

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
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 SISTEMA PIRANHAS-AÇU  
UTILIZANDO O MODELO NAVMO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DAYANE CARVALHO DA COSTA

CAMPINA GRANDE – PB  
MARÇO/2008

DAYANE CARVALHO DA COSTA

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO NO SISTEMA PIRANHAS-AÇU  
UTILIZANDO O MODELO NAVMO**

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

Área de Concentração: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Orientador: Professor EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

CAMPINA GRANDE – PB  
MARÇO/2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C837m

2008 Costa, Dayane Carvalho da.

Modelagem do escoamento no sistema Piranhas-Açu utilizando o modelo NAVMO / Dayane Carvalho da Costa.— Campina Grande, 2008.  
93f. : il.

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

Referências.

Orientador : Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo.

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

CDU – 556.164(043)

**DAYANE CARVALHO DA COSTA**

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO NO SISTEMA PIRANHAS-AÇU  
UTILIZANDO O MODELO NAVMO**

Dissertação aprovada em 13 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 Junior – Dr.  
Examinador Externo (UFC - CE)

Campina Grande, 13 Março de 2008.

“A dificuldade, mesmo grande, sempre passa; o amor sempre vence; a paz sempre volta; a boa disposição sempre resolve; e os bons objetivos, bem acalentados, sempre se realizam. Vê tudo com bons olhos e de nada reclames. A dificuldade e a dor são instrumentos da vida para te ajudar.”  
Do livro Sempre Alegre, de Lourival Lopes.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **César e Auta**,  
meu marido, **Eduardo**, e aos  
meus irmãos, **Rayssa, Raffael e  
Izabelly**, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e aos espíritos amigos que protegem e nos ajudam nas horas difíceis.

Aos meus pais, César e Auta, pessoas batalhadoras que com muito esforço, dedicação e apoio, estiveram sempre ao meu lado.

Ao meu marido, Eduardo, pelo amor, companheirismo, ajuda e compreensão nas horas de mais dificuldades pela qual passei no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus irmãos, Rayssa, Izabelly e Raffael, pela ajuda e apoio, nos momentos difíceis.

Ao professor orientador Eduardo Enéas de Figueiredo, pela paciência, dedicação e disponibilidade para tirar as dúvidas, que não foram poucas.

Aos professores: Vajapeyam S. Srinivasan, Márcia Maria Rios Ribeiro, Carlos de Oliveira Galvão, Annemarie Konig, Gledneli Maria de Lima Lins, Hans Schuster, Janiro Costa Rego e Rosires Catão Curi pelos conhecimentos adquiridos e dedicação durante o curso.

Aos meus colegas do curso e a Katiana, minha companheira inseparável.

Aos funcionários pela amizade e compreensão.

A **CAPES** pelo suporte financeiro, através da bolsa de estudo, para a realização desta dissertação.

Aos examinadores Vajapeyam S. Srinivasan e Dirceu Silveira Reis Júnior, pela contribuição que deram para a melhoria deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste sonho.

## RESUMO

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo distribuído NAVMO, capaz de considerar as variabilidades do clima e do sistema da bacia, para se modelar o escoamento em várias bacias no Sistema Piranhas/PB – Açu/RN, no semi-árido da Paraíba e Rio Grande do Norte, tendo em vista que as séries de dados da região investigada apresentam redes hidrométricas pouco extensas e com falhas, além do que são afetadas pelo desmatamento e pela grande variabilidade dos fatores climáticos e crescimento da população que são fatores influentes na parametrização de modelos de simulação. O modelo foi calibrado por tentativa e erro, comparando-se hidrogramas diários, vazões máximas e volumes anuais simulados com observados, e depois verificado a sua validade por diferentes critérios. Os resultados da modelagem mostraram que o modelo foi bem calibrado, com valores do coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,8 (vazões máximas) e 0,9 (volumes). A verificação do modelo resultou num coeficiente de determinação médio inferior ao da calibração ( $R^2 = 0.34$ ), porém de um modo geral os hidrogramas diários simulados se aproximaram bem dos observados.



## ABSTRACT

In this research the distributed model NAVMO was utilized to model the runoff at several catchments of the Piranhas/PB – Açu/RN river basin in the semiarid regions of the states of Paraíba and Rio Grande do Norte, since the time series in those regions are short and incomplete and influenced by deforestation, great variability of climate factors and population growing, which are factors that affect the parameters of simulation models. The model was calibrated by a trial and error procedure to fit daily hydrographs, annual volumes and peak of runoffs, and then verified through different criterions. The modelling results showed that the mean coefficients of determinations ( $R^2$ ) were 0.8 for the peak runoffs and 0.9 for the volumes. For the verification phase, the coefficients were poorer than those for the calibration ( $R^2 = 0.34$ ), but in general the simulated hydrographs approached well the observed ones.

## ÍNDICE

<i>DEDICATÓRIA</i> .....	i
<i>AGRADECIMENTO</i> .....	ii
<i>RESUMO</i> .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
<i>ÍNDICE</i> .....	v
<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	ix
<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos Geral e Especifico da Pesquisa.....	2
1.2. Organização da Dissertação.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Modelos Hidrológicos.....	4
2.2. Classificação dos Modelos.....	5
2.2.1. Modelos Hidrológicos Distribuídos.....	7
2.3. Considerações sobre Escala.....	8
2.4. Discretização espaço-temporal.....	9
2.5. Etapas de Utilização de Modelos Hidrológicos.....	10
2.6. Alguns Exemplos de Modelos hidrológicos .....	11
a) O modelo SWAT.....	11
b) O modelo NAVMO.....	12
3. ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS.....	14
3.1. Região da Bacia do Rio Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte e Paraíba).....	14
3.1.1. Geomorfologia .....	15
3.1.2. Geologia.....	15
3.1.3. Clima.....	16
3.1.4. Cobertura Vegetal.....	16
3.2 Base de Dados.....	17
3.2.2. Dados Hidroclimatológicos.....	17
4. DESCRIÇÃO DO MODELO NAVMO.....	20
4.1. Características gerais do modelo NAVMO.....	20
4.2. Representação dos processos no modelo NAVMO.....	23

4.3. Cálculo da precipitação média.....	23
4.4. Cálculo da capacidade dos reservatórios.....	25
4.5. Cálculo da evapotranspiração atual.....	25
4.6. Cálculo do déficit da umidade do solo.....	26
4.6.1. Condições para o transbordamento.....	27
4.7. Cálculo da lâmina do escoamento superficial direto.....	28
4.8. Cálculo da lâmina do escoamento sub-superficial. ....	28
4.9. Cálculo da lâmina do escoamento subterrâneo.....	28
4.10. Hidrogramas dos escoamentos.....	29
4.11. Escoamento total.....	30
4.12. Propagação do Escoamento nos Canais.....	30
4.13. Dados requeridos pelo Modelo.....	32
5. CALIBRAÇÃO DO MODELO NAVMO.....	33
5.1. Modelagem da Bacia Piranhas-Açu.....	33
5.2. Calibração.....	35
5.3. Análise e discussão da calibração.....	46
5.3.1. Bacia Sítio Volta – 1980 km <sup>2</sup> (1979 – 1985).....	46
5.3.2. Bacia Caicó – 6280 km <sup>2</sup> (1986 – 1998).....	48
5.3.3. Bacia Sítio Acauã – 22750 km <sup>2</sup> (1973 – 1979 e 1986 - 1998).....	50
5.3.4. Bacia Jardim de Piranhas – 6500 km <sup>2</sup> (1964 – 1985).....	52
5.3.5. Bacia Patos – 1850 km <sup>2</sup> (1985 – 1998).....	54
5.3.6. Bacia São Fernando – 9700 km <sup>2</sup> (1963 – 1998).....	56
5.3.7. Bacia Serra Negra do Norte – 3330 km <sup>2</sup> (1921 – 1957; 1959 – 1961; 1983).....	58
6. VALIDAÇÃO DO MODELO NAVMO.....	61
6.1 Validação.....	61
6.2. Simulação com parâmetros médios obtidos da calibração pela Vazão Máxima.....	61
6.2.1. Bacia Patos.....	62
6.2.2. Bacia Serra Negra do Norte.....	63
6.2.3. Bacia Sítio Volta.....	63
6.2.4. Bacia Caicó.....	64
6.2.5. Bacia São Fernando.....	64
6.2.6. Bacia Sítio Acauã.....	65
6.2.7. Bacia Jardim de Piranhas.....	65
6.3. Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes.....	66

6.3.1. Bacia Patos.....	66
6.3.2. Bacia Serra Negra do Norte.....	67
6.3.3. Bacia Sítio Volta.....	67
6.3.4. Bacia Caicó.....	68
6.3.5. Bacia São Fernando.....	68
6.3.6. Bacia Sítio Acauã.....	69
6.3.7. Bacia Jardim de Piranhas.....	69
6.4. Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações pela vazão máxima e volumes.....	70
6.4.1. Bacia Patos.....	70
6.4.2. Bacia Serra Negra do Norte.....	71
6.4.3. Bacia Sítio Volta.....	71
6.4.4. Bacia Caicó.....	72
6.4.5. Bacia São Fernando.....	72
6.4.6. Bacia Sítio Acauã.....	73
6.4.7. Bacia Jardim de Piranhas.....	73
6.5. Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes levando em considerando anos secos, normais e úmidos.....	74
6.5.1. Bacia Patos.....	75
6.5.2. Bacia Serra Negra do Norte.....	75
6.5.3. Bacia Sítio Volta.....	76
6.5.4. Bacia Caicó.....	76
6.5.5. Bacia São Fernando.....	77
6.5.6. Bacia Sítio Acauã.....	77
6.5.7. Bacia Jardim de Piranhas.....	78
6.6. Análise do efeito de escala sobre os parâmetros.....	78
7. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	80
7.1 Análise de Resultados.....	80
7.2 Conclusões.....	80
8. RECOMENDAÇÕES.....	82
8.1. Recomendações.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	83

ANEXOS.....	87
Anexo A: Arquivo de dados da Bacia conforme o Modelo NAVMO para simulação Hidrológica no Sistema Piranhas-Açu.....	88
Anexo B: Arquivo de dados de evaporação média conforme o Modelo NAVMO.....	90
Anexo C: Diagrama de Barras dos dados dos 76 Postos Pluviométricos encontrados no site da Hidro-Web.....	91
Anexo D : Postos Pluviométricos Seleccionados.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema do ciclo hidrológico( <a href="http://www.oaquiferoguarani.com.br/fig1_2.htm">www.oaquiferoguarani.com.br/fig1_2.htm</a> ).....	4
Figura 2.2 – Esquema de divisão de bacia: sub-bacias (a e c), e quadrículas (b).....	7
Figura 2.3 – Efeito de escala sobre os parâmetros do modelo NAVMO.....	9
Figura 3.1 – Mapa da Bacia do Rio Piranhas-Açu.....	14
Figura 3.2 – Mapa da Cobertura Vegetal da Bacia do Rio Piranhas-Açu (IBGE,1995).....	17
Figura 3.3 - Bacia Hidrográfica do rio Piranhas - Açu.....	18
Figura 4.1 – Fluxograma do modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989).....	22
Figura 4.2 – Representação do processo de precipitação-vazão-evaporação no modelo NAVMO (adaptação de Figueiredo & Braga, 2002).....	23
Figura 4.3 – Esquema representativo do método do ponto reticular modificado.....	24
Figura 4.4 - Seção transversal do rio (Kleeberg et al., 1989) .....	

