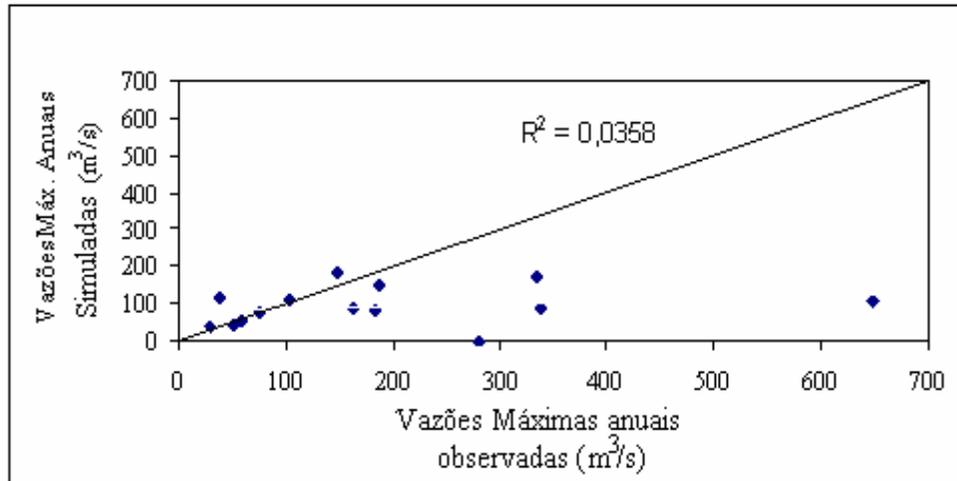


Figura 6.14 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

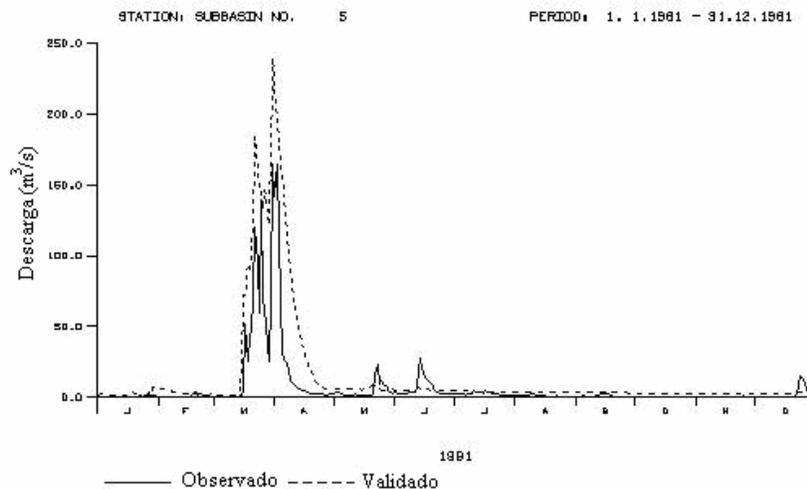


Figura 6.15 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1981 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pelo Volume.

### 6.3.2 Bacia de Ponte da Batalha

A validação da bacia de Ponte da Batalha utilizando-se parâmetros médios calibrados pelo volume não foi boa quando observamos os volumes validados (figura 6.16), pois o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi muito baixo (0,2931).

O contrário aconteceu para a validação considerando a vazão máxima anual que apresentou um coeficiente de determinação superior a 0,8 (figura 6.17), o que é um fato curioso, pois era esperado que a validação do volume apresentasse resultados melhores que

a validação das vazões máximas, isso por que os parâmetros que foram utilizados na validação são uma média dos parâmetros calibrados pelo volume. A representação gráfica dos escoamentos foi satisfatória (figura 6.18).

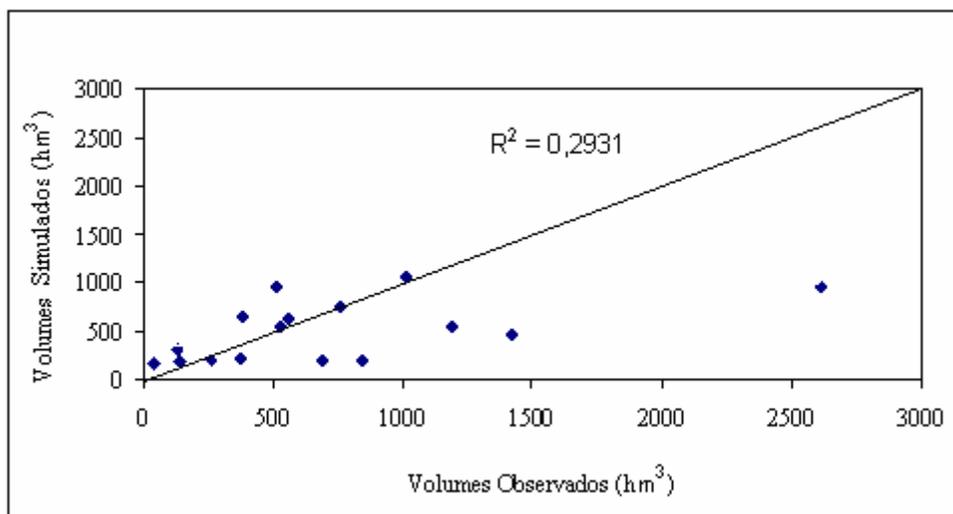


Figura 6.16 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.

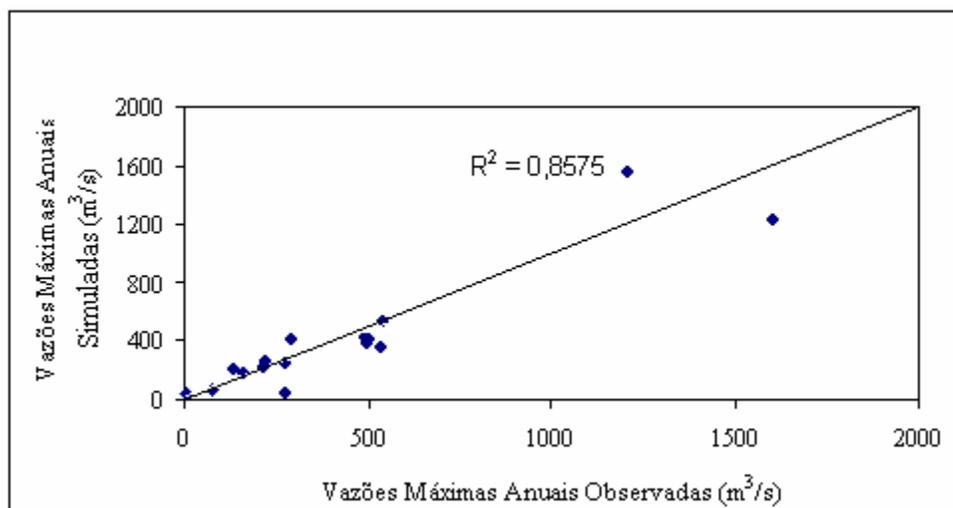


Figura 6.17 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

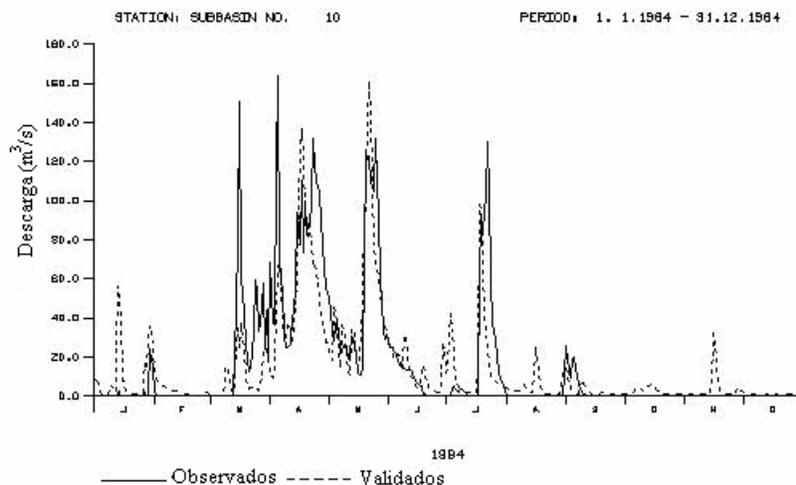


Figura 6.18 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pelo Volume.

### 6.3.3 Bacia de Mulungú

A validação do modelo com os parâmetros médios, calibrados pelos volumes, não foi satisfatória (figuras 6.19 e 6.20), pois os mesmos apresentam valores do coeficiente e determinação ( $R^2$ ) inferiores a 0,35. A representação gráfica dos escoamentos não foi boa com o modelo superestimando os escoamentos (figura 6.21).

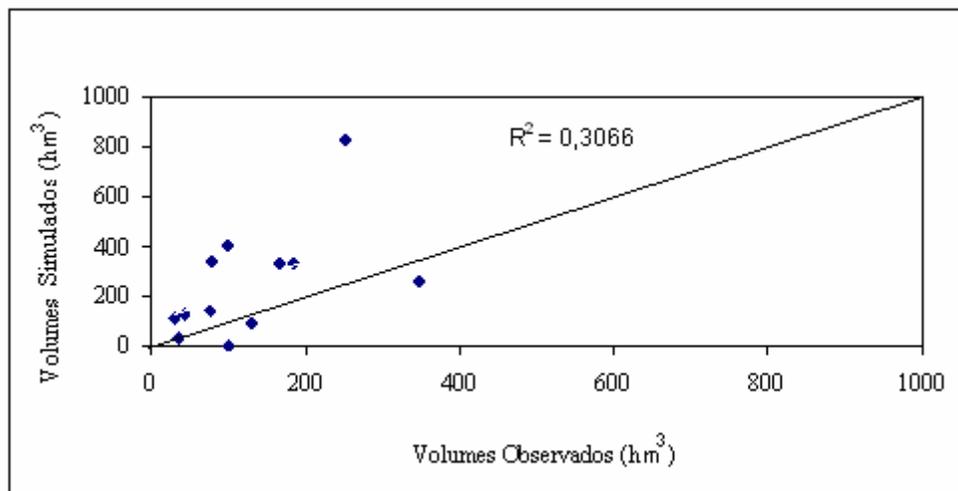


Figura 6.19 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.