Figura 5.15- Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Jardim de Piranhas em 1964 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	53
Figura 5.16 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Jardim de Piranhas.....	54
Figura 5.17 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Jardim de Piranhas em 1978 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima. ....	54
Figura 5.18 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Patos.....	55
Figura 5.19 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Patos em 1986 com Parâmetros Calibrados pelo Volume. ....	55
Figura 5.20 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Patos.....	56
Figura 5.21 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Patos em 1986 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.....	56
Figura 5.22 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de São Fernando.	57
Figura 5.23 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de São Fernando em 1992 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	57
Figura 5.24 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de São Fernando.....	58
Figura 5.25 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de São Fernando em 1994 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima. ....	58
Figura 5.26 - Volumes Anuais Observados e Simulados na Bacia de Serra Negra do Norte..	59
Figura 5.27 - Hidrogramas Observados e Simulados na Bacia de Serra Negra do Norte em 1950 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.....	59
Figura 5.28 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Serra Negra do Norte.	60
Figura 5.29 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Serra Negra do Norte em 1948 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima. ....	60
Figura 6.1 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	62
Figura 6.2 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1948 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima. ....	63
Figura 6.3 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1982 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	63
Figura 6.4 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1995 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	64
Figura 6.5 - Hidrogramas Observado Bacia de São Fernando em 1996 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	64
Figura 6.6 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1995 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	65

Figura 6.7 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1975 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.....	65
Figura 6.8 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	66
Figura 6.9 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1952 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	67
Figura 6.10 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1980 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	67
Figura 6.11 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1989 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	68
Figura 6.12 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1983 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	68
Figura 6.13 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1995 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	69
Figura 6.14 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1975 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.....	69
Figura 6.15 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	70
Figura 6.16 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1960 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	71
Figura 6.17 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1979 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	71
Figura 6.18 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1995 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	72
Figura 6.19 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1996 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	72
Figura 6.20 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1973 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	73
Figura 6.21 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1974 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.....	73
Figura 6.22 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1986 e Simulado pela com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	75
Figura 6.23 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1948 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	75
Figura 6.24 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1983 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	76



Figura 6.25 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1992 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	76
Figura 6.26 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1976 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	77
Figura 6.27 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1976 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	77
Figura 6.28 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1974 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando as condições antecedentes.....	78
Figura 6.29 – Variação de EET e ALFA médios com a Escala da Bacia (pelos picos).....	78
Figura 6.30 – Variação de EET e ALFA médios com a Escala da Bacia (pelos volumes).....	79
Figura 6.31 – Variação de EET, ALFA e CN médios com a Escala da Bacia.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Postos Fluviométricos Utilizados.....	17
Tabela 3.2 - Postos Pluviométricos Utilizados.....	19
Tabela 3.4 -Evaporação média mensal em São Gonçalo.....	19
Tabela 4.1 -Significados dos parâmetros calibráveis do modelo NAVMO.....	21
Tabela 5.1 -Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Sítio Acauã Calibrados pelo Volume. ....	36
Tabela 5.2 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Patos Calibrados pelo Volume.....	36
Tabela 5.3 -Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Jardim de Piranhas Calibrados pelo Volume.....	37
Tabela 5.4 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Sítio Volta Calibrados pelo Volume.....	37
Tabela 5.5 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Serra Negra do Norte Calibrados pelo Volume.....	38
Tabela 5.6 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Caicó Calibrados pelo Volume.....	39
Tabela 5.7 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de São Fernando Calibrados pelo Volume.....	40
Tabela 5.8 -Valores de EET, ALFA,CN e QBSP para o posto de Sítio Acauã Calibrados pelo Pico.....	41
Tabela 5.9 - Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Jardim de Piranhas Calibrados pelo Pico.....	42
Tabela 5.10 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Sítio Volta Calibrados pelo Pico.....	42
Tabela 5.11 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Serra Negra do Norte Calibrados pelo Pico.....	43
Tabela 5.12 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Patos Calibrados pelo Pico.....	44
Tabela 5.13 -Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Caicó Calibrados pelo Pico.....	44
Tabela 5.14 -Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de São Fernando Calibrados pelo Pico.....	45
Tabela 5.15 -Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) das Calibrações feitas pela Vazão Máxima e pelo Volume.....	46

Tabela 6.1 -Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pelos parâmetros médios das Vazões Máximas. ....	62
Tabela 6.2 -Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pelos parâmetros médios dos Volumes.....	66
Tabela 6.3 -Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pelos parâmetros médios dos Volumes e da Vazão Máxima.....	70
Tabela 6.4 -Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pela média dos Volumes levando em consideração as condições antecedentes.....	74

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

Na parte semi-árida do Nordeste do Brasil e em outras localidades semelhantes do mundo, a escassez de água é um problema notável. São as regiões semi-áridas as mais castigadas com a grande variabilidade dos fatores climáticos, com regime pluviométrico geralmente concentrado entre três e quatro meses, mal distribuído no espaço e com o aumento da demanda, em consequência do crescimento da população e das atividades econômicas, é que se faz necessário estudar bem as bacias hidrográficas para um bom planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Para os estudos de recursos hídricos são necessários dados hidrológicos confiáveis e representativos, para uma avaliação mais segura sobre o potencial hidrológico de uma bacia hidrográfica, por exemplo, a vazão. Portanto, a modelagem tem sido uma alternativa para a estimativa de processos e suas relações com a escala e uso do solo (Braga, 2000), estender séries e regionalizar variáveis hidrológicas (e.g., picos, volumes, curva de garantia, etc.) (Crispim, 2005).

Um problema, enfrentado pelos modeladores, é a falha nos dados dos postos pluviométricos e fluviométricos que dificilmente cobrem todos os locais de interesse, principalmente os de medição fluviométrica. Um exemplo disto ocorreu na área de estudo que as séries de dados fluviométricos não coincidem temporalmente com os pluviométricos localizados próximos.

Para suprir o problema da deficiência da rede hidrométrica a modelagem hidrológica distribuída tem sido uma alternativa mais avançada para estudar as bacias hidrográficas (Lopes, 1994) de modo a considerar suas variabilidades (solos, clima, relevo, usos). Nesse sentido, Crispim (2005) e Figueiredo et al. (2006) utilizaram o modelo distribuído NAVMO (Kleeberg et al., 1989), na região do Alto rio Piranhas limitado pela estação de Sítio Vassouras (14850 km<sup>2</sup>).

Na presente pesquisa o modelo NAVMO foi calibrado para as várias sub-bacias do Sistema Piranhas – Açú, que conta com sete estações fluviométricas com diferentes períodos de dados observados, contidos entre as estações de Sítio Vassouras e Sítio Acauã numa área de 22750 km<sup>2</sup> ainda não estudados com o modelo NAVMO. A calibração foi feita por tentativa e erro e individualmente para cada estação, devido às setes estações não apresentarem o mesmo período de dados. Os resultados foram

analisados através do coeficiente de determinação entre os dados observados e simulados, tanto na calibração quanto na validação, bem como através dos hidrogramas diários. A descrição da modelagem e seus resultados são discutidos nesta dissertação cujos objetivos, geral e específicos, são apresentados a seguir, bem como a estrutura desta dissertação.

### 1.1 Objetivos Geral e Especifico da Pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivo principal fazer a modelagem do escoamento no Sistema Piranhas-Açu limitada entre as estações de Sítio Vassouras e Sítio Acauã, que está, parte inserida na região da Paraíba e parte no Rio Grande do Norte.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- V Calibrar o modelo NAVMO para os vários locais do sistema Piranhas-Açu com disponibilidade de dados considerando:
  - Calibração manual, ano a ano por pico e por volume anual considerando os anos secos, normais e úmidos;
- V Validar o modelo através de simulações utilizando diferentes critérios:
  - Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos picos;
  - Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes;
  - Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações pela vazão máxima e volumes;
  - Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes levando em considerando os anos como secos, normais e úmidos;
  - Análise do efeito de escala sobre os parâmetros;

### 1.2 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão de literatura acerca dos assuntos abordados nesta pesquisa. No capítulo 3 é feita uma descrição da área de estudo, o Sistema Piranhas - Açu, como os dados disponíveis que serviram de base para o trabalho. No capítulo 4 é feita uma descrição do modelo NAVMO. No capítulo 5 são apresentados os resultados da calibração do modelo. No capítulo 6 são apresentados os resultados da

validação do modelo. No capítulo 7 é apresentada a análise dos resultados e as conclusões. No capítulo 8 as recomendações.

## CAPÍTULO 2

### 2. REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1. Modelos Hidrológicos

A hidrologia é a ciência que se baseia na observação dos processos envolvidos com a água no meio físico natural (Tucci, 1993). Sendo o ciclo hidrológico (Figura 1.1) a seqüência de fenômenos da movimentação da água no sistema terrestre e na atmosfera.



**Figura 1.1 – Esquema do ciclo hidrológico.**

(Fonte: [www.oaqueroguarani.com.br/fig1\\_2.htm](http://www.oaqueroguarani.com.br/fig1_2.htm))

A história mostra que o homem buscou fixar-se próximo aos rios, pois proporcionava facilidade em obtê-la para consumo, e isso impulsionava o desenvolvimento na agricultura e viabilizava a sua utilização como meio de transporte. Desse modo, diversas cidades surgiram e se desenvolveram às margens de rios.

Essa proximidade, apesar dos benefícios descritos, trouxe também riscos decorrentes da maior susceptibilidade dessas áreas a inundações. Dessa forma, as primeiras experiências de previsão hidrológica estão relacionadas com a tentativa do homem em tentar prever a ocorrência de inundações (Rodda e Rodda, 2000). Segundo Tucci (1993), o crescimento desordenado e acelerado das cidades ocorrido no Brasil, principalmente na segunda metade do século passado, provocou um aumento na

ocupação de áreas de risco, tais como as várzeas inundáveis, agravando ainda mais os problemas decorrentes das enchentes.

Então temos o modelo hidrológico como uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (Tucci, 1998). É daí a importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica, pois as características da mesma estão intimamente relacionadas com a produção de água. Segundo Zakia (1998), a área de uma bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida. Já a forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime desta produção de água, assim como sobre a taxa de sedimentação.

Um modelo pode ser físico ou matemático. O modelo físico representa o sistema por um protótipo em menor escala, que pode ser uma barragem em escala reduzida. Modelo matemático é aquele que representa o sistema por um conjunto de equações matemáticas e argumentos lógicos. Isto permite uma grande facilidade na modificação destes argumentos para se obter diferentes respostas para diferentes condições climáticas ou do sistema da bacia. Programas computacionais são codificados conforme a concepção do modelo, permitindo obter uma saída a partir de dados de entrada.

## **2.2. Classificação dos Modelos**

Discussões sobre aspectos relacionados à classificação de modelos podem ser encontradas em Maidment (1993) e Tucci (1998).

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Note, no entanto, que uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída. Sistemas



multivariados não-lineares podem levar a resultados caóticos que erroneamente são interpretados como variáveis aleatórias.

Os modelos podem ser empíricos, quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia-a-dia. No entanto, são pouco robustos uma vez que, são específicos para aquela região para a qual as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo, etc. Os modelos podem ser também baseados em processos (modelos conceituais) e, em geral, são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever os processos que envolvem determinado fenômeno estudado. Por exemplo, o cálculo da variação do nível do lençol freático é bastante complexo e tem a necessidade de envolver o uso de modelos detalhados e multivariados, que geralmente requerem um bom conjunto de informações e uma parametrização cuidadosa antes que eles possam ser executados.

Apesar dos fenômenos naturais variarem continuamente no tempo, na maioria das vezes, estes fenômenos são representados por modelos discretos. A escolha do intervalo de tempo no qual o modelo será executado depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados. Em geral, é teoricamente esperado que quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando também o custo computacional para geração destes resultados.

Os modelos ainda são classificados como pontuais (concentrados ou agregados) ou distribuídos. Em modelos concentrados, considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e conseqüentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais realísticos consideram também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos.

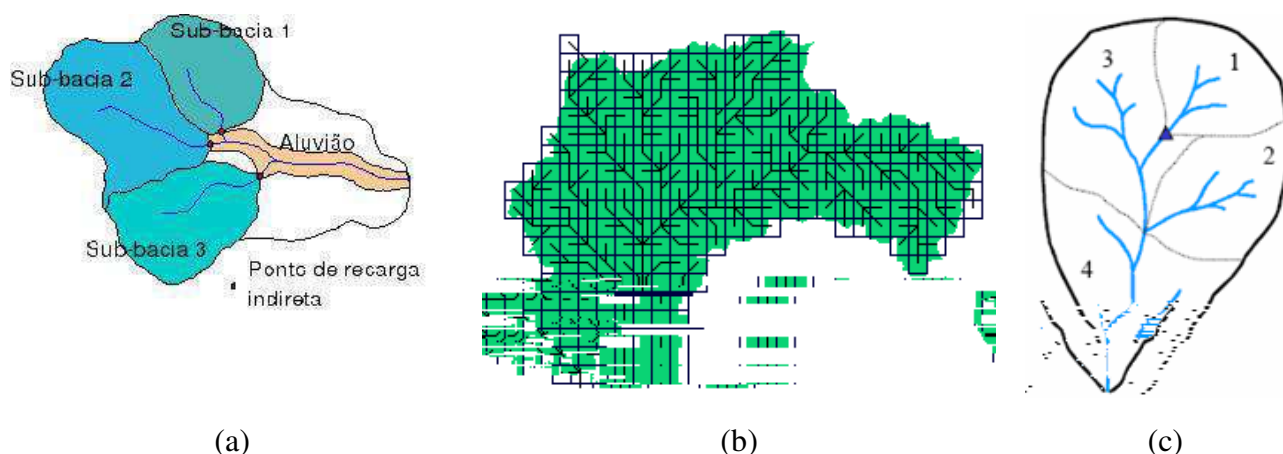
Finalmente, os modelos podem ser estáticos quando, com um conjunto de dados de entrada produz-se um resultado oriundo da resolução das equações do modelo em um único passo. Já modelos dinâmicos utilizam o resultado de uma iteração como entrada para uma próxima iteração (Steyaert, 1993).

### 2.2.1. Modelos Hidrológicos Distribuídos

Hoje, a gama de ferramentas disponíveis para previsão de vazão, baseadas na modelagem dos processos físicos aumentou significativamente, como mostrado a seguir:

Os Modelos Hidrológicos Distribuídos disponíveis são baseados na equação de continuidade da água, através do balanço hídrico entre precipitação, vazão, evaporação e infiltração. Estes modelos podem incorporar as informações sobre o uso do solo, obtidas por sensoriamento remoto (satélite ou radares a bordo de aeronaves instrumentadas), e informações sobre o terreno e topografia de uma bacia hidrográfica, podendo ser utilizadas em grandes bacias, e calibrada de forma relativamente rápida.