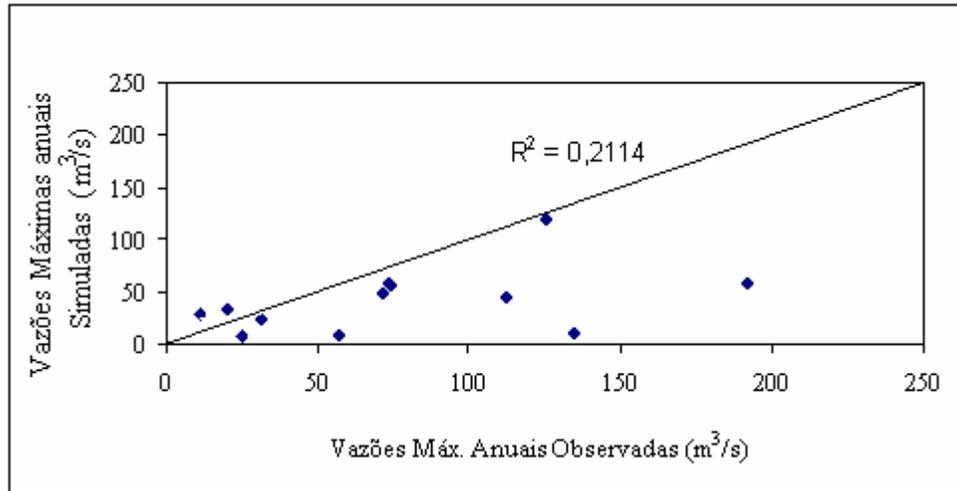


Figura 6.20 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.

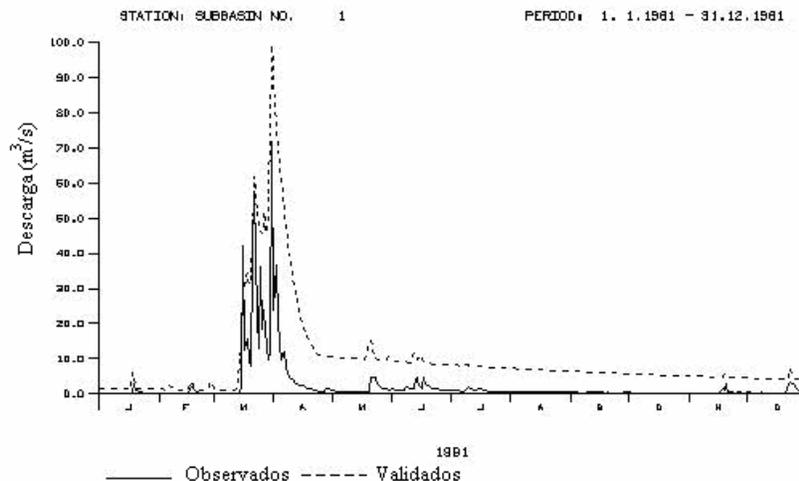


Figura 6.21 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1981 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pelo Volume.

### 6.3.4 Bacia de Ponte do Leite

Os resultados obtidos para a validação com os parâmetros médios calibrados pelos volumes não foram satisfatórios (figuras 6.22 e 6.23), pois os mesmos apresentam valores do coeficiente e determinação ( $R^2$ ) inferiores a 0,40. Mesmo havendo uma pequena superestimação dos escoamentos, a representação gráfica foi boa e o modelo conseguiu reproduzir os escoamentos (figura 6.24) muito bem.

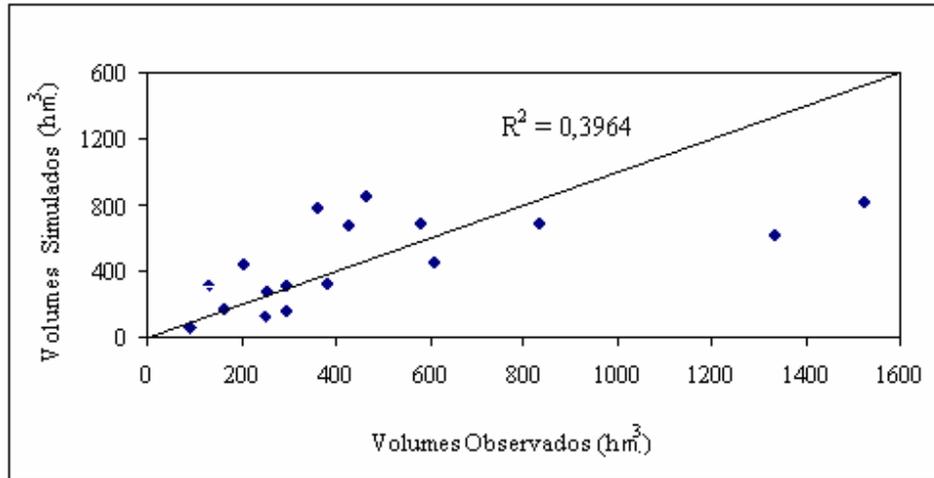


Figura 6.22 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

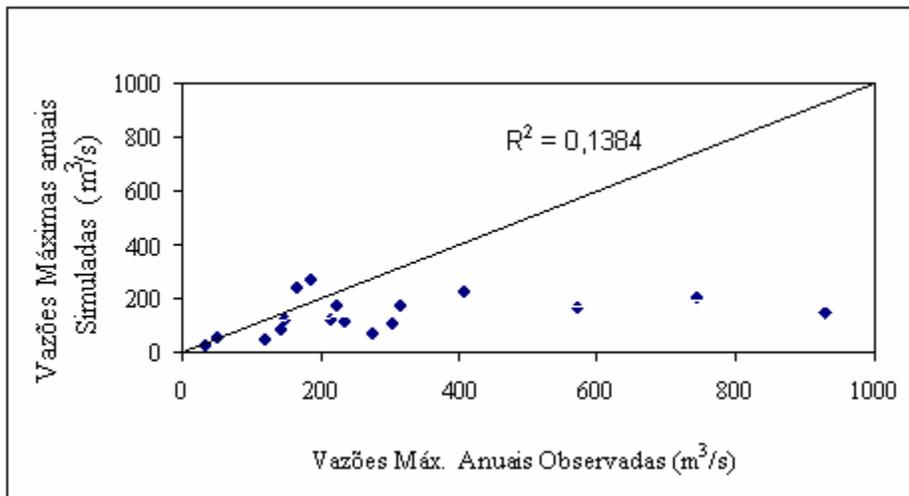


Figura 6.23 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte do Leitão.

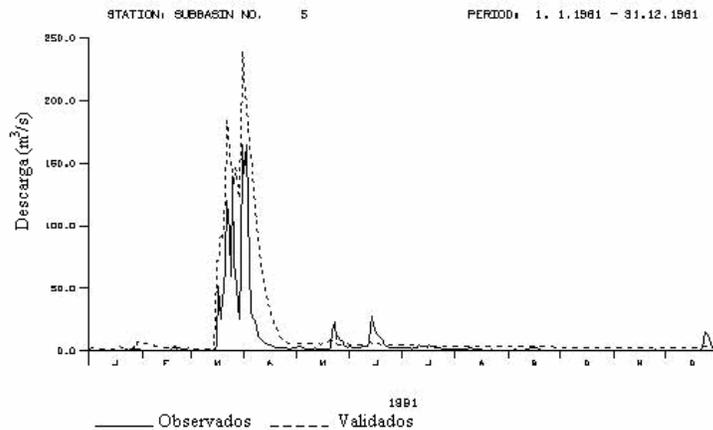


Figura 6.24 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1981 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pelo Volume.

## 6.4 Validação utilizando parâmetros Médios Calibrados Pela Vazão Máxima Anual

Com o interesse de avaliar a qualidade dos dados obtidos na calibração pela vazão máxima, foi feita uma validação utilizando-se os parâmetros médios obtidos na calibração (tabela 6.3). Os resultados serão apresentados e discutidos com relação aos volumes e vazões máximas anuais, através de gráficos de valores anuais simulados X valores anuais observados e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para cada sub-bacia.

Tabela 6.3 – Valores Médios dos parâmetros (Vazões Máximas)

<b>Bacia de Guarita</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	1,338	0,499	0,004	-	75,00
<b>Bacia de Ponte da Batalha</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	1,288	0,310	0,001	0,212	81,76
<b>Bacia de Mulungú</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	2,310	0,065	-	0,546	79,16
<b>Bacia de Ponte do Leitão</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	1,824	0,233	0,001	0,231	81,76

### 6.4.1 Bacia de Guarita

Mesmo com uma representação gráfica dos escoamentos muito boa (figura 6.27), o modelo não conseguiu reproduzir as vazões máximas anuais nem os volumes totais anuais, visto que apresentou valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) inferiores a 0,36 (figuras 6.25 e 6.26).

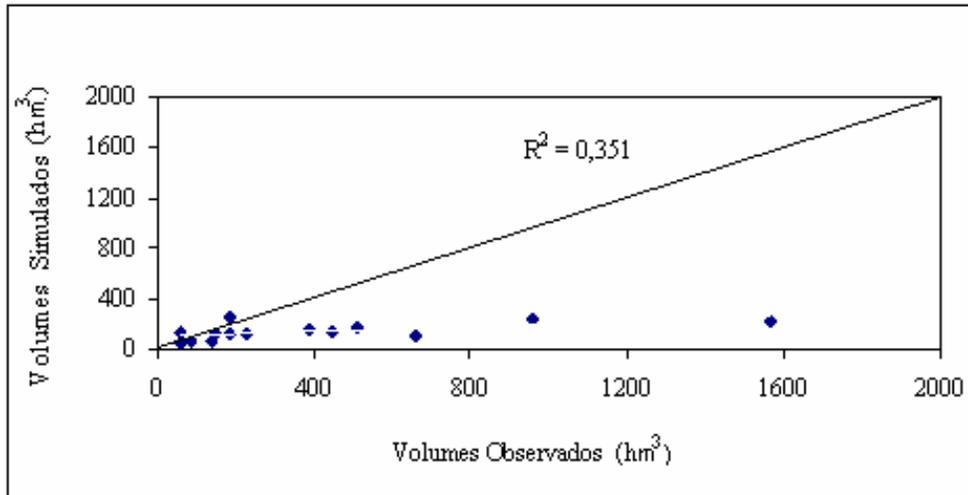


Figura 6.25 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

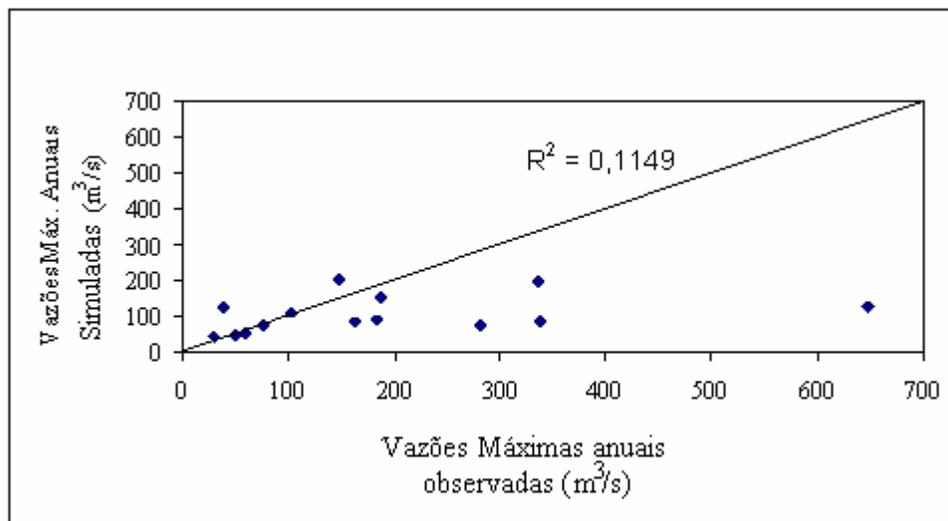


Figura 6.26 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

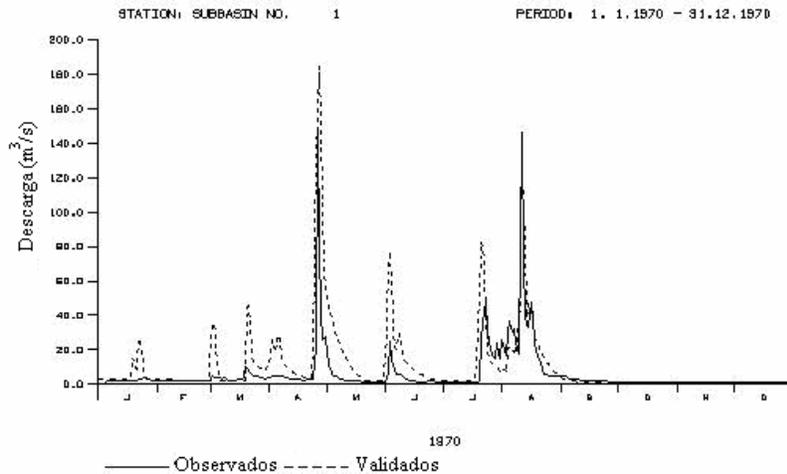


Figura 6.27 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pela Vazão Máxima Anual.

#### 6.4.2 Bacia de Ponte da Batalha

A representação gráfica dos escoamentos foi satisfatória, apesar de em alguns casos ter havido superestimação, subestimação e antecipação de picos (figura 6.30).

A validação da bacia utilizando-se parâmetros médios calibrados pela vazão máxima anual não foi boa quando observamos os volumes validados (figura 6.28), pois o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ficou abaixo de 0,33.

Aconteceu o contrário para a validação observando-se a vazão máxima anual que apresentou um coeficiente de determinação superior a 0,8 (figura 6.29).

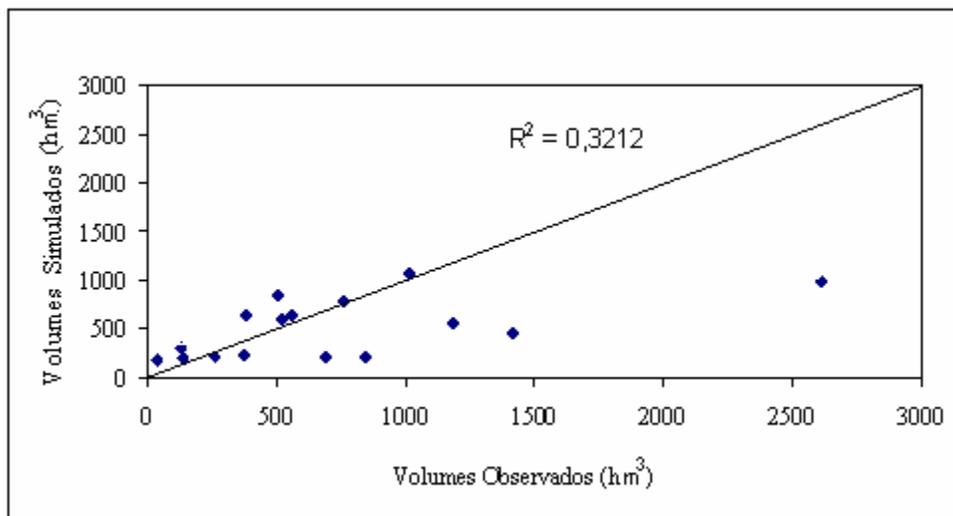


Figura 6.28 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha.

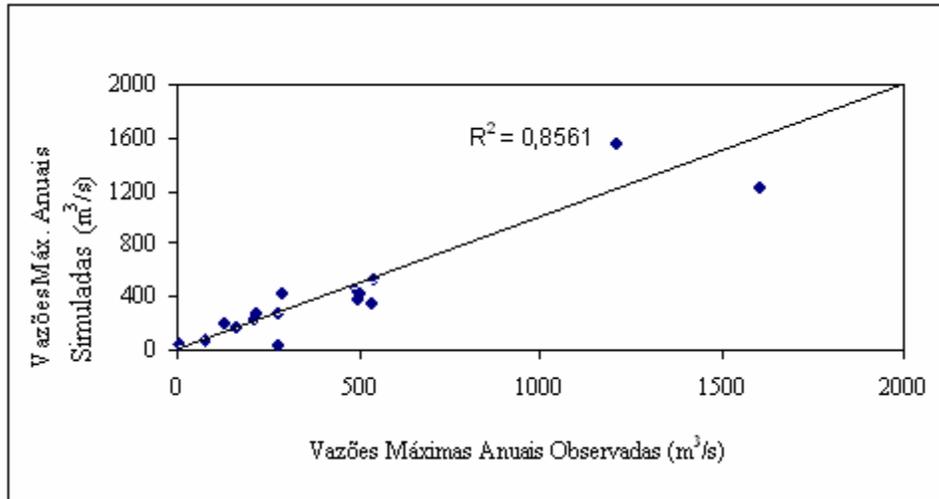


Figura 6.29 – Vazões Máximas Totais Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha.

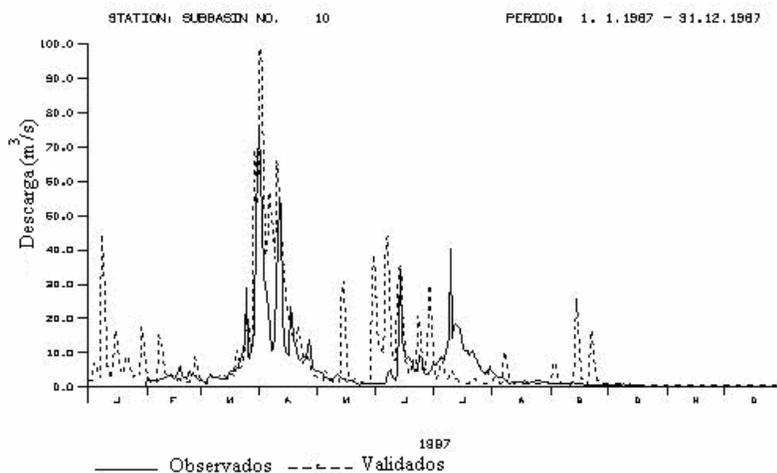


Figura 6.30 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1987 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pela Vazão Máxima Anual.

### 6.4.3 Bacia de Mulungú

A representação gráfica dos escoamentos foi satisfatória (figura 6.33). Já a validação da bacia utilizando-se parâmetros médios calibrados pela vazão máxima anual não foi boa quando observamos os volumes validados (figura 6.31) e a vazão máxima anual (figura 6.32), que apresentaram coeficientes de determinação inferiores a 0,2 (0,1572 e 0,1947 respectivamente).

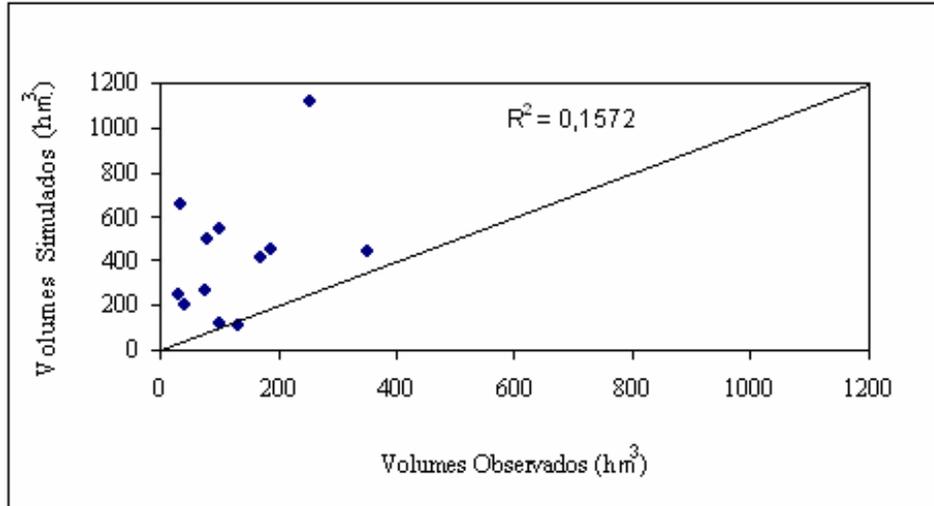


Figura 6.31 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Mulungú.