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



**Figura 2.2 – Esquema de divisão de bacia: em sub-bacias (a e c) e quadrículas (b).**

A precipitação diária em cada elemento de área é estimada por interpolação entre as estações pluviométricas da bacia, da mesma forma é estimada a evaporação potencial. Um balanço hídrico é calculado para cada classe de vegetação dentro de cada elemento de área, a vazão superficial é calculada e é transferida aos elementos vizinhos, até o exutório da bacia. Por exemplo, na calibração do modelo, pode-se usar uma técnica de otimização multi-objetiva, a partir de um algoritmo genético (Sorooshian et al., 1998; Collischonn, 2001; Gupta et al., 1998; Boyle et al., 2000) ou técnica manual.

Modelos distribuídos levam em consideração a distribuição da precipitação no espaço. Evidentemente, no caso de bacias hidrográficas de longo tempo de resposta, a

alimentação com a chuva observada pode levar a prognósticos de precisão significativamente mais alta que os modelos estocásticos, desde que devidamente calibrados. Entretanto, em bacias com tempo de resposta curto, torna-se absolutamente necessário fornecer estimativas da evolução temporal da precipitação baseadas em prognósticos meteorológicos.

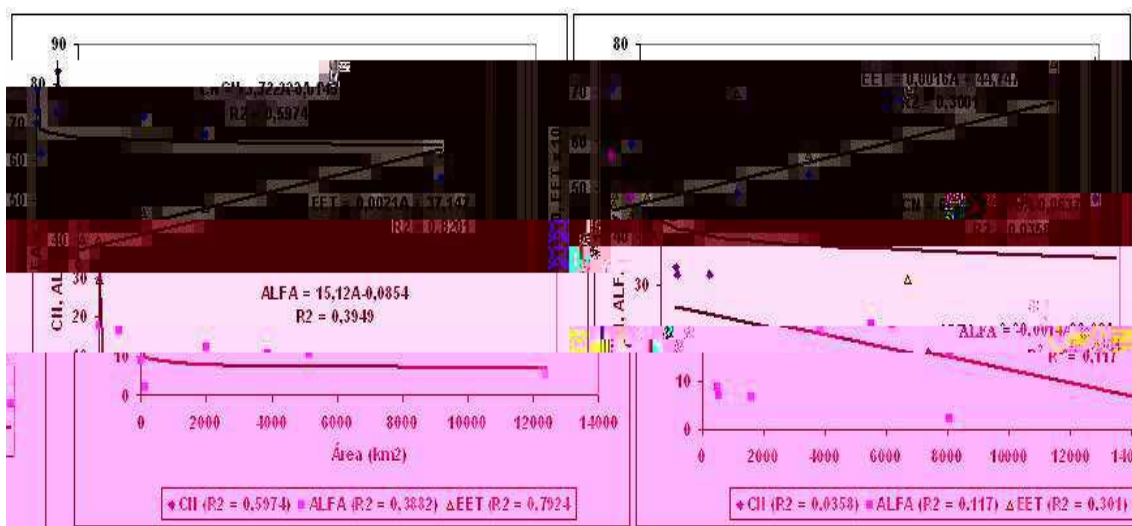
### 2.3. Considerações sobre Efeito de Escala sobre o Escoamento

“Existe hoje a necessidade de uma teoria de escala hidrológica que trate os problemas da integração espacial e temporal em todas as hierarquias do Ciclo Hidrológico apontado há quatro décadas por Ven Te Chow. O problema reside em conhecer como variáveis e parâmetros são representados em escalas diferentes e como estabelecer as funções de transferência entre essas escalas. Por exemplo, a equação de infiltração obtida através de um experimento de campo para uma área de poucos  $\text{cm}^2$  não tem os mesmos parâmetros quando utilizada para uma área de muitos  $\text{m}^2$  ou  $\text{km}^2$ . Como então, medir esse processo para que essa equação ou transformações da mesma possa ser utilizada em escalas maiores? O principal objetivo nesse contexto é o de determinar qual é a área representativa apropriada de uma variável hidrológica que identifique a escala do processo natural” (Mendondo et al,1997).

Segundo Mediondo e Tucci (1997) a representação dos processos hidrológicos em diferentes escalas tem problemas quanto aos seguintes aspectos principais:

- V A heterogeneidade espacial dos sistemas hídricos e a incerteza com a qual os parâmetros e processos são medidos em diferentes escalas;
- V A dificuldade de representar os processos caracterizados e analisados na microescala para outras escalas da bacia hidrográfica;
- V A falta de relação entre os parâmetros de modelos matemáticos com as diferentes configurações espaciais encontradas na natureza.

Nos estudos feitos por Figueiredo et al (2006) sobre efeito de escala, na bacia do Alto rio Paraíba, foram verificados que, por exemplo, os parâmetros do escoamento modelo NAVMO, por eles calibrados, variaram inversamente com a escala da bacia (Figura 2.3), tanto para o ajuste dos volumes, quanto no ajuste das vazões máximas. Já o parâmetro da evapotranspiração variou pouco entre as escalas da bacia, porém apresentou um aumento gradual com o aumento da área. Uma análise semelhante é feita no presente estudo.



**Figura 2.3 – Efeito de escala sobre os parâmetros do modelo NAVMO.**

#### 2.4. Discretização espaço-temporal

Muitos modelos hidrológicos podem ser encontrados na literatura. Em geral, estes modelos descrevem a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressões do solo, o movimento da água no solo causado pela infiltração, percolação, recarga e descarga de água subterrânea, e o escoamento superficial, sub-superficial e nos canais de escoamento. Os modelos hidrológicos procuram simular o percurso da água desde a precipitação até a saída da água do sistema, seja por escoamento para fora da bacia hidrográfica, seja por evapotranspiração.

A forma mais simples de tratar uma bacia hidrográfica é considerá-la um sistema agregado com propriedades espacialmente homogêneas. Caso se deseje um maior detalhamento dos processos dentro da bacia hidrográfica é necessário proceder a uma subdivisão da mesma.

Conceitualmente, o espaço pode ser dividido segundo duas abordagens distintas. Na primeira, a divisão é feita em partes reconhecíveis, as quais são denominadas de objetos e podem ser representadas através de pontos, linhas ou polígonos. Ou então o espaço pode também ser simplesmente dividido formando o que se denomina campos contínuos. Neste último caso, a representação mais usual é a grade regular e a entidade elementar é constituída por cada célula dessa grade. No entanto, outras representações podem ser utilizadas em campos contínuos (Burrough, 1998). Da mesma forma que o espaço, o tempo pode ser dividido de diferentes maneiras, sendo a mais usual, em

intervalos iguais. O caso mais simples de discretização espacial de uma bacia hidrográfica é dividi-la em sub-bacias, onde cada uma constitui um sistema agregado (ponto), conectadas por ligações que representam os cursos d'água (Maidment, 1993).

## **2.5. Etapas de Utilização de Modelos Hidrológicos**

A utilização de um modelo possui geralmente três etapas: ajuste dos parâmetros do modelo, validação e estimativa dos valores das variáveis do modelo.

A calibração dos parâmetros 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.

Tucci (1998) apresenta classificações mais detalhadas de tipos de calibração e as coloca como métodos tradicionais de determinação de parâmetros. São elas:

- Medida direta: envolve a obtenção dos valores diretamente em campo, mapas e etc;
- Amostragem: quando o valor é uma amostra representativa e é aplicada sobre todo o sistema;
- Ajuste por tentativa e erro: de posse das variáveis de entrada e saída (como vazão), buscando-se um melhor ajuste dos hidrogramas, a partir dos parâmetros;
- Ajuste por otimização: quando se busca o melhor grupo de parâmetros de funções objetivos que, por métodos matemáticos, automaticamente busca a melhor diferença entre os dados observados e simulados.

A verificação ou validação do modelo 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, 2000).

Ewen e Parkin (1996) fazem uma discussão sobre alguns métodos existentes, dando ênfase àqueles propostos por Klemes (1986), dentre os quais estão:

- Teste da divisão da amostra: baseia-se na divisão da amostra disponível em duas partes: uma para a calibração e outra para validação;
- Teste de divisão da amostra diferenciada: nele os dados são divididos de acordo com a razão de alguma variável envolvida, para se fazer a validação em condição oposta aquela da calibração. Por exemplo, com a variável precipitação, pode-se calibrar para um período seco e validar-se para um chuvoso (úmido).
- Teste da bacia homogênea ou vizinha: são usados dados de duas bacias. Calibra-se com os dados de uma bacia e faz-se a validação com os da outra bacia.
- Teste da bacia homogênea ou vizinha diferenciada: este teste é semelhante ao teste de divisão da amostra diferenciada, sendo que são dados de bacias diferentes. Ou seja, calibra-se com o período seco de uma bacia e se valida com o período úmido de outra.

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 (Srooshian e Gupta, 1995) os melhores resultados. O modelo deve ser selecionado de acordo com o tipo de estudo a ser realizado e suas qualificações devem atender a necessidade do modelador.

## **2.6. Alguns Exemplos de Modelos hidrológicos**

A partir do surgimento dos computadores, foram desenvolvidos inúmeros modelos matemáticos de simulação. Atualmente existem muitos modelos hidrológicos, cada com características comuns entre si. Dentre eles, podem ser citados:

**a) O modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool):** desenvolvido pelo Agricultural Research Service e pel Texas A&M University em 1996 objetivando a análise dos impactos das alterações no uso do solo o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade química da água (King et al., 1996). Ele é um modelo do tipo distribuído em que 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, sendo possível a subdivisão de centenas a milhares de células, cada célula representando uma sub-bacia. O escoamento superficial é estimado usando a equação de Curva Número (CN) do *Soil Conservation Service* – SCS (USDA-SCS, 1972). Segundo Oliveira (2001), uma limitação do modelo SWAT é avaliar a alteração na produção de água em função das alterações na cobertura do solo quando a bacia apresentar um alto grau de impermeabilização, com CN superior a 80.

**b) O modelo NAVMO (Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell)** (Kleeberg et al., 1989): é um modelo diário, determinístico, conceitual e distribuído e considera o sistema da bacia através de uma divisão da mesma em sub-bacias e trechos de acompanhamento do fluxo. A precipitação é transformada em escoamento total em cada sub-bacia. A vazão total é a soma dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo.

Uma descrição detalhada deste modelo será apresentada no capítulo 4, haja vista que foi utilizado nesta pesquisa.

No Brasil este modelo foi inicialmente utilizado por Figueiredo et al. (1991). Eles o utilizaram num estudo das prováveis causas da diminuição do volume de armazenamento do açude público de Sumé, o qual capta água da bacia hidrográfica do Rio Sucurú (748,60 Km<sup>2</sup>). Eles concluíram que o problema de enchimento do açude não é devido à variação da pluviosidade, e sim devido à presença de armazenamento a montante do reservatório.

Na literatura encontram-se outras aplicações deste modelo, como os trabalhos realizados por:

- V Lopes (1994), que calibrou e validou o modelo NAVMO para avaliar o escoamento na bacia do rio Piancó (4550 km<sup>2</sup>), encontrando bons resultados;
- V Figueiredo e Srinivasan (1999), avaliaram os impactos dos usos do solo e da presença dos açudes sobre o escoamento superficial a montante do açude público de Sumé;
- V Furtunato (2004), fez uma análise de efeito de Escala dos parâmetros calibráveis do Modelo NAVMO sobre a área para o Alto rio Paraíba.
- V Bastista (2006), fez a análise no escoamento simulado em várias bacias na região do alto rio Paraíba considerando diferentes divisões da bacia;

V Crispim (2005), fez a regionalização na região do alto rio piranhas e também gerou séries para os períodos sem dados observados, apresentando consistência e homogeneidade conforme os testes paramétricos, não paramétricos e de dupla massa.

O estudo de modelagem do escoamento no restante da bacia do rio Piranhas, com o modelo NAVMO ainda não foi realizado e, neste sentido, por isso, se faz necessário estender o trabalho feito por Crispim (2005) que se limitou a região do alto rio Piranhas nesse sentido, esta pesquisa vem preencher esta lacuna, que dará subsídios a futuros estudos na bacia.

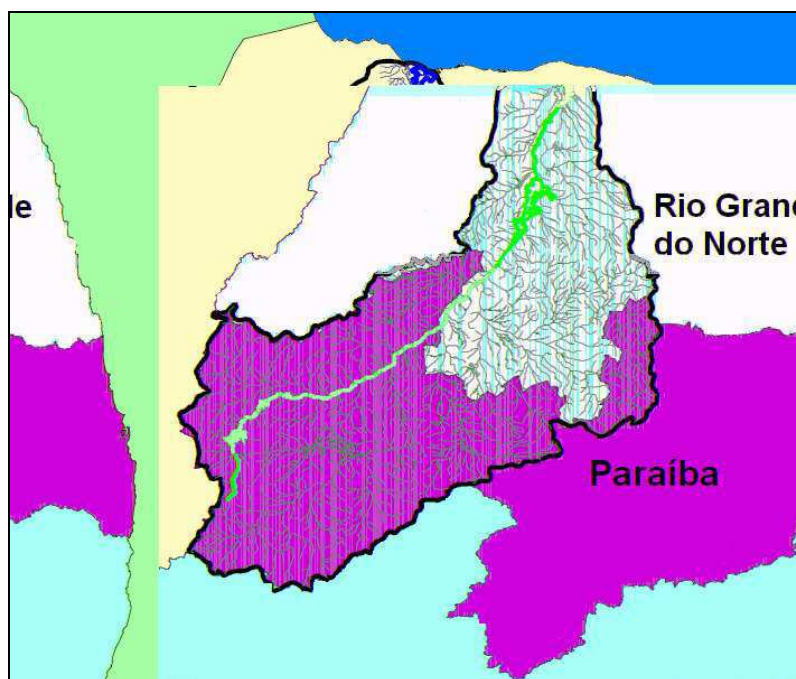


## CAPÍTULO 3

### 3. ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

#### 3.1. Região da Bacia do Rio Piranhas - Açu (Rio Grande do Norte e Paraíba)

A Bacia Hidrográfica Piranhas - Açu (Figura 3.1), que está totalmente inserida no clima semi-árido nordestino, possui uma área total de drenagem de 43.681,5 km<sup>2</sup>, sendo 26183 km<sup>2</sup> no Estado da Paraíba, e 17.498,5 km<sup>2</sup> no Estado do Rio Grande do Norte. Contempla 147 municípios, sendo 45 municípios no Estado do Rio Grande do Norte e 102 municípios no Estado da Paraíba (<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/index.php>).



**Figura 3.1 – Mapa da Bacia do Rio Piranhas – Açu.**

O rio é denominado Piranhas, no Estado da Paraíba, e, após cruzar a fronteira com o Estado do Rio Grande do Norte adquire o nome de Piranhas - Açu. A bacia é constituída por sete sub-bacias: Piancó, Peixe, Alto Piranhas, Médio Piranhas, Espinharas, Seridó e Baixo Piranhas. As três primeiras estão totalmente inseridas em território paraibano, a sub-bacia do Baixo Piranhas situa-se totalmente no Estado do Rio Grande do Norte e as demais estão compreendidas nos dois Estados (<http://www.marcadagua.org.br/bacia2.htm>).

A maior parte do solo no Rio Grande do Norte é constituída pelos solos Bruno Não Cálcico (35,1%) e Litólicos Eutróficos (29,0%) (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?Id publicacao = 138>).

Já na parte da Paraíba os solos são dos tipos: Litólicos Eutróficos, Bruno Não Cálcico e Podzólicos Vermelho-Amarelo- Eutróficos (Crispim, 2005).

### **3.1.1. Geomorfologia**

Na porção centro-sul da bacia predomina a unidade geomorfológica Depressão Sertaneja, caracterizada, predominantemente, por formas de relevo tabulares amplas e pouco aprofundada. Subordinadamente ocorrem relevos convexos e formas aguçadas.

Ocupando a porção sudeste da bacia, ocorre a unidade Planalto da Borborema, constituída por um misto de formas aguçadas, convexas e tabulares, encimadas por notáveis ocorrências de topos amplos, com presença de sedimentos terciários, formando superfícies tabulares erosivas. No setor norte da bacia, observa-se a Superfície Cárstica, que se caracteriza por ampla superfície pediplanada e, subordinadamente, por relevos tabulares pouco dissecados e pouco profundos. Na foz do rio Açu, nota-se uma ampla planície flúvio-marinha que constitui a Faixa Litorânea (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>).

### **3.1.2. Geologia**

Na parte da bacia inserida na PB que é denominada de Alto Piranhas, a geologia na parte norte dela é marcada por rochas cristalofinianas do Complexo gnáissico Migmatítico e rochas de seqüência sedimentar, que chegam a provocar afloramentos na região. Em sua parte central, existem formações de Quartizitos, Gnaisses do Proterozóico e rochas vulcânicas como granitos. No centro-sul, há predominância do complexo cristalino sobre terrenos sedimentares e ocorrências de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas (Crispim, 2005).

Já na parte do RN existe uma predominância de rochas cristalinas nos complexos de Caicó, São Vicente e Seridó, com intrusões de rochas plutônicas e filonianas. No sudeste, relacionado à parte da bacia inserida no RN, destaca-se, ainda, a ocorrência de duas grandes manchas, constituídas por arenitos caulíníficos, arenitos ferruginosos e lateritas, relacionadas à Formação Serra do Martins, do Terciário,

recobrando terrenos do embasamento Pré-Cambriano. Na parte norte da mesma, menos representativa em área que na bacia Apodi-Mossoró, ocorrem calcários da Formação Jandaíra e arenitos da Formação Açú e Grupo Barreiras. A planície flúvio-marinha, que constitui o renomado Vale do Açú, é constituída por sedimentos quaternários (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>).

### **3.1.3. Clima**

Em toda a extensão da bacia há uma predominância do tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semi-árido.

De acordo com Crispim (2005), a região do alto rio piranhas tem temperatura média de 24°C e amplitude térmica anual menor que 4°C.

A precipitação na bacia varia de leste para oeste. As menores ocorrem no setor leste com precipitações inferiores a 500 mm e à medida que se desloca para oeste, a média pluviométrica anual cresce, atingindo valores acima de 700 mm.

O clima da bacia é tropical quente e seco ou semi-árido, sendo predominantemente coberta pela vegetação de caatinga, com alguma floresta ciliar de carnaúba nas zonas de várzea ([http://www.marcadagua.Org.br/Piranhas\\_Acu.pdf](http://www.marcadagua.Org.br/Piranhas_Acu.pdf)).

A evaporação potencial é alta em todo o Sistema com taxas anuais entre 2000 mm e 3000 mm, com baixa variabilidade espacial e interanual.

### **3.1.4. Cobertura Vegetal**

De acordo com a Figura 3.2 podemos perceber que a maioria da cobertura do Sistema Piranhas-Açú pertence ao que se convencionou denominar de Caatinga, uma vegetação do tipo savana estépica, “estacional-decidual, portanto com os estratos arbóreo e gramíneo-lenhoso periódico e com numerosas plantas suculentas, sobretudo cactáceas” (IBGE, 1995).





**Tabela 3.2 - Postos Pluviométricos Utilizados.**

	Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)
				gg	mm	ss	gg	mm	ss	
1	Açude Bonito	638044	RN	6	12	46	38	25	32	500
2	Açude Mendubim	536029	RN	5	38	0	36	56	0	73
3	Açude Oiticica	637008	RN	6	9	0	37	8	0	80
4	Caicó	637039	RN	6	27	4	37	5	26	143
5	Desterro	737018	PB	7	17	0	37	6	0	590
6	Gurjão	736016	PB	7	16	0	36	29	0	480
7	Juazeirinho	736015	PB	7	4	0	36	35	0	570
8	Lajes	536009	RN	5	42	0	36	15	0	198
9	Medubim de baixo	536035	RN	5	37	55	36	54	58	73
10	Parellhas	636018	RN	6	41	0	36	40	0	325
11	Patú	637000	RN	6	6	0	37	38	0	305
12	Pedra Lavrada	636037	PB	6	45	0	36	28	0	525
13	Piancó	737006	PB	7	12	51	37	55	33	250
14	Pombal	637032	PB	6	46	0	37	49	0	178
15	São João do Sabugi	637014	RN	6	43	0	37	12	0	175
16	São Tomé	536017	RN	5	58	0	36	4	0	175
17	Sítio Volta	636045	RN	6	35	37	36	47	6	220
18	Upanema	537019	RN	5	38	37	37	15	19	45

Os Postos pluviométricos foram selecionados buscando uma distribuição homogênea dentro da área do Sistema Piranhas - Açú, num total de 76 postos (Anexo D). Desses apenas 18 postos (Tabela 3.2) foram utilizados por apresentarem séries de dados coincidentes temporalmente com os dados dos postos fluviométricos (Ver diagrama de barras no Anexo C).

A Tabela 3.3 a seguir mostra os dados de evaporação média mensal em São Gonçalo (ver Anexo B) extraídos de Braga (2000).

**Tabela 3.3 - Evaporação média mensal em São Gonçalo**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação(mm)	173,9	119,6	123,0	104,2	152,1	145,9	175,6	212,5	218,8	226,4	213,8	206,7

\*dados de tanque classe A

## CAPÍTULO 4

### 4. DESCRIÇÃO DO MODELO NAVMO

#### 4.1. Características gerais do modelo NAVMO

O modelo NAVMO - “Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell”, que significa modelo de precipitação, vazão, evaporação, 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 através de *dois reservatórios hipotéticos*, sendo um *superficial* e outro *sub-superficial* e *uma função de recessão* para o escoamento subterrâneo.

O modelo contém algoritmos alternativos para determinar os seguintes processos hidro-climatológicos (Braga, 2000):

- é Precipitação nas bacias;
- é Escoamento nas bacias;
- é Propagação do escoamento nos trechos de rios.

Este modelo também requer uma divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias bem como dados de precipitação, evaporação, vazões observadas e as características físicas das sub-bacias como: área, cotas, declividades, cobertura do solo, geometrias dos canais. O modelo apresenta como resultados as vazões diárias, vazões máximas e volumes anuais, bem como os valores dos desvios médios e hidrológicos, centróides dos hidrogramas e as diferenças entre as vazões máximas observadas e calculadas, os quais podem ser utilizados como funções com objetivo para avaliar a qualidade dos resultados. A Figura 4.1 mostra o fluxograma do modelo NAVMO.

O modelo tem treze parâmetros calibráveis, sendo que quatro deles são utilizados na etapa de transformação das lâminas do escoamento (MET1, MET2, MAX1 e MAX2) em hidrogramas, três para o cálculo da propagação do escoamento nos canais (EKM, EKL, EKR), dois no cálculo da lâmina do escoamento subterrâneo (KG e

QBSP) e os outros no cálculo da evapotranspiração atual (EET), da lâmina do escoamento direto (ALFA), da lâmina do escoamento sub-superficial (BETA) e na atualização da umidade do solo (BFD). Porém, segundo Lacerda Jr. (2002) e Braga (2000), o modelo é sensível aos parâmetros da evapotranspiração atual (EET) e do escoamento direto (ALFA). Eles também sugeriram que o modelo é sensível ao parâmetro de capacidade de armazenamento do solo (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – SCS (McCuen, 1982). Apesar de inicialmente ele ter sido proposto como um parâmetro fixo, dependendo do solo e seu uso, ele pode ser calibrado para que o modelo apresente melhores resultados. A Tabela 4.1 lista os significados dos parâmetros do modelo.

**Tabela 4.1 – Significados dos parâmetros calibráveis do modelo NAVMO**

Parâmetros	Significados
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	Coefficiente de escoamento sub-superficial
BFD	Parâmetro que define o déficit de umidade inicial do solo (%)
QBSP	Dado de entrada que define o escoamento subterrâneo inicial ( $m^3/seg/km^2$ )
CN*	Parâmetro que define a capacidade de armazenamento do solo (mm)

(\*) o parâmetro CN é para ser definido em termos do solo e seu uso; a falta da informação sobre o uso do solo impõe que o mesmo seja calibrado.