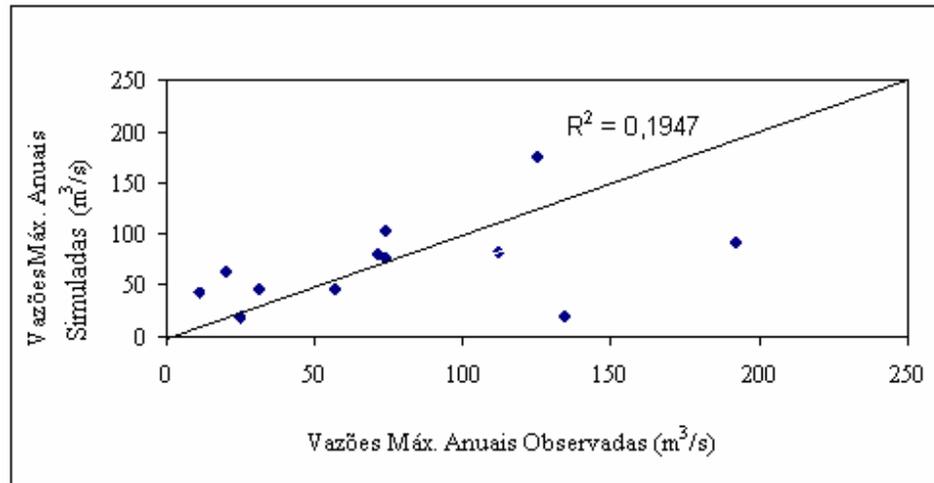


Figura 6.32 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Mulungú.

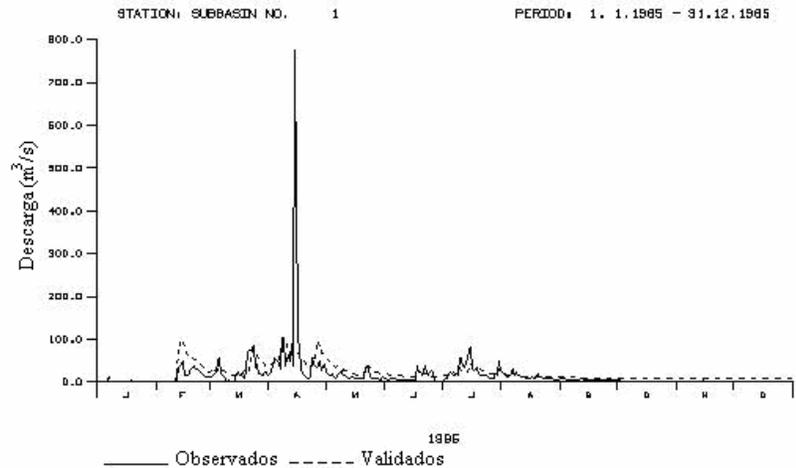


Figura 6.33 – Hidrogramas Observado na Bacia de Mulungú em 1985 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pela Vazão Máxima Anual.

#### 6.4.4 Bacia de Ponte do Leitão

A representação gráfica dos escoamentos foi satisfatória (figura 6.36). Já a validação da bacia utilizando-se parâmetros médios calibrados pela vazão máxima anual não foi boa quando observamos os volumes validados (figura 6.34) e a vazão máxima anual (figura 6.35), que apresentaram coeficientes de determinação inferiores a 0,2 (0,1572 e 0,1947 respectivamente).

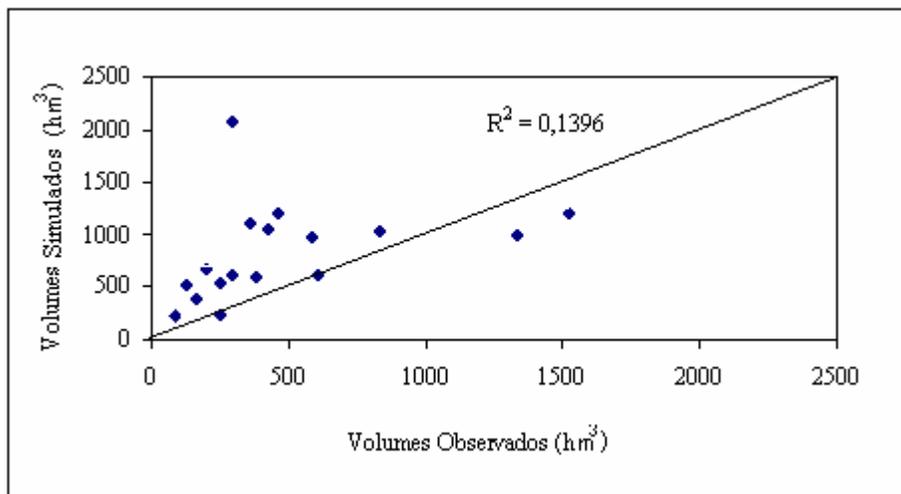


Figura 6.34 – Volumes Totais Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte do Leitão.

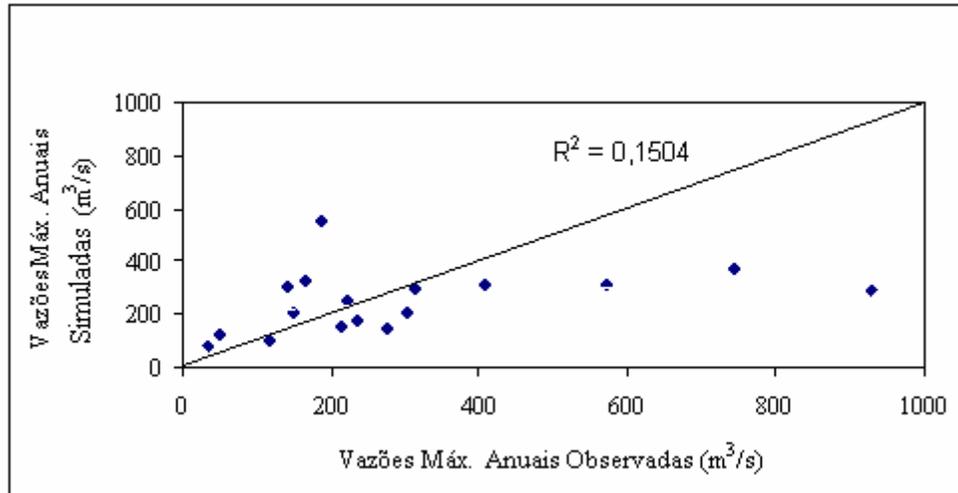


Figura 6.35 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte do Leitão.

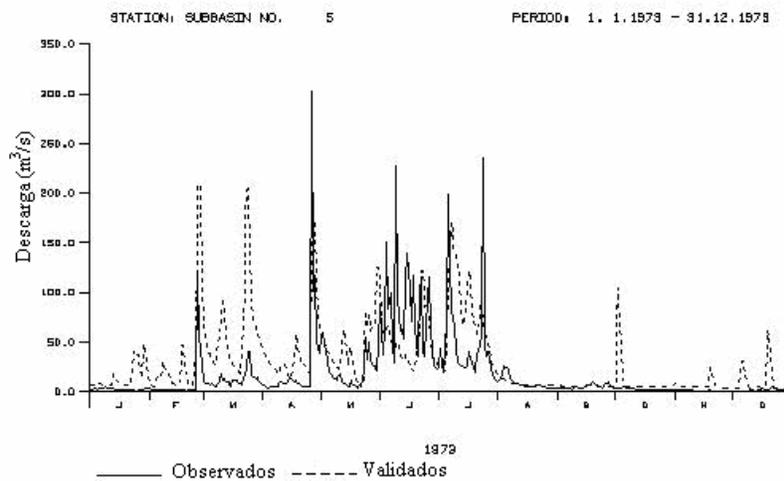


Figura 6.36 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte do Leitão em 1979 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados Pela Vazão Máxima Anual.

### 6.5 Validação utilizando parâmetros Médios classificados por anos normais e úmidos

Para este tipo de validação apenas uma bacia continha dados suficientes para análise (bacia de Guarita). Nas demais os dados disponíveis são classificados como anos úmidos. A tabela 6.4 mostra os parâmetros médios utilizados.

Os resultados serão apresentados e discutidos com relação aos volumes e vazões máximas anuais, através de gráficos de valores anuais simulados X valores anuais observados e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para cada sub-bacia.

Tabela 6.4 – Valores Médios dos parâmetros

<b>Bacia de Guarita (anos normais)</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	1,900	0,498	0,003	-	69,00
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	2,500	0,538	0,001	-	62,00
<b>Bacia de Guarita (anos úmidos)</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>BETA</b>	<b>CN</b>
<b>Médias de Volumes</b>	0,570	0,325	0,006	-	85,90
<b>Médias de Vazões Máximas</b>	0,689	0,461	0,005	-	82,78

### 6.5.1 Bacia de Guarita

Os dados calibrados para bacia de Guarita foram divididos da seguinte maneira:

- Validação para anos normais com parâmetros médios calibrados pela vazão máxima anual;
- Validação para anos normais com parâmetros médios calibrados pelo volume;
- Validação para anos úmidos com parâmetros médios calibrados pela vazão máxima anual;
- Validação para anos úmidos com parâmetros médios calibrados pelo volume.

Os resultados obtidos não foram bons, fato que pode ser observado nos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os quais apresentaram valores muito baixos (figuras 6.37, 6.39, 6.41, 6.43).

A representação gráfica do escoamento para a validação com parâmetros calibrados pelo volume e pela vazão máxima (anos normais) foi boa, pois os hidrogramas (simulados e observados) apresentam uma boa correlação (figuras 6.38 e 6.40), para alguns casos houve uma antecipação dos picos.

Para os anos úmidos a representação gráfica dos escoamentos também foi boa, havendo apenas em alguns casos a superestimação dos picos (figuras 6.42 e 6.44).