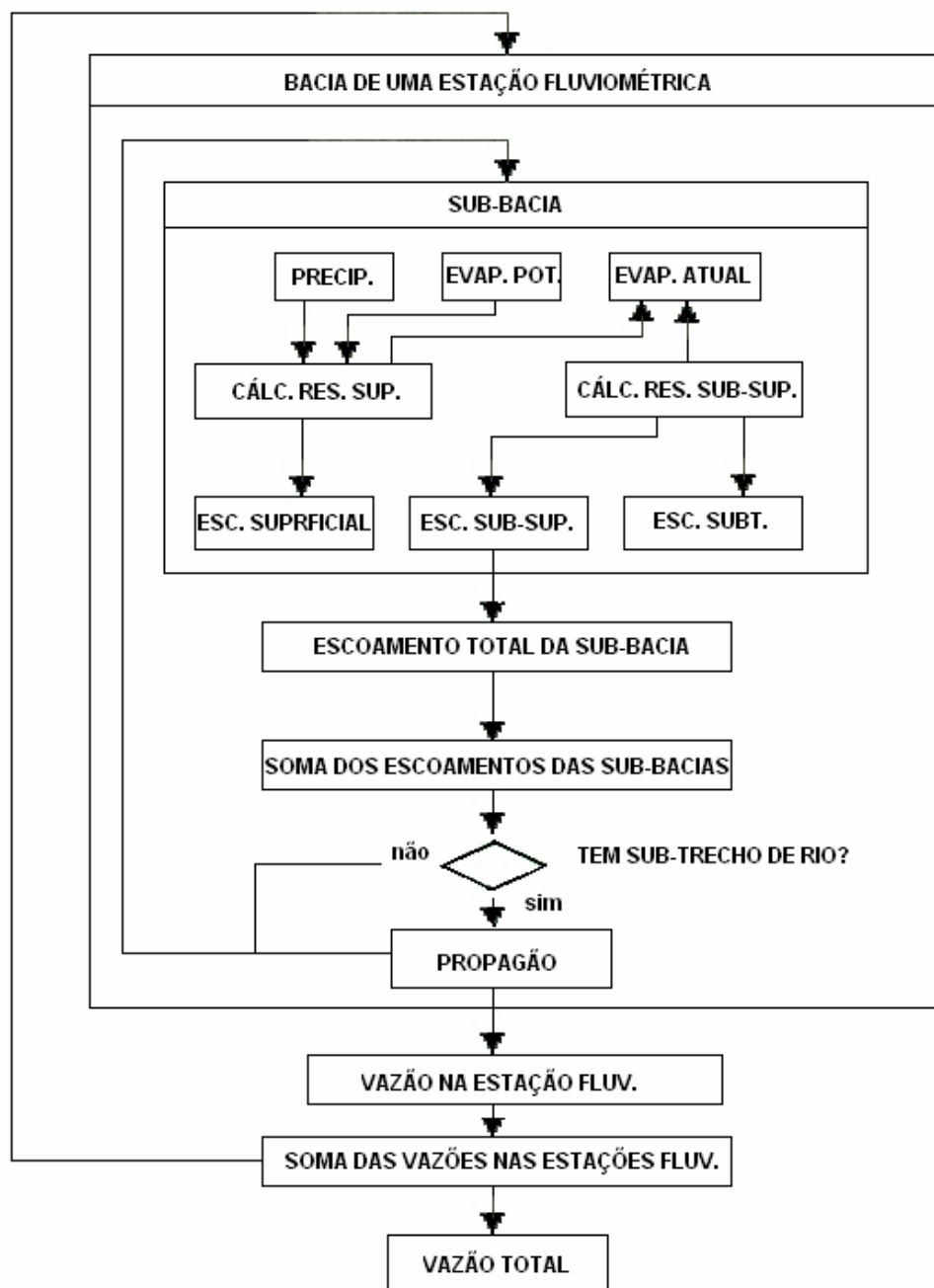
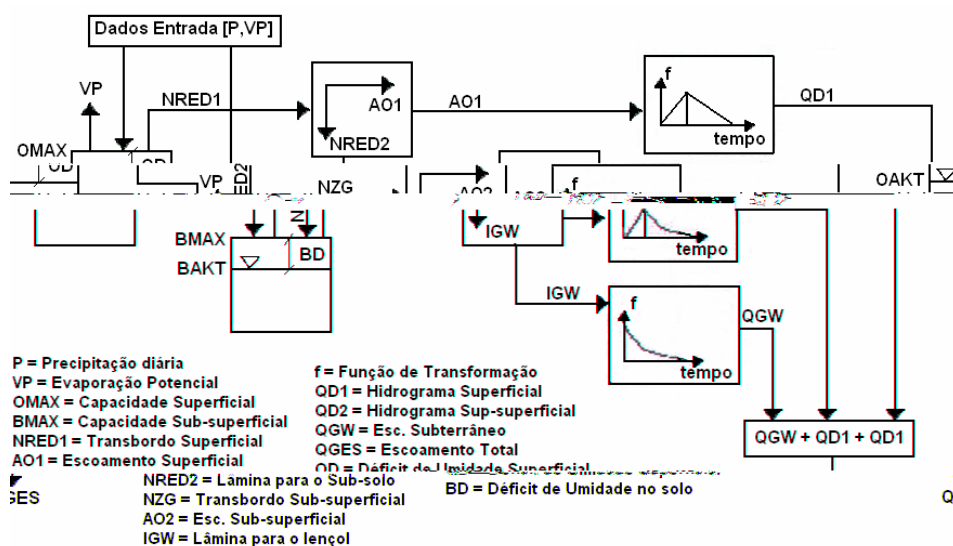


Figura 4.1 – Fluxograma do modelo NAVMO (Kleberg et al., 1989).

## 4.2. Representação dos processos no modelo NAVMO.

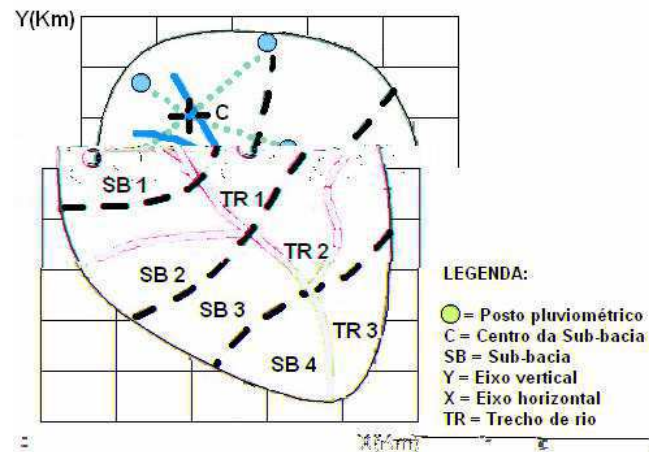
Os processos de precipitação – vazão – evaporação no modelo NAVMO estão descritos detalhadamente a seguir. Uma representação esquemática do solo no modelo pode ser observada na Figura 4.2.



**Figura 4.2 – Representação do processo de precipitação-vazão- evaporação no modelo NAVMO (adaptação de Figueiredo & Braga, 2002).**

## 4.3. Cálculo da precipitação média

O modelo NAVMO pode calcular a precipitação média numa dada sub-bacia através de dois métodos diferentes, o modelo de Thiessen modificado e o método do ponto reticular modificado, também denominado de método modificado das quadrículas (Ludwig, 1981). Como neste estudo foi utilizado o método do ponto reticular modificado, somente ele será apresentado com base na Figura 4.3.



**Figura 4.3 – Esquema representativo do método do ponto reticular modificado.**

O método do Ponto Reticular modificado consiste no cálculo da precipitação para uma dada sub-bacia, através das precipitações das quatro estações mais próximas ao centróide da sub-bacia, sendo cada estação localizada em cada quadrante relativo ao centro da área (Ludwig, 1981).

A identificação dos postos pluviométricos relacionados com as sub-bacias é feita através da menor distância entre o centróide da sub-bacia ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) e a localização da estação pluviométrica ( $X_i$ ,  $Y_i$ ), ou seja:

$$D_s = \min(D_{c,i}) \quad [\text{km}] \dots \dots \dots (4.1)$$

sendo  $D_s$  a distância mínima, no quadrante  $s$ , e ( $D_{c,i}$ ) a distância entre o centróide da sub-bacia e o posto  $i$  dada por:

$$(D_{s,i}) = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} \quad [\text{km}] \dots \dots \dots (4.2)$$

A precipitação média numa sub-bacia é cal

#### 4.4. Cálculo da capacidade dos reservatórios

O NAVMO considera dois reservatórios hipotéticos para simular o escoamento da bacia, sendo um superficial e outro sub-superficial. Segundo Lopes (1994), as capacidades dos reservatórios estão associadas às propriedades físicas da bacia como solo, cobertura vegetal e relevo. Lacerda Jr. (2002) afirma que eles são espacialmente dependentes e não mudam com o evento de precipitação. O modelo utiliza o método CN (Curva Número) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – SCS (McCuen, 1982), para avaliar a capacidade de armazenamento de água nos reservatórios (Lopes,1994).

A capacidade do reservatório sub-superficial (BMAX) pode ser considerada igual ao valor da capacidade de armazenamento do solo (S) que é calculada pelo método da Curva Número (CN). Ou seja:

$$BMAX = S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ [mm]} \dots \dots \dots (4.4)$$

onde CN é um número que varia entre 0 e 100 que depende das características do solo, do seu uso e condições antecedentes de chuva.

Já a capacidade máxima do reservatório superficial (OMAX) é uma porcentagem de BMAX e considera também a declividade média da sub-bacia (GEBGEF), segundo a equação abaixo.

$$OMAX = 0,1 \cdot BMAX \cdot e^{-4GEBGEF} \text{ [mm]} \dots \dots \dots (4.5)$$

#### 4.5. Cálculo da evapotranspiração atual

A evaporação assume o valor potencial até que o reservatório da superfície esteja completamente seco, i.e., quando o déficit de umidade (OD) atinge a capacidade do reservatório superficial (OMAX) (Lacerda Jr.,2002), ou seja:

$$VA(t) = VP(t) \text{ [mm/dia]} \quad \text{se} \quad OD(t) < OMAX \dots \dots \dots (4.6)$$

sendo VA a evapotranspiração atual; VP a evapotranspiração potencial.

Quando o reservatório superficial 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 pelo fator de correção EET e pela umidade do solo (Lacerda Jr.,2002). Assim:

$$VA(t) = EET \cdot VP(t) \cdot \theta_B \quad [\text{mm/dia}] \quad \text{se } OD(t) \geq OMAX \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

sendo VA a evapotranspiração atual;VP a evapotranspiração potencial; EET um fator de correção do modelo para evaporação; a umidade do reservatório sub-superficial  $\theta_B$  é dada por:

$$\theta_B = \frac{BMAX - BD(t-1)}{BMAX} \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

sendo BD(t-1) o déficit de umidade antecedente no reservatório sub-superficial.

#### 4.6. Cálculo do déficit da umidade do solo

No primeiro instante, os déficits de umidade são calculados em função dos estados de umidade inicial do reservatório superficial (OAKT) e do reservatório sub-superficial (BAKT). Os déficits de umidade são determinados a partir das seguintes equações:

a) Para o reservatório superficial:

$$OD(t) = OMAX - OAKT(t) \quad [\text{mm/dia}]\dots\dots\dots(4.9)$$

b) Para o reservatório sub-superficial:

$$BD(t) = BMAX - BAKT(t) \quad [\text{mm/dia}]\dots\dots\dots(4.10)$$

Em seguida, os déficits de umidade são determinados pelas equações abaixo:

a) Para o reservatório superficial:

$$OD(t) = OD(t-1) + VA(t) - N_t \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.11)$$

sendo  $N_t$  a precipitação no tempo  $t$ ;  $VA(t)$  a evapotranspiração durante o intervalo de tempo  $t$ ;  $OD(t-1)$  o déficit de umidade antecedente no reservatório superficial.

b) Para o reservatório sub-superficial se  $OD \geq OMAX$  e  $VA(t) < BAKT(t-1)$  então:

$$BD(t) = BD(t-1) + VA(t) \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.12)$$

e se  $VA(t) > BAKT(t-1)$  então :

$$BD(t) = BMAX \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.13)$$

onde  $BAKT(t-1)$  é a umidade antecedente do sub-solo e  $BD(t-1)$  o déficit de umidade antecedente no reservatório sub-superficial. Porém, se  $OD < OMAX$ , então:

$$BD(t) = BD(t-1) \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.14)$$

A atualização da umidade dos reservatórios é feita através da equação do balanço hídrico e os escoamentos só ocorrerão após os transbordamentos dos dois reservatórios (Lacerda Jr., 2002).

#### 4.6.1. Condições para o transbordamento

O transbordamento do reservatório superficial (NRED1) ocorrerá quando:

$$N_t - VA(t) - OD(t-1) > 0 \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.15)$$

O transbordamento do reservatório sub-superficial (NZG) quando:

$$N_t - VA(t) - OD(t-1) - AO1(t) - BD(t-1) > 0 \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.16)$$

onde  $AO1$  é a lâmina do escoamento superficial direto.

#### 4.7. Cálculo da lâmina do escoamento superficial direto

A lâmina do escoamento direto (AO1) é uma parcela do transbordamento do reservatório superficial (NRED1) sendo a lâmina remanescente (NRED2) utilizada para alimentar o reservatório sub-superficial conforme as equações abaixo (Lacerda Jr., 2002).

$$AO1(t) = ALFA * NRED1(t) \text{ [mm/dia]} \dots\dots\dots(4.17)$$

$$NRED2(t) = (1 - ALFA) * NRED1(t) \text{ [mm/dia]} \dots\dots\dots(4.18)$$

onde ALFA é o fator de partição do transbordamento do reservatório superficial.