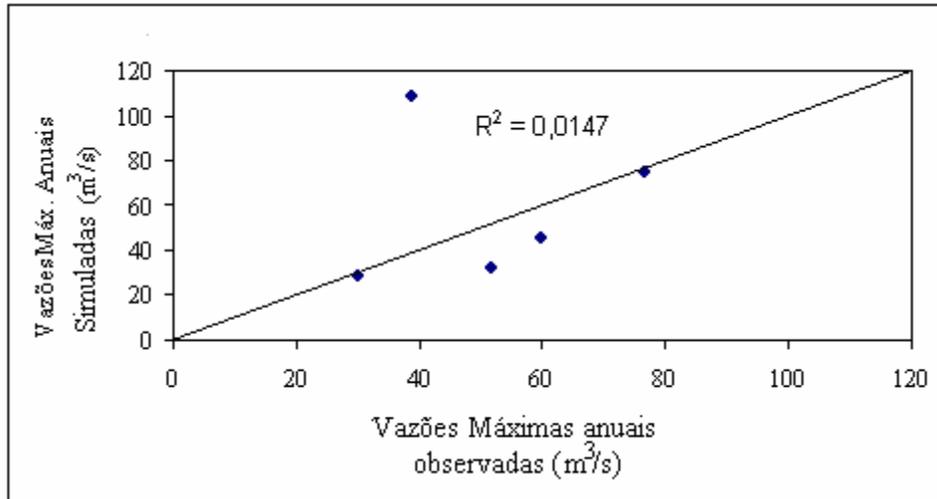


Figura 6.37 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

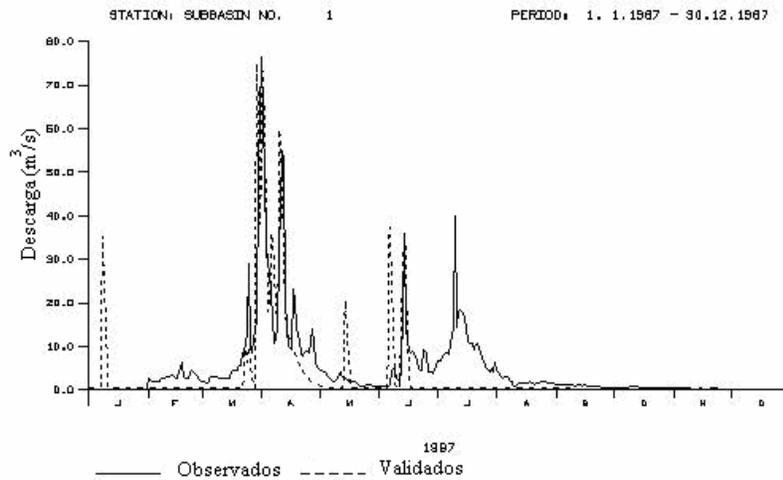


Figura 6.38 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1987 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados para anos Normais.

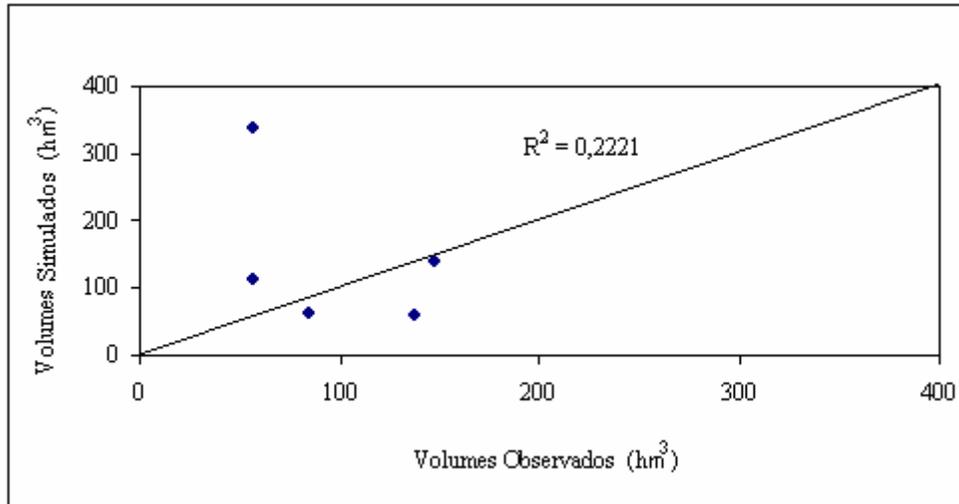


Figura 6.39 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

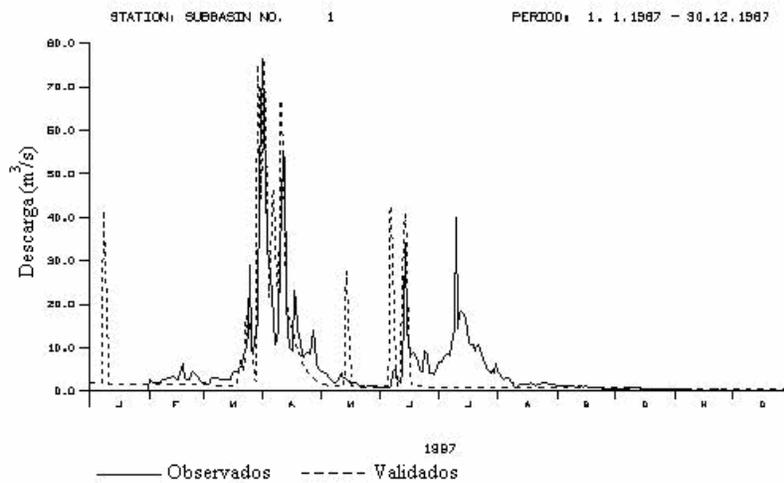


Figura 6.40 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1987 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados para anos Normais.

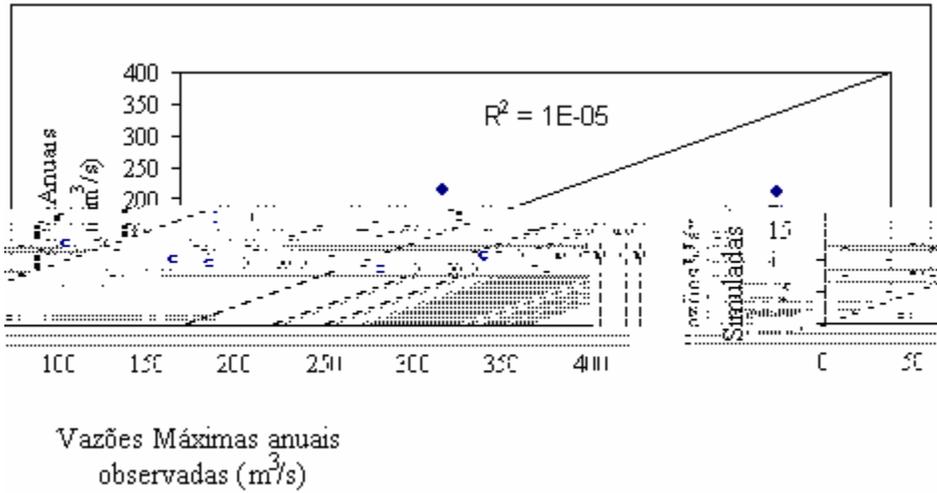


Figura 6.41 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita.

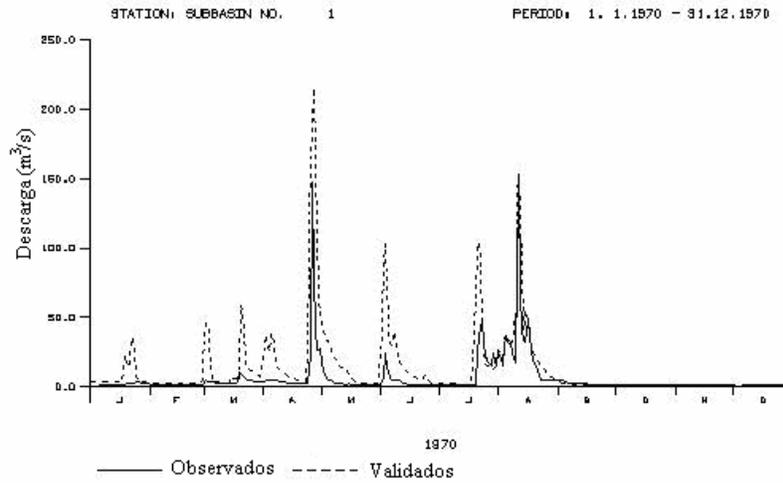


Figura 6.42 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados para anos Úmidos.

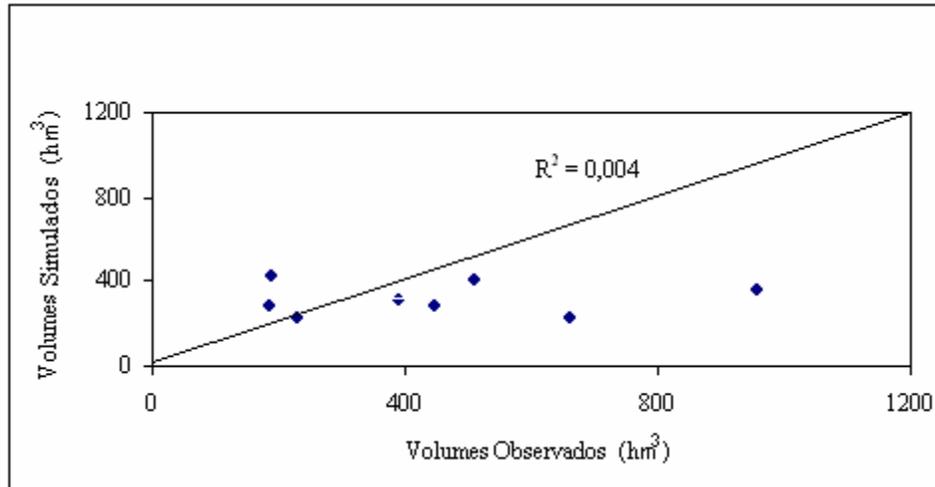


Figura 6.43 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita.

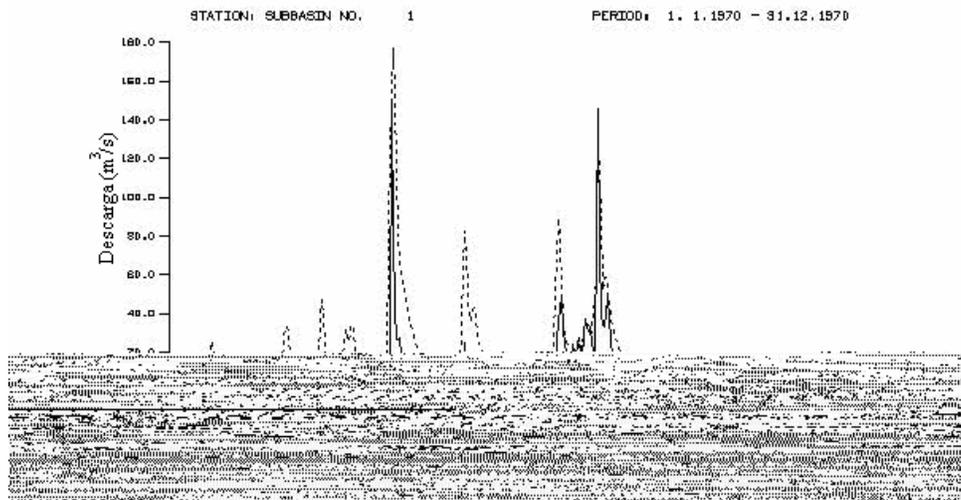


Figura 6.44 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1970 e Simulado com parâmetros Médios Calibrados para anos Úmidos.

## 6.6 Análise do efeito de escala sobre os parâmetros

A análise dos valores dos parâmetros, em relação à escala (figuras 6.45 e 6.46) não mostrou muita tendência, fato que pode ser atribuído:

- Ao pequeno número de postos com dados fluviométricos observados;
- Ao tipo de calibração utilizada, onde as bacias foram tratadas de forma isolada;
- Ao fato de se ter uma série de dados onde a maioria é de anos chuvosos, não apresentando dados para anos considerados secos.

Com relação ao parâmetro ALFA nota-se que os valores observados nos anos normais são superiores aos dos anos úmidos, fato que poderia ser mais bem avaliado se as bacias de Ponte da Batalha e Ponte do Leitão tivessem dados para anos normais. A mesma análise pode ser feita com relação ao parâmetro EET.

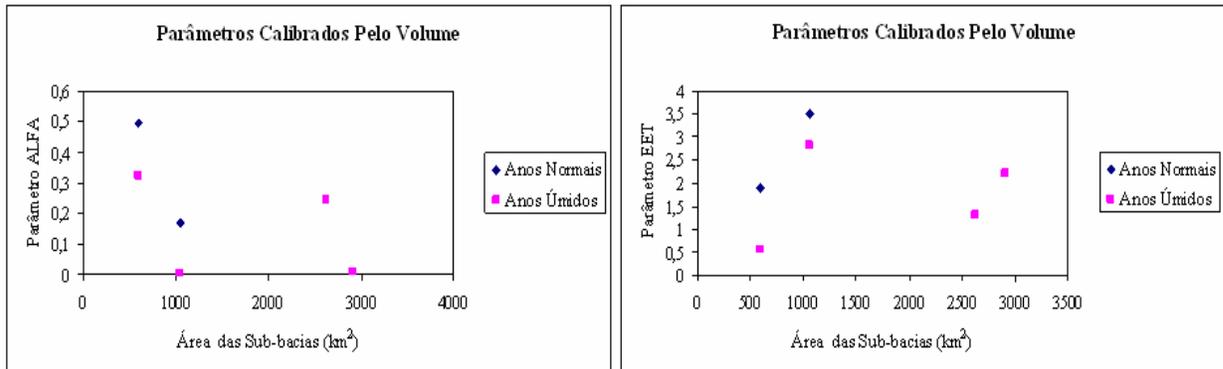


Figura 6.45 - Variação de ALFA e EET médios com a escala da bacia, em diferentes faixas de pluviometria anual.

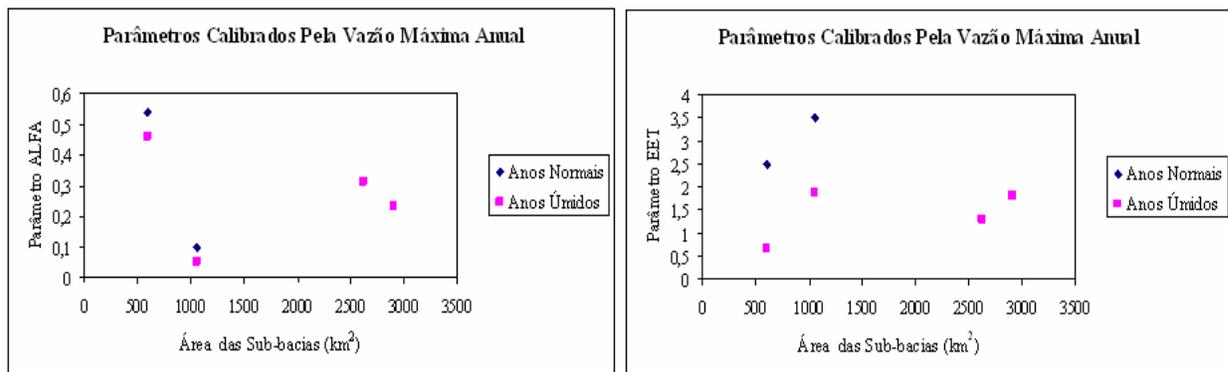


Figura 6.46 - Variação de ALFA e EET com a escala da bacia, em diferentes faixas de pluviometria anual.

Uma análise dos resultados conjuntos de Furtunato (2004) com os do presente estudo também não mostrou nenhuma tendência clara da relação dos parâmetros ALFA, EET e CN com a escala da bacia, conforme pode ser visto nas Figuras 6.47 a 6.49, sendo isto uma possível consequência dos resultados não terem sido obtidos de maneira integrada, ou seja considerando as regiões estudadas por Furtunato e as do presente trabalho.

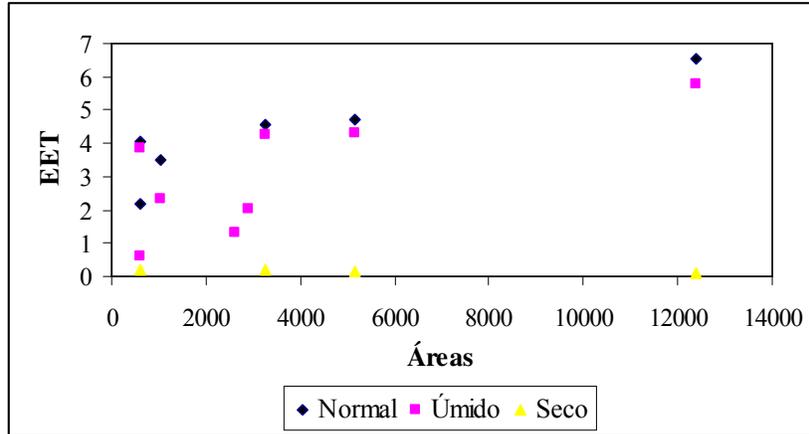


Figura 6.47 - Variação de EET com a escala da bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo.

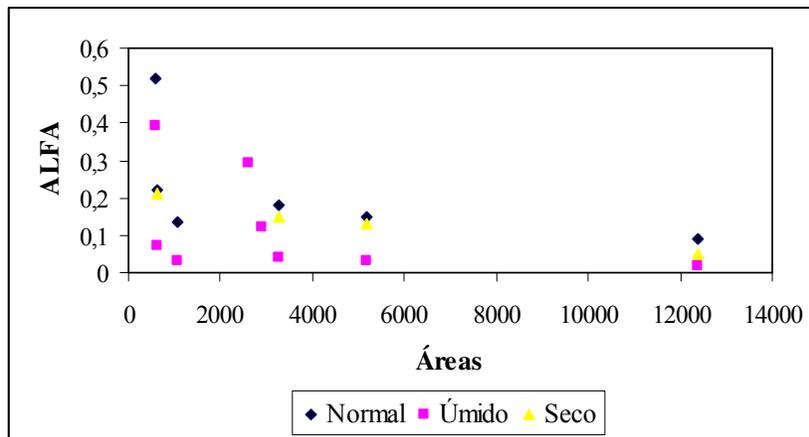


Figura 6.48 - Variação de ALFA com a escala da bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo.

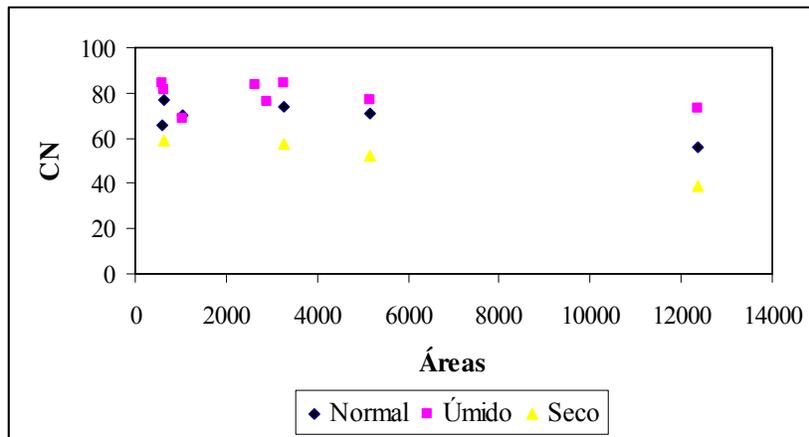


Figura 6.49 - Variação de CN com a escala da bacia considerando os resultados de Furtunato (2004) e do presente estudo.