#### 4.8. Cálculo da lâmina do escoamento sub-superficial

O transbordamento do reservatório sub-superficial (NZG) é determinado em termos da lâmina remanescente NRED2 por:

$$NZG(t) = NRED2(t) - BD(t - 1) \text{ [mm/dia]} \dots\dots\dots(4.19)$$

A lâmina de transbordamento do reservatório sub-superficial (NZG) será dividida, pelo fator de partição, na lâmina do escoamento sub-superficial (AO2) e na lâmina que vai alimentar o lençol subterrâneo (IGW) (Lacerda Jr., 2002), ou seja:

$$AO2(t) = BETA * NZG(t) \text{ [mm/dia]} \dots\dots\dots(4.20)$$

$$IGW(t) = (1 - BETA)NZG(t) \text{ [mm/dia]} \dots\dots\dots(4.21)$$

#### 4.9. Cálculo da lâmina do escoamento subterrâneo

A lâmina do escoamento subterrâneo (AGW) é dada pela equação 4.22, onde IGW(t) é a lâmina que vai alimentar o lençol subterrâneo no instante (AGWt-1), é a lâmina do escoamento superficial antecedente e KG é a constante do aquífero.

$$AGW(t) = \frac{AGW(t-1)}{1 + \frac{1}{KG}} + \frac{IGW(t)}{1 + KG} \text{ [mm/dia]} \dots \dots \dots (4.22)$$

#### 4.10. Hidrogramas dos escoamentos

##### 1) Escoamento superficial

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

a) Para subida

$$QD1(t + J) = \frac{2 * J * AO1(t) * AE}{MET1 * MAX1} \text{ [m}^3\text{/dia]} \dots \dots \dots (4.23)$$

b) Para a descida:

$$\frac{\quad \quad \quad * \quad 1(\quad) *}{(\quad 1 \quad 1) * \quad 1}$$



b) Para a descida:

$$QD2(t+J) = QM(t) * \left[ 1,1e^{\left[ \left( \frac{\ln 0,1}{1,1} \right) * \left( \frac{J-MET2}{(MAX2-MET2)} \right) \right]} \right] \text{ [m}^3\text{/dia]} \dots \dots \dots (4.26)$$

onde:

$$QM(t) = \frac{AO2 * AE}{(MAX2 - MET2) * (1/\ln 1,1 - 0,1) + 0,5 * MET2} \text{ [m}^3\text{/dia]} \dots \dots \dots (4.27)$$

onde 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) Escoamento subterrâneo

O escoamento subterrâneo (QGW) é obtido pela função de recessão dada pela equação 4.28 multiplicada pela área da bacia (AE), isto é:

$$QGW(t) = AGW(t) * AE \text{ [m}^3\text{/dia]} \dots \dots \dots (4.28)$$

## 4.11. 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:

$$QGES(t) = \frac{QD1(t) + QD2(t) + QGW(t)}{86400} \text{ [m}^3\text{/s]} \dots \dots \dots (4.29)$$

## 4.12. Propagação do Escoamento nos Canais

Todos os métodos de propagação optativos são hidrológicos e fundamentados no método de Munkingum. 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 nos trechos de rios pode ser feita pelas seguintes metodologias (Braga, 2000):

### V Método da Velocidade de Fluxo

V Método de Williams (1969)

V Método de Kalinin-Miljukov (1958, apud Fread, 1985)

A propagação do escoamento total é feita nos trechos de rio cuja seção é considerada trapezoidal conforme mostrado na Figura 4.4. A equação de Manning é utilizada para o cálculo das velocidades de escoamento na calha principal e nos planos de inundação, as quais são multiplicadas por três coeficientes de ajuste; EKM (usado para o cálculo da velocidade no canal principal), EKL e EKR (usados para o cálculo das velocidades nos planos de inundação esquerdo e direito, respectivamente).

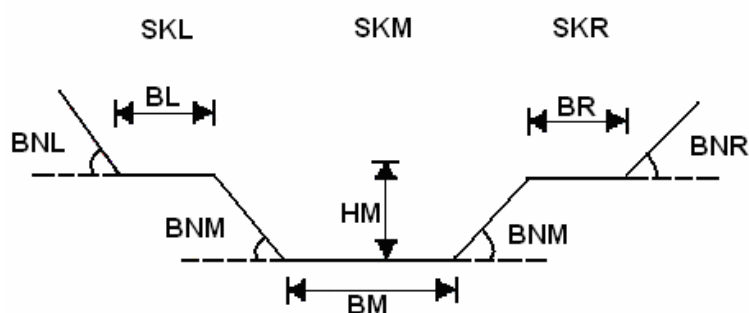


Figura 4.4- Seção transversal do rio (Kleeberg et. Al., 1989).

Definição de termos:

BN	é a largura da calha principal (m)
HM	é a altura da calha principal (m)
BL	é a largura do plano de inundação esquerdo (m)
BR	é a largura do plano de inundação direito (m)
BNM	é a declividade das paredes laterais da calha do rio principal
BNL	é a declividade das paredes lateral da margem esquerda
BNR	é a declividade das paredes lateral da margem direita
SKM	é igual a $(1/n)$ , onde $n$ é coeficiente de Manning para a calha do rio principal
SKL	é igual a $(1/n)$ , onde $n$ é coeficiente de Manning da margem esquerda
SKR	é igual a $(1/n)$ , onde $n$ é coeficiente de Manning da margem direita

#### **4.13. Dados Requeridos pelo Modelo**

O modelo requer dados médios diários de precipitação, vazão e evaporação. Para as sub-bacias são exigidos os dados de área, declividade média, valor de CN (curva número) e coordenadas cartesianas dos centros das sub-bacias e dos postos pluviométricos. Para as sub-bacias onde ocorre propagação do escoamento são necessários: a declividade dos trechos de rios, características das calhas do rio e coeficiente de Manning-Stricker (inverso do coeficiente de rugosidade de Manning) para a calha principal e planícies de inundação.

## CAPÍTULO 5

### 5. CALIBRAÇÃO DO MODELO NAVMO

#### 5.1. Modelagem da Bacia Piranhas - Açu

De posse de mapas rodoviários da Paraíba e do Rio Grande do Norte do DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes) (<http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/mapas>) e do mapa da sub-bacia 37 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), foi delimitada a região estudada neste trabalho que é limitada na parte superior pelo posto de Sitio Vassouras/PB e na parte inferior pelo posto fluviométrico de Sitio Acauã/RN (ver Figura 3.3), já que de Sitio Vassouras/PB para cima já foram feitas a modelagem e a regionalização das variáveis hidrológicas por Crispim (2005). A divisão da bacia foi feita conforme requerido pelo modelo NAVMO, chegando ao número de 20 sub-bacias (Figura 5.1) e compreende uma área de 22750 km<sup>2</sup>, buscando-se coincidir cada uma das estações fluviométricas com a saída de uma dada sub-bacia, possibilitando a comparação do escoamento simulado com o observado. Tentou-se um

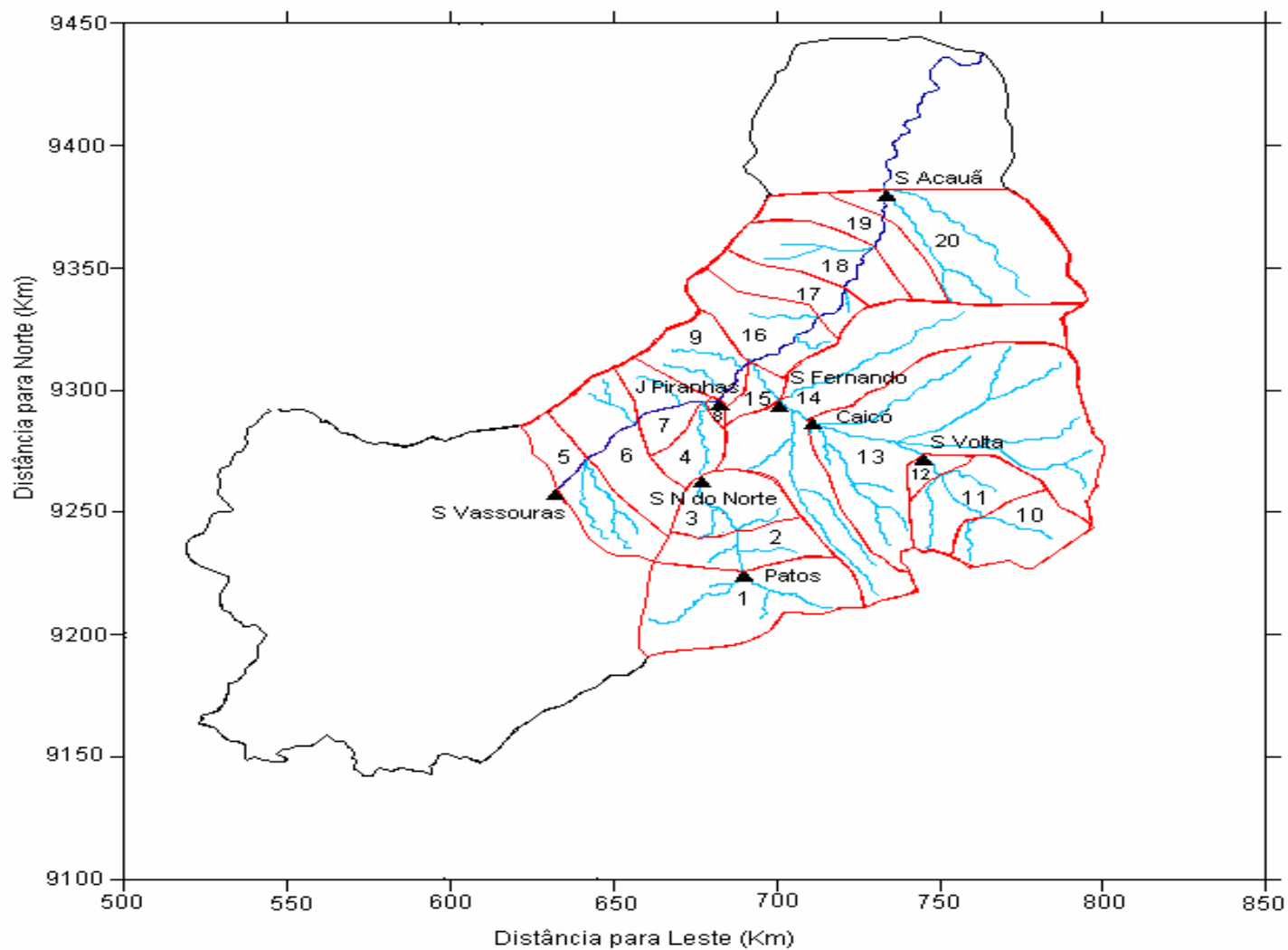


Figura 5.1 – Bacia Piranhas-Açu (divisão em Sub-bacias).

## 5.2 Calibração

De acordo com Lacerda Jr. (2002) e Braga (2000) os parâmetros que mais afetam o escoamento no modelo NAVMO são o ALFA, EET e CN, porém no caso do sistema Piranhas-Açu que possui vazão de regularização saindo do Açude de Coremas-Mãe d'Água/PB no Rio Piranhas até a Barragem Armando Ribeiro/RN, além dos parâmetros ALFA, EET e CN, também foram testados os parâmetros Beta (sub-superficial) e o QBSP que inicialmente define o escoamento subterrâneo e funciona como vazão de regularização para o modelo. Essas calibrações levaram em consideração a variabilidade do clima e do uso do solo sobre o escoamento no sistema Piranhas-Açu (22750 km<sup>2</sup>) e suas sub-bacias, comparando-se vazões máximas e volumes anuais simulados com os observados. Foram utilizados dados diários de sete (7) estações fluviométricas na região (ver Figura 3.3) e de 18 postos pluviométricos (ver Tabela 3.3). Para a variabilidade do clima os anos foram classificados (ver Cadier, 1996; Figueiredo e Srinivasan, 1999) em anos secos ( $P < 600$  mm/ano), normais ( $600 < P < 800$  mm/ano) e úmidos ( $P > 800$  mm/ano).

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 e QBSP foram calibrados por tentativa e erro, comparando-se hidrogramas, vazões máximas e volumes anuais.

Foram utilizados os dados de evapotranspiração potencial constantes da Tabela 3.4, 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 e QBSP, encontram-se nas Tabelas 5.1 a 5.14. Vale salientar que os valores CNs calibrados, foram só os de cada bacia para calibrar a próxima bacia colocava-se o CN médio calibrado da bacia anterior. Por exemplo, a calibração para Patos foi feita calibrando o CN da sub-bacia 1, para a calibração de Serra Negra do Norte foi pego o CN médio de todos os anos da sub-bacia 1 e calibrado só os valores CN da sub-bacia 2 e 3, para Jardim de Piranhas foram calibrados os valores CN da sub-bacia 3 a 8, para Sítio Volta os valores CN da sub-bacia 10 a 12, para Caicó o CN da sub-bacia 13, para São Fernando o CN da sub-bacia 14 e para Sítio Acauã os valores CN da sub-bacia 15 a 20.