## CAPÍTULO 7

### 7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal desta pesquisa foi a simulação de vazões nas bacias do baixo rio Paraíba (3.925,41km<sup>2</sup>) e Mamanguape (3.522,69 km<sup>2</sup>), utilizando o modelo distribuído NAVMO, para um posterior estudo de Regionalização Hidrológica. O modelo foi calibrado e validado para as regiões onde a partir das simulações realizadas pode-se concluir que:

#### 7.1 Conclusões

Com relação à calibração do modelo:

- Os resultados da calibração realizada considerando a comparação entre os volumes e vazões máximas anuais, foram bons, haja vista que para todas as bacias tanto o volume quanto a vazão máxima anual foi muito bem representado, tanto numericamente como graficamente;
- O em alguns casos modelo não conseguiu representar bem vazões e volumes com valores muito elevados, fato que pode ser observado quando são observados os gráficos de correlação;
- Os valores obtidos para as simulações realizadas pela vazão máxima anual e pelo volume total anual se aproximaram muito dos valores observados, obtendo-se uma média superior a 0,8 para o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ );

- A representação gráfica dos escoamentos (hidrogramas) foi satisfatória, mesmo em alguns casos tendo sido observado defasagem no tempo o resultado não foi comprometido.

Com relação à validação do modelo:

- A validação do modelo de um modo geral foi boa, pois quando foi feita a comparação entre os valores simulados e valores observados, os resultados obtidos para o coeficiente de determinação não foram bons apresentando valores médios inferiores a 0,4.
- Já as distribuições temporais das vazões diárias simuladas (hidrogramas) compararam bem, no entanto algumas defasagens no tempo foram observadas, quando os picos foram analisados.

Com relação à análise do efeito de escala sobre os parâmetros:

- A análise dos valores dos parâmetros, obtidos por condição antecedente, em relação à escala não mostrou muita tendência para dados analisados.
- No entanto observando-se bem os parâmetros ALFA e EET nota-se que os valores observados nos anos normais são superiores aos dos anos úmidos, fato que poderia ser mais bem avaliado se as bacias de Ponte da Batalha e Ponte do Leitão tivessem dados para anos normais.
- O que pode ser atribuído ao pequeno número de posto com dados.

## **7.2 Recomendações**

- Fazer uma nova calibração das áreas em estudo com dados de evaporação de áreas mais próximas das mesmas (exemplo, postos de João Pessoa);
- Estudo investigatório que busque respostas para o fato de o modelo não ter representado bem vazões muito elevadas na bacia de Guarita;

- Realização de um estudo onde seja feita uma junção das três sub-bacias do Rio Paraíba (Alto, Médio e Baixo Paraíba), para uma avaliação melhor dos parâmetros com relação a escala da bacia.
- Incluir uma análise de incerteza e de discretização dos sistemas para avaliar melhor o efeito de escala sobre os parâmetros do modelo e processos simulados;
- Realizar estudo de regionalização hidrológica considerando toda a bacia do rio Paraíba.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, M. S. (2006). Análise de incerteza no escoamento simulado com o Modelo Distribuído NAVMO. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB.
- BATHURST, J. C. (1986a). Physically-Based Distributed Modelling of an Upland Catchment Using the Système Hydrologique Européen. *J. Hydrol.*, 87: 79-102.
- BATHURST, J. C. (1986b). Sensitivity Analysis of the Système Hydrologique Européen for an Upland Catchment. *J. Hydrol.*, 87: 103-123.
- BATHURST, J. C., Wicks, J. M., and O'Connell, P. E. (1995). The SHE/SHESED Basin Scale Water Flow and Sediment Transport Modelling System. In: V.P. Singh (editor). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- BECKER, A. (1992). Criteria of a hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. In: O'Kane (ed.) *Advances in theoretical hydrology: a tribute to James Dooge*. Amsterdam: Elsevier. Chapter 7, p.97-111.
- BERGSTRÖM, S. & GRAHAM, L.P. (1998). On the scale problem in hydrological modeling. *J Hydrology*, 211:253-265.
- BRAGA, A. C. F. M. (2001). Efeitos de Fatores Climáticos e do Uso do Solo sobre o Escoamento em uma Região Semi-Árida da Paraíba. Tese de mestrado, Depto. Enga. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande- PB.
- CADIER, E. (1996). Hydrologie des Petits Bassins du Nordeste Brésilien Semi-Aride: Tupologie dès Bassins et Transposition Écoulements Annuels. *J. Hydrol.*, 182: pp117-141.
- CANTER, L. W. (1996). Scientific Uncertainty and Water Resources Management. In.: *Scientific Uncertainty and Environmental Problem Solving*. Blackwell Science, Cambridge.
- CHOW, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. Tokyo, McGraw-Hill, New York, 680p.

- CHOW, V. T. (1964), Handbook of applied hydrology. MacGraw-Hill Book Co., New York.
- CHOW, V. T., Maidment. D. R. e Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Singapore, 572p.
- COLLISCHONN W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de doutorado, IPH-UFRGS p 194.
- COLLISCHONN, W., C. E. M. TUCCI. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. RBRH, v6, 1, 95-118.
- CRESSIE, N. (1991). Statistics for Spatial Data, New York, John Wiley.
- CRISPIM, A. M. C., FIGUEIREDO, E. E. & NUNES, A. S. O. (2005a). Simulações de vazões na região do alto rio Piranhas - PB como suporte a realização de estudos de regionalização. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- CRISPIM, A. M. C., FIGUEIREDO, E. E. & NUNES, A. S. O. (2005b). Regionalização de vazões na região do alto rio piranhas utilizando dados simulados com o modelo NAVMO. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- CRISPIM, A.M.C. (2005). Regionalização Hidrológica na Região do Alto Rio Piranhas-PB Utilizando dados Simulados com Modelo Distribuído. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB. 139 p.
- DINIZ, L. S. (1994). Calibração Automática de modelos Chuva-Vazão Usando um Algoritmo Genético. Campina Grande. Tese (Mestre em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- DOOGE, J. C. I. (1973), Linear theory of hidrologic systems. Technical Bulletin n. 1948, ARS, US Department of Agriculture.

- EWEN, J. & PARKIN, G. (1996). Validation of Catchment Models for Predicting Land Use and Climate Change Impacts – 1. Method. *Journal of Hydrology*, v. 175, p. 583-594.
- FIGUEIREDO, E. E. & BRAGA, A. C. F. M. (2002). Modelling the rainfall-runoff relationship for the Piranhas river basin in the semiarid region of Brazil. In: *Flood Defence '2002*, Wu et al. (eds)© 2002 SciencePress, New York Ltd., 2: 1129-1136.
- FIGUEIREDO, E. E.; JÚNIOR, H. B. L, DAVI, H. H. R. C. (2002). Estimativa de parâmetros do escoamento com efeito de escala e do uso do solo no cariri paraibano. CD-ROM do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 3 a 6 de Dezembro, Maceió-AL.
- FIGUEIREDO, E.E., LOPES, P.L & SRINIVASAN, V.S. (1999). Calibração e Validação de um Modelo Distribuído para a Bacia do rio Piancó – PB. CDROM do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG
- FIGUEIREDO, E. E., LOPES, P. L. & BRAGA, A. C. F. M. (2004). Uncertainty in Simulated Runoffs Using The Distributed Model NAVMO.” In: 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Hydroinformatics, Edited by S. Liong, K. K. Phoon & V. Babovic, World Scientific Publishing Company, Singapore, 2: 1783-1790.
- FIGUEIREDO, E. E., OVERLAND, H. & KLEEBERG, H. B. (1991). O Modelo NAVMO de Simulação do Escoamento Superficial. IX Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 337-346, Rio de Janeiro.
- FIGUEIREDO, E. E., SRINIVASAN, V. S. & BARROS, M. G. (1993). Análise do Problema de Enchimento do Açude Público Sumé através do modelo NAVMO. X Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 226-235, Gramado.
- FIGUEIREDO, E. E., SRINIVASAN, V. S & LOPES, P. L. (1998) Influência da Discretização da Bacia no Escoamento Simulado com um Modelo Distribuído. Simpósio, CDROM IV Simp.Rec.Hid.Ne, v. CDROM.
- FIGUEIREDO, E.E. & SRINIVASAN, V.S. (1999) Avaliação dos Impactos do Uso do Solo e da Influência dos Açudes sobre o Escoamento para o Açude Sumé - PB. CDROM do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG.

- FREAD, D. L. (1985). Channel Routing. In: Hydrological Forecasting. Anderson, M. G., Burts, T. P. (editors). John Willey & Sons. Londres. U. K.
- FURTUNATO, O. M. (2004). Simulação hidrológica na bacia do alto Paraíba-PB com efeito da variabilidade do clima. Dissertação de mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB, 140 p.
- FURTUNATO, O. M.; FIGUEIREDO, E. E. & BATISTA, M. S. (2004). Efeito da Variabilidade de Fatores Climáticos sobre o Escoamento Simulado na Região do alto Rio Paraíba - PB. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luís - MA. CD-ROM do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luís - MA : ABRH.
- FURTUNATO, O. M., LACERDA JÚNIOR, H. B. & FIGUEIREDO, E. E. (2005). Modelagem do escoamento em bacias do cariri paraibano com análise do efeito de escala. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- KLEEBERG, H. B., OVERLAND, H. & PAUS, B. (1989). NAVMO, Version 1.1, Nieseschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation. Universität der Bundeswehr München, Alemanha.
- KLEMES, V. (1986). Operational Testing of Hydrological Simulation Models. Hydrological Sciences Journal, 31, 1, 13-24.
- LACERDA Jr., H. B. (2002). Um Estudo dos Efeitos de Escala e Uso do Solo na Parametrização do Modelo NAVMO com Dados de Bacias do Cariri Paraibano. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB.
- LOPES, P. L. (1994). Avaliação do Escoamento Superficial da Bacia do Rio Piancó Utilizando o Modelo NAVMO. Tese de Mestrado, Dept. Eng. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande, Pb.
- MAIDMENT, D.R. (1993). GIS and hydrologic modeling, Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, cap. 14, pp 147-167.
- MCCUEN, R.H. (1982). A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, Univ. of Maryland, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

- MENDIONDO, E. M., & TUCCI, C. E. M. (1997). Escalas Hidrológicas. I. Conceitos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. v. 2, n. 1, p. 59-79, jan/jun.
- NUNES, A. S. O. (2005). Regionalização Hidrológica na Região do Alto Rio Paraíba-PB Utilizando dados Simulados com Modelo Distribuído. 120p. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB.
- NUNES, A. S. O., FIGUEIREDO, E. E., CRISPIM, A. M. C., FURTUNATO, O. M. & BATISTA, M. S. (2005b). Regionalização hidrológica no alto rio Paraíba utilizando dados simulados com o modelo NAVMO. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- NUNES, A. S. O., FIGUEIREDO, E. E., FURTUNATO, O. M., CRISPIM, A. M. C. & BATISTA, M. S. (2005a). Simulações de vazões na região do alto rio Paraíba - PB com o modelo NAVMO para fins de regionalização. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- PDRHP/PB (2001). Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. Relatório Final de Diagnóstico. João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba e Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH.
- PERH – PB (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Resumo Executivo e atas: Governo de Estado da Paraíba, Secretaria de Estado da Ciência e tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília DF: Consórcio TC/BR – Concremat 112p.
- PORTELA, M. M.; QUINTELA, A. C. (2002), A modelação Hidrológica em Portugal nos últimos 25 anos do século XX, nas perspectivas Determinística, Probabilística e Estocástica. RBRH- Revista brasileira de recursos hídricos, volume 7, n. 4. Out/Dez pág. 51-64.
- RENNÓ, C. D. & SOARES, J. V. (2003), Conceitos básicos de modelagem hidrológica. X Simpósio brasileiro de geografia física aplicada, Rio de janeiro, nov.

- RODRIGUEZ-ITURBE, I. & GUPTA, V.K. (1983), Introduction to special issue on scale problems in hydrology, 65:v-vii.
- ROSSO, R. (1992). An Introduction to spatially distributed modeling of basin response. In: ROSSO, R., PEANO, A., BECCHI, I. & BEMPORAD, G. A. (editors). Advances in Distributed Hydrology. Water Resources Publications. Colorado - USA. p 3-30.
- SEMARH. (2004). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH/PB. Relatório Parcial da Consolidação de Informações e Regionalização. Resumo Executivo. João Pessoa: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais.
- SILVEIRA, A. L. L. (2000). Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (editor). Hidrologia, Ciência e Aplicação. 2 ed. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p 35-51.
- SINGH, V. P.; WOOLHISER, D. A. (2002), Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of hydrologic engineering, jul/ago, pp 270-292.
- SOBRINHO, M. D. (1998), Hidrologia aplicada, Notas de aula. Unesp, Ilha Souteira.
- SOROOSHIAN, S., & GRUPTA, V. K. (1995). Model Calibration. In: Singh, V. P. (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Louisiana.
- TOEBES, C. OURYVAEV, V. (1970). Representative and Experimental Basins: an international guide for research and practice. Haarlem: UNESCO, 1970. 348p.
- TUCI, C. E. M. (1998). Modelos Hidrológicos. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 668p.
- TUCCI, C. E. M. (2000). Hidrologia: Ciência e Aplicação. In: TUCCI, C. E. M. (editor). Hidrologia, Ciência e Aplicação. 2ª ed. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p 25-33.
- TUCCI, C. E. M. (2005), Modelos Hidrológicos. Porto Alegre, Editora da Universidade – UFRGS.
- U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Hydrology Section 4 Chapter 4-10. 1972.n. p.

VELARDE, E. A. C. (2004), El ciclo hidrológico e Introducción a modelos hidrológicos.  
Escuela de Postgrado – Universidad Nacional Agraria “La Molina” – Maestría en  
Recursos Hídricos. Curso: Métodos de Análisis ene Ingeniería de Recursos Hídricos.

**Sites Consultados**

[www.paraiwa.org.br/mamanguape](http://www.paraiwa.org.br/mamanguape)

[www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html](http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html))

## **ANEXOS**

**ANEXO A** – Dados da Modelagem Conforme Requerido Pelo Modelo NAVMO

**ANEXO B** – Dados de Evaporação Conforme Formato do Modelo

**Anexo A – Dados da Modelagem Conforme Requerido pelo Modelo NAVMO Para simulação Hidrológica na Bacia do baixo rio Paraíba.**

Sub-bacia	Ordem	Área (km2)	Comp.da Sub-bacia (km)	Cota entrada (m)	Cota saída (m)	X (m)	Y (m)	Numeração das Linhas
	Dist.	Distância (m)	Declividade do rio	HM (m)	BM (m)	BL (m)	BR (m)	
	BNM	BNL	BNR	SKM	SKL	SKR		
	Decliv. Bacia (%)	CN						
1	100	599.00	19.68	180.00	55.00	892.48	9183.47	1
1	85046	85045						2
1								3
1	0.63	77.63						4
2	200	200.91	9.44	100.00	50.00	905.39	9189.46	1
2	85045	76128	0.0020	10.00	54.00	54.00	54.00	2
2	3050	40.00	40.00	25.00	5.00	5.00		3
2	0.53	80.00						4
3	300	295.13	8.21	420.00	40.00	916.73	9193.36	1
3	76128	60063	0.0018	9.00	44.00	44.00	44.00	2
3	3.00	30.00	30.00	25.00	5.00	5.00		3
3	4.62	78.00						4
4	400	74.27	5.38	310.00	180.00	921.70	9202.43	1
4	60063	51709	0.0016	8.00	30.00	30.00	30.00	2
4	2.50	20.00	20.00	25.00	5.00	5.00		3
4	2.42	80.00						4
5	500	263.92	27.63	390.00	130.00	876.36	9201.79	1
5	101641	101640						2
5								3
5	0.94	72.00						4
6	600	420.17	9.19	170.00	120.00	892.54	9207.86	1
6	101640	74726	0.0020	6.00	10.00	10.00	10.00	2
6	3.50	30.00	30.00	25.00	5.00	5.00		3
6	0.54	72.00						4
7	700	378.40	33.62	170.00	70.00	909.35	9210.29	1
7	74726	62489	0.0018	7.00	20.00	20.00	20.00	2
7	3.00	40.00	40.00	25.00	5.00	5.00		3
7	0.30	74.00						4
8	800	77.86	12.40	500.00	130.00	919.52	9209.17	1
8	62489	51709	0.0016	8.00	20.00	20.00	20.00	2
8	3.00	30.00	30.00	25.00	5.00	5.00		3
8	2.98	80.00						4
9	900	244.80	9.61	500.00	20.00	926.28	9213.27	1
9	51709	42954	0.0014	8.00	30.00	30.00	30.00	2
9	3.00	40.00	40.00	25.00	5.00	5.00		3
9	4.99	75.00						4

Sub-bacia	Ordem	Área (km <sup>2</sup> )	Comp.da Sub-bacia (km)	Cota entrada (m)	Cota saída (m)	X (m)	Y (m)	Numeração das Linhas
	Dist.	Distância (m)	Declividade do rio	HM (m)	BM (m)	BL (m)	BR (m)	
	BNM	BNL	BNR	SKM	SKL	SKR		
	Decliv. Bacia (%)	CN						
10	1000	68.54	8.34	290.00	15.00	933.29	9208.82	1
10	42954	35771	0.0012	10.00	30.00	30.00	30.00	2
10	2.50	30.00	30.00	25.00	5.00	5.00		3
10	3.30	70.00						
11	1100	137.56	12.20	20.00	10.00	937.89	9213.19	1
11	35771	27021	0.0010	8.00	30.00	30.00	30.00	2
11	2.50	30.00	30.00	25.00	5.00	5.00		3
11	0.08	73.00						4
12	1200	227.13	7.53	15.00	10.00	947.90	9213.47	1
12	27021	16224	0.0008	6.00	25.00	25.00	25.00	2
12	2.00	20.00	20.00	25.00	5.00	5.00		3
12	0.07	73.00						4
13	1300	141.40	12.83	10.00	0.00	955.99	9222.92	1
13	16224	0	0.0006	8.00	20.00	20.00	20.00	2
13	2.00	20.00	20.00	25.00	5.00	5.00		3
13	0.08	76.00						4

**Anexo A – Dados da Modelagem Conforme Requerido pelo Modelo NAVMO Para simulação Hidrológica na Bacia do Mamanguape.**

Sub-bacia	Ordem	Área (km <sup>2</sup> )	Comp.da Sub-bacia (km)	Cota entrada (m)	Cota saída (m)	X (m)	Y (m)	Numeração das Linhas
	Dist.	Distância (m)	Declividade do rio	HM (m)	BM (m)	BL (m)	BR (m)	
	BNM	BNL	BNR	SKM	SKL	SKR		
	Decliv. Bacia (%)	CN						
1	100	1052.00	46.21	590.00	120.00	856.89	9217.09	1
1	80871	80870						2
1								3
1	1.02	75.94						4
2	200	292.50	14.08	120.00	90.00	897.56	9227.76	1
2	80870	53870	0.002	6.00	24.00	24.00	24.00	2
2	2.50	50.00	50.00	25.00	5.00	5.00		3
2	0.21	76.00						4
3	300	722.58	38.80	500.00	130.00	865.73	9236.64	1
3	71251	71250						2
3								3
3	0.95	78.00						4
4	400	387.82	29.03	210.00	90.00	888.58	9243.04	1
4	71250	53870	0.0018	6.00	20.00	20.00	20.00	2
4	2.50	45.00	45.00	25.00	5.00	5.00		3
4	0.41	75.00						4
5	500	455.10	24.64	90.00	60.00	911.73	9241.85	1
5	53870	29750	0.0016	7.00	25.00	25.00	25.00	2
5	2.00	40.00	40.00	25.00	5.00	5.00		3
5	0.12	70.00						4
6	600	359.47	31.75	60.00	10.00	933.77	9246.42	1
6	29750	0	0.0014	7.00	25.00	25.00	25.00	2
6	2.00	40.00	40.00	25.00	5.00	5.00		3
6	0.16	80.00						4

**ANEXO B - Dados de Evaporação Conforme Formato do Modelo Para a Bacia do baixo rio Paraíba.**

	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>
<b>1</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>2</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>3</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>4</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>5</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>6</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>7</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>8</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>9</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>10</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>11</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>12</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>13</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97

**ANEXO B - Dados de Evaporação Conforme Formato do Modelo Para a Bacia do Mamanguape.**

	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>
<b>1</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>2</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>3</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>4</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>5</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97
<b>6</b>	7,27	6,37	5,63	5,05	4,82	4,14	4,66	5,91	6,96	7,65	8,06	7,97