**Tabela 5.1 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Sítio Acauã Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1973	2,180	0,400	0,0005	45	842 mm (Úmido)
1974	0,240	0,400	0,001	70	1196 mm (Úmido)
1975	0,430	0,480	0,001	59	744 mm (Normal)
1976	1,700	0,480	0,001	59	608 mm (Normal)
1977	0,390	0,400	0,001	70	817 mm (Úmido)
1978	0,850	0,950	0,001	55	562 mm (Seco)
1979	1,300	0,820	0,0007	51	356 mm (Seco)
1986	0,001	0,480	0,004	59	664 mm (Normal)
1987	6,830	0,369	0,0001	40	437 mm (Seco)
1988	0,870	0,950	0,002	53	524 mm (Seco)
1989	0,850	0,480	0,001	59	724 mm (Norma)
1990	9,200	0,131	0,0007	30	336 mm (Seco)
1991	5,120	0,100	0,0005	30	525 mm (Seco)
1992	2,000	0,480	0,0005	40	561 mm (Seco)
1993	2,330	0,400	0,0005	40	198 mm (Seco)
1994	5,804	0,001	0,0002	50	967 mm (Úmido)
1995	2,364	0,330	0,001	59	786 mm (Normal)
1996	0,930	0,300	0,001	59	747 mm (Normal)
1997	9,000	0,137	0,0004	30	576 mm (Seco)
1998	1,000	0,480	0,0005	40	309 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>2,669</b>	<b>0,428</b>	<b>0,001</b>	<b>50</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,154</b>	<b>0,300</b>	<b>0,0007</b>	<b>59</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,046</b>	<b>0,425</b>	<b>0,0015</b>	<b>59</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>3,850</b>	<b>0,482</b>	<b>0,0007</b>	<b>41</b>	

**Tabela 5.2 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Patos Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1985	3,006	0,001	59	1598 mm (Úmido)
1986	1,980	0,120	59	810 mm (Úmido)
1987	2,402	0,100	51	632,4 mm (Normal)
1988	1,475	0,100	51	639,4 mm (Normal)
1989	1,172	0,300	59	882,3 mm (Úmido)
1990	3,205	0,500	50	455,3 mm (Seco)
1991	0,300	0,800	58	534,3 mm (Seco)
1992	0,479	0,250	82	668,5 mm (Normal)
1993	5,800	0,400	50	292,7 mm (Seco)
1994	0,310	0,900	82	952,1 mm (Úmido)
1995	0,633	0,005	59	915 mm (Úmido)
1996	0,380	0,300	59	795 mm (Normal)
1997	0,720	0,250	58	698 mm (Normal)
1998	0,817	0,900	82	326,5 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>1,620</b>	<b>0,352</b>	<b>61</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>1,247</b>	<b>0,271</b>	<b>63</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,075</b>	<b>0,300</b>	<b>60</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>2,531</b>	<b>0,650</b>	<b>60</b>	

**Tabela 5.3 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Jardim de Piranhas  
Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1964	0,576	0,400	0,006	65	945 mm (Úmido)
1965	0,900	0,450	0,005	65	775 mm (Normal)
1966	2,100	0,363	0,001	50	659 mm (Normal)
1967	0,874	0,400	0,006	65	1147 mm (Úmido)
1968	0,950	0,410	0,005	60	757 mm (Normal)
1969	2,400	0,362	0,001	50	674 mm (Normal)
1970	3,300	0,600	0,001	40	435 mm (Seco)
1971	2,800	0,040	0,001	40	1140 mm (Úmido)
1972	3,000	0,009	0,001	40	698 mm (Normal)
1973	2,800	0,080	0,001	40	1058 mm (Úmido)
1974	0,119	0,400	0,002	80	1351 mm (Úmido)
1975	0,990	0,400	0,002	70	883 mm (Úmido)
1976	2,720	0,400	0,001	40	785 mm (Normal)
1977	0,581	0,401	0,002	70	875 mm (Úmido)
1978	1,950	0,360	0,001	40	783 mm (Normal)
1979	1,717	0,900	0,002	50	477 mm (Seco)
1980	1,400	0,901	0,008	50	477 mm (Seco)
1981	1,900	0,858	0,005	50	427 mm (Seco)
1982	4,465	0,500	0,002	40	581 mm (Seco)
1983	5,700	0,412	0,002	40	364 mm (Seco)
1984	1,470	0,400	0,003	50	662 mm (Normal)
1985	0,001	0,500	0,008	90	1365 mm (Úmido)
<b>Média</b>	<b>1,942</b>	<b>0,434</b>	<b>0,003</b>	<b>54</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>1,093</b>	<b>0,328</b>	<b>0,0035</b>	<b>65</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,936</b>	<b>0,344</b>	<b>0,0023</b>	<b>49</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>3,080</b>	<b>0,695</b>	<b>0,0033</b>	<b>45</b>	

**Tabela 5.4 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Sítio Volta Calibrados pelo  
Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1979	6,900	0,183	30	359 mm (Seco)
1980	8,125	0,050	15	384 mm (Seco)
1981	5,300	0,035	45	505 mm (Seco)
1982	7,435	0,200	15	384 mm (Seco)
1983	8,821	0,137	33	258 mm (Seco)
1984	5,736	0,344	45	542 mm (Seco)
1985	1,731	0,040	80	1079 mm (Úmido)
<b>Média</b>	<b>6,293</b>	<b>0,141</b>	<b>38</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>1,731</b>	<b>0,040</b>	<b>80</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>7,053</b>	<b>0,158</b>	<b>31</b>	



**Tabela 5.5 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Serra Negra do Norte  
Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1921	4,000	0,057	40	917 mm (Úmido)
1922	1,755	0,100	57	810 mm (Úmido)
1923	1,227	0,300	50	669 mm (Normal)
1924	2,540	0,100	43	829 mm (Úmido)
1925	1,941	0,300	50	784 mm (Normal)
1926	5,089	0,100	40	708 mm (Normal)
1927	3,490	0,100	40	677 mm (Normal)
1928	7,900	0,300	30	450 mm (Seco)
1929	2,220	0,285	45	644 mm (Normal)
1930	3,900	0,790	40	420 mm (Seco)
1931	3,960	0,300	40	421 mm (Seco)
1932	9,990	0,030	30	377 mm (Seco)
1933	1,770	0,802	40	562 mm (Seco)
1934	3,460	0,020	41	903 mm (Úmido)
1935	2,364	0,100	41	1004 mm (Úmido)
1936	3,000	0,505	40	466 mm (Seco)
1937	3,930	0,200	45	781 mm (Normal)
1938	4,903	0,413	40	546 mm (Seco)
1939	6,000	0,259	40	528 mm (Seco)
1940	3,500	0,047	41	861 mm (Úmido)
1941	9,900	0,132	30	439 mm (Seco)
1942	9,900	0,062	30	446 mm (Seco)
1943	9,500	0,244	30	479 mm (Seco)
1944	2,000	0,480	40	478 mm (Seco)
1945	3,940	0,270	45	795 mm (Normal)
1946	2,990	0,300	47	654 mm (Normal)
1947	7,000	0,010	40	722 mm (Normal)
1948	3,000	0,252	40	599 mm (Seco)
1949	3,700	0,231	45	729 mm (Normal)
1950	2,000	0,390	49	619 mm (Normal)
1951	9,000	0,059	40	393 mm (Seco)
1952	4,400	0,205	40	709 mm (Normal)
1953	8,000	0,133	40	340 mm (Seco)
1954	2,640	0,270	47	626 mm (Normal)
1955	2,300	0,318	51	619 mm (Normal)
1956	6,000	0,153	40	726 mm (Normal)
1957	6,330	0,290	40	581 mm (Seco)
1959	3,800	0,117	40	673 mm (Normal)
1960	6,900	0,281	40	550 mm (Seco)
1961	6,400	0,030	40	712 mm (Normal)
1983	9,980	0,050	22	333 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>4,796</b>	<b>0,229</b>	<b>41</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,937</b>	<b>0,071</b>	<b>44</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>3,710</b>	<b>0,211</b>	<b>44</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>6,441</b>	<b>0,299</b>	<b>36</b>	

Obs.: Só no ano de 1997 houve calibração de QBSP = 0,0001

**Tabela 5.6 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Caicó Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1986	3,350	0,002	54	705 mm (Normal)
1987	1,150	0,900	75	446 mm (Seco)
1988	1,146	0,900	75	481 mm (Seco)
1989	3,350	0,050	54	668 mm (Normal)
1990	1,376	0,800	54	368 mm (Seco)
1991	9,500	0,295	10	507 mm (Seco)
1992	3,350	0,017	54	604 mm (Normal)
1993	4,200	0,300	45	220 mm (Seco)
1994	8,700	0,013	50	913 mm (Úmido)
1995	4,021	0,004	70	853 mm (Úmido)
1996	3,000	0,211	54	789 mm (Normal)
1997	9,000	0,001	54	687 mm (Normal)
<b>Média</b>	<b>4,345</b>	<b>0,291</b>	<b>54</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>6,361</b>	<b>0,008</b>	<b>60</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>4,410</b>	<b>0,056</b>	<b>54</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>3,474</b>	<b>0,639</b>	<b>52</b>	

**Tabela 5.7 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de São Fernando Calibrados pelo Volume.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1963	0,204	0,670	0,0004	67	647 mm (Normal)
1964	0,060	0,670	0,0006	67	765 mm (Normal)
1965	0,032	0,670	0,0006	67	669 mm (Normal)
1966	0,261	0,800	0,0002	40	524 mm (Seco)
1967	0,079	0,600	0,0006	70	880 mm (Úmido)
1968	0,130	0,760	0,0005	50	587 mm (Seco)
1969	0,110	0,800	0,0005	50	535 mm (Seco)
1970	0,117	0,900	0,0002	50	313 mm (Seco)
1971	0,009	0,680	0,002	70	773 mm (Normal)
1972	0,128	0,900	0,0004	50	568 mm (Seco)
1973	0,235	0,650	0,0006	67	796 mm (Normal)
1974	0,003	0,670	0,003	75	1130 mm (Úmido)
1975	0,015	0,650	0,0006	70	721 mm (Normal)
1976	0,580	0,670	0,0003	67	617 mm (Normal)
1977	0,074	0,510	0,0006	70	781 mm (Normal)
1978	0,165	0,367	0,0002	65	610 mm (Normal)
1979	0,239	0,900	0,0004	50	341 mm (Seco)
1980	1,000	0,850	0	40	358 mm (Seco)
1981	1,000	0,861	0	40	511 mm (Seco)
1982	0,145	0,900	0	50	372 mm (Seco)
1983	0,730	0,800	0,0001	40	260 mm (Seco)
1984	0,123	0,900	0,0003	50	568 mm (Seco)
1985	0,001	0,670	0,004	75	1278 mm (Úmido)
1986	0,001	0,700	0,002	70	705 mm (Normal)
1987	5,420	0,400	0	30	446 mm (Seco)
1988	1,780	0,700	0,001	50	481 mm (Seco)
1989	3,206	0,100	0	60	668 mm (Normal)
1990	6,300	0,400	0	30	368 mm (Seco)
1991	8,600	0,100	0	20	507 mm (Seco)
1992	5,450	0,094	0	60	604 mm (Normal)
1993	9,700	0,003	0	20	220 mm (Seco)
1994	7,000	0,009	0	60	913 mm (Úmido)
1995	4,520	0,009	0	60	853 mm (Úmido)
1996	2,725	0,200	0	60	789 mm (Normal)
1997	7,000	0,010	0	60	687 mm (Normal)
1998	0,500	0,510	0	50	322 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>1,879</b>	<b>0,558</b>	<b>0,0005</b>	<b>55</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,321</b>	<b>0,392</b>	<b>0,0015</b>	<b>68</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,411</b>	<b>0,474</b>	<b>0,0006</b>	<b>66</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>2,134</b>	<b>0,676</b>	<b>0,0002</b>	<b>42</b>	

**Tabela 5.8 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Sítio Acauã Calibrados pelo Pico.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>QBSP</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1973	1,300	0,003	0,0005	60	842 mm (Úmido)
1974	0,001	0,003	0,001	70	1196 mm (Úmido)
1975	0,010	0,003	0,0003	52	744 mm (Normal)
1976	0,010	0,003	0,001	52	608 mm (Normal)
1977	0,001	0,040	0,002	53	817 mm (Úmido)
1978	3,000	0,646	0,001	74	562 mm (Seco)
1979	3,000	0,587	0,001	74	356 mm (Seco)
1986	0,010	0,200	0,002	52	664 mm (Normal)
1987	9,900	0,042	0,001	50	437 mm (Seco)
1988	1,020	0,900	0,001	60	524 mm (Seco)
1989	0,280	0,004	0,001	52	724 mm (Norma)
1990	9,990	0,010	0,0006	50	336 mm (Seco)
1991	9,900	0,046	0,0005	50	525 mm (Seco)
1992	7,500	0,500	0,0005	50	561 mm (Seco)
1993	9,900	0,016	0,001	50	198 mm (Seco)
1994	8,800	0,001	0,0003	53	967 mm (Úmido)
1995	1,210	0,003	0,001	52	786 mm (Normal)
1996	0,300	0,003	0,001	52	747 mm (Normal)
1997	9,900	0,010	0,0005	50	576 mm (Seco)
1998	9,900	0,043	0,0005	50	309 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>4,297</b>	<b>0,153</b>	<b>0,001</b>	<b>55</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,526</b>	<b>0,012</b>	<b>0,001</b>	<b>59</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>0,303</b>	<b>0,036</b>	<b>0,001</b>	<b>52</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>7,401</b>	<b>0,280</b>	<b>0,001</b>	<b>56</b>	

**Tabela 5.9 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de Jardim de Piranhas  
Calibrados pelo Pico.**

ANO	EET	ALFA	QBSP	CN	Pluviometria
1964	0,001	0,300	0,002	60	945 mm (Úmido)
1965	0,600	0,300	0,003	58	775 mm (Normal)
1966	1,390	0,180	0,003	58	659 mm (Normal)
1967	0,001	0,190	0,002	60	1147 mm (Úmido)
1968	0,600	0,180	0,003	58	757 mm (Normal)
1969	2,100	0,105	0,001	50	674 mm (Normal)
1970	2,000	0,220	0,001	50	435 mm (Seco)
1971	0,600	0,165	0,001	50	1140 mm (Úmido)
1972	2,620	0,180	0,001	30	698 mm (Normal)
1973	2,600	0,002	0,001	60	1058 mm (Úmido)
1974	0,700	0,180	0,001	60	1351 mm (Úmido)
1975	0,001	0,300	0,002	60	883 mm (Úmido)
1976	1,710	0,180	0,001	30	785 mm (Normal)
1977	0,001	0,300	0,002	60	875 mm (Úmido)
1978	1,400	0,180	0,001	50	783 mm (Normal)
1979	1,500	0,800	0,002	50	477 mm (Seco)
1980	1,000	0,800	0,005	50	477 mm (Seco)
1981	2,500	0,800	0,002	50	427 mm (Seco)
1982	3,762	0,800	0,002	50	581 mm (Seco)
1983	9,000	0,195	0,002	50	364 mm (Seco)
1984	1,428	0,180	0,001	50	662 mm (Normal)
1985	0,001	0,300	0,002	60	1365 mm (Úmido)
<b>Média</b>	<b>1,614</b>	<b>0,311</b>	<b>0,002</b>	<b>52</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>0,488</b>	<b>0,217</b>	<b>0,002</b>	<b>59</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,481</b>	<b>0,186</b>	<b>0,002</b>	<b>48</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>3,294</b>	<b>0,603</b>	<b>0,002</b>	<b>50</b>	

**Tabela 5.10 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Sítio Volta Calibrados pelo  
Pico.**

ANO	EET	ALFA	CN	Pluviometria
1979	7,470	0,180	40	359 mm (Seco)
1980	7,900	0,143	40	384 mm (Seco)
1981	6,700	0,278	40	505 mm (Seco)
1982	7,600	0,184	40	384 mm (Seco)
1983	7,600	0,181	40	258 mm (Seco)
1984	6,500	0,197	40	542 mm (Seco)
1985	0,001	0,130	70	1079 mm (Úmido)
<b>Média</b>	<b>6,253</b>	<b>0,185</b>	<b>44</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>0,001</b>	<b>0,13</b>	<b>70</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>7,295</b>	<b>0,194</b>	<b>40</b>	

**Tabela 5.11 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Serra Negra do Norte  
Calibrados pelo Pico.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN1</b>	<b>CN2 e CN3</b>	<b>Pluviometria</b>
1921	2,012	0,090	40	50	917 mm (Úmido)
1922	3,700	0,068	40	50	810 mm (Úmido)
1923	3,200	0,300	55	50	669 mm (Normal)
1924	0,001	0,200	50	80	829 mm (Úmido)
1925	3,000	0,300	70	50	784 mm (Normal)
1926	5,100	0,125	40	45	708 mm (Normal)
1927	5,100	0,154	40	45	677 mm (Normal)
1928	8,000	0,183	40	35	450 mm (Seco)
1929	2,000	0,179	50	50	644 mm (Normal)
1930	6,000	0,790	40	40	420 mm (Seco)
1931	6,000	0,581	40	40	421 mm (Seco)
1932	7,300	0,420	40	35	377 mm (Seco)
1933	7,000	0,710	40	45	562 mm (Seco)
1934	1,800	0,100	40	50	903 mm (Úmido)
1935	3,807	0,001	40	50	1004 mm (Úmido)
1936	6,000	0,740	40	45	466 mm (Seco)
1937	5,000	0,145	40	50	781 mm (Normal)
1938	8,000	0,340	40	30	546 mm (Seco)
1939	8,000	0,335	40	35	528 mm (Seco)
1940	3,680	0,003	40	50	861 mm (Úmido)
1941	8,900	0,130	20	10	439 mm (Seco)
1942	8,900	0,178	40	30	446 mm (Seco)
1943	7,700	0,420	40	30	479 mm (Seco)
1944	5,700	0,860	40	40	478 mm (Seco)
1945	3,800	0,170	50	50	795 mm (Normal)
1946	4,600	0,140	40	50	654 mm (Normal)
1947	5,800	0,100	40	10	722 mm (Normal)
1948	5,800	0,400	40	30	599 mm (Seco)
1949	3,900	0,176	40	49	729 mm (Normal)
1950	2,000	0,200	50	50	619 mm (Normal)
1951	5,800	0,620	40	22	393 mm (Seco)
1952	3,900	0,170	40	50	709 mm (Normal)
1953	5,200	0,860	40	35	340 mm (Seco)
1954	3,200	0,200	50	50	626 mm (Normal)
1955	3,320	0,180	40	50	619 mm (Normal)
1956	5,100	0,101	30	48	726 mm (Normal)
1957	8,000	0,310	33	20	581 mm (Seco)
1959	3,900	0,180	40	50	673 mm (Normal)
1960	8,000	0,437	40	35	550 mm (Seco)
1961	6,000	0,050	20	40	712 mm (Normal)
1983	8,000	0,230	26	10	333 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>5,176</b>	<b>0,290</b>	<b>41</b>	<b>41</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,500</b>	<b>0,077</b>	<b>42</b>	<b>55</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>4,054</b>	<b>0,169</b>	<b>43</b>	<b>46</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>7,128</b>	<b>0,475</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	

**Tabela 5.12 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Patos Calibrados pelo Pico.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1985	0,100	0,370	70	1598 mm (Úmido)
1986	1,500	0,040	70	810 mm (Úmido)
1987	2,720	0,005	50	632,4 mm (Normal)
1988	0,100	0,600	49	639,4 mm (Normal)
1989	0,890	0,203	70	882,3 mm (Úmido)
1990	2,000	0,500	40	455,3 mm (Seco)
1991	0,319	0,500	48	534,3 mm (Seco)
1992	0,355	0,500	48	668,5 mm (Normal)
1993	2,000	0,600	48	292,7 mm (Seco)
1994	0,001	0,410	70	952,1 mm (Úmido)
1995	0,640	0,140	83	915 mm (Úmido)
1996	0,001	0,470	90	795 mm (Normal)
1997	1,740	0,370	48	698 mm (Normal)
1998	2,000	0,900	82	326,5 mm (Seco)
<b>Média</b>	<b>1,026</b>	<b>0,401</b>	<b>62</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>0,522</b>	<b>0,272</b>	<b>76</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>1,047</b>	<b>0,395</b>	<b>49</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>1,580</b>	<b>0,625</b>	<b>55</b>	

**Tabela 5.13 – Valores de EET, ALFA e CN para o posto de Caicó Calibrados pelo Pico.**

<b>ANO</b>	<b>EET</b>	<b>ALFA</b>	<b>CN</b>	<b>Pluviometria</b>
1986	2,500	0,010	30	705 mm (Normal)
1987	2,000	0,900	70	446 mm (Seco)
1988	3,220	0,700	50	481 mm (Seco)
1989	2,600	0,080	20	668 mm (Normal)
1990	8,000	0,300	40	368 mm (Seco)
1991	9,500	0,163	10	507 mm (Seco)
1992	3,020	0,005	20	604 mm (Normal)
1993	7,000	0,750	30	220 mm (Seco)
1994	2,990	0,001	10	913 mm (Úmido)
1995	1,750	0,004	15	853 mm (Úmido)
1996	2,400	0,100	30	789 mm (Normal)
1997	9,700	0,004	10	687 mm (Normal)
<b>Média</b>	<b>4,557</b>	<b>0,251</b>	<b>28</b>	
<b>Média Úmido</b>	<b>2,370</b>	<b>0,003</b>	<b>13</b>	
<b>Média Normal</b>	<b>4,044</b>	<b>0,040</b>	<b>22</b>	
<b>Média Seco</b>	<b>5,944</b>	<b>0,563</b>	<b>40</b>	

**Tabela 5.14 – Valores de EET, ALFA, CN e QBSP para o posto de São Fernando  
Calibrados pelo Pico.**

ANO	EET	ALFA	CN	Pluviometria	QBSP
1963	0,005	0,5	55	647 mm (Normal)	
1964	0,002	0,54	55	765 mm (Normal)	
1965	0,002	0,54	55	669 mm (Normal)	
1966	2	0,86	30	524 mm (Seco)	
1967	0,001	0,55	80	880 mm (Úmido)	
1968	0,8	0,99	50	587 mm (Seco)	
1969	0,7	0,99	50	535 mm (Seco)	0,001
1970	0,1	0,99	70	313 mm (Seco)	
1971	0,002	0,54	55	773 mm (Normal)	
1972	0,16	0,99	50	568 mm (Seco)	0,001
1973	0,002	0,54	55	796 mm (Normal)	
1974	0,001	0,55	80	1130 mm (Úmido)	
1975	0,002	0,54	55	721 mm (Normal)	
1976	0,08	0,5	55	617 mm (Normal)	
1977	0,002	0,54	75	781 mm (Normal)	
1978	0,002	0,54	75	610 mm (Normal)	
1979	0,1	0,991	50	341 mm (Seco)	
1980	1,1	0,99	50	358 mm (Seco)	
1981	0,1	0,99	50	511 mm (Seco)	
1982	0,1	0,995	50	372 mm (Seco)	
1983	3,9	0,6	50	260 mm (Seco)	
1984	0,115	0,9	50	568 mm (Seco)	
1985	0,001	0,55	80	1278 mm (Úmido)	
1986	0,002	0,54	75	705 mm (Normal)	
1987	9,8	0,1	20	446 mm (Seco)	
1988	3	0,35	40	481 mm (Seco)	
1989	5,6	0,5	20	668 mm (Normal)	
1990	9,8	0,02	20	368 mm (Seco)	
1991	6,2	0,1	20	507 mm (Seco)	
1992	6,38	0,5	20	604 mm (Normal)	
1993	7,5	0,004	10	220 mm (Seco)	
1994	8	0,1	50	913 mm (Úmido)	
1995	3,33	0,1	50	853 mm (Úmido)	
1996	2,37	0,5	50	789 mm (Normal)	
1997	9,9	0,09	20	687 mm (Normal)	
1998	7,5	0,057	10	322 mm (Seco)	
<b>Média</b>	<b>2,463</b>	<b>0,547</b>	<b>48</b>		
<b>Média Úmido</b>	<b>2,267</b>	<b>0,370</b>	<b>68</b>		
<b>Média Normal</b>	<b>1,739</b>	<b>0,494</b>	<b>51</b>		
<b>Média Seco</b>	<b>3,116</b>	<b>0,642</b>	<b>39</b>		



### 5.3. Análise e discussão da calibração

Pode-se verificar que nas duas formas de calibração de ALFA, a maioria dos valores foi maior nos anos classificados como secos do que nos anos classificados como normais e úmidos. Nos anos secos, o solo apresenta-se, geralmente, com menor umidade e, portanto, necessita de um valor maior deste parâmetro do escoamento superficial direto.

Com relação ao parâmetro EET, percebe-se que ele é menor nos anos úmidos devido a baixa evaporação.

O parâmetro CN é menor para os anos secos devido a baixa umidade em que se apresenta o solo nesses anos e, conseqüentemente, as baixas vazões.

Os resultados da calibração são apresentados e discutidos neste item com relação aos volumes e vazões máximas anuais, através de gráficos de valores anuais simulados x valores anuais observados, do coeficiente de determinação e da comparação de hidrogramas diários simulados e observados, escolhidos para cada uma das bacias simuladas num dado ano. A Tabela 5.15 mostra os resultados dos coeficientes de determinação das bacias estudadas.

**Tabela 5.15 – Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) das Calibrações feitas pela Vazão Máxima e pelo Volume.**

	<b>Vazão Máxima</b>	<b>Volume</b>
Caicó	0,999	0,998
J.Piranhas	0,613	0,954
Patos	0,825	0,999
S.Fernando	0,491	0,998
S.N.Norte	0,966	0,540
Sítio Acauã	0,794	0,996
Sítio Volta	0,955	0,999
<b>Média</b>	<b>0,806</b>	<b>0,926</b>

#### 5.3.1. Bacia Sítio Volta – 1980 km<sup>2</sup> (1979 – 1985)

As Figuras 5.2 a 5.5 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados. De um modo geral, os resultados obtidos foram bons, pois apresentaram boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ )

acima de 0,9 (Figuras 5.2 e 5.4). Os hidrogramas simulados representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.3 e 5.5).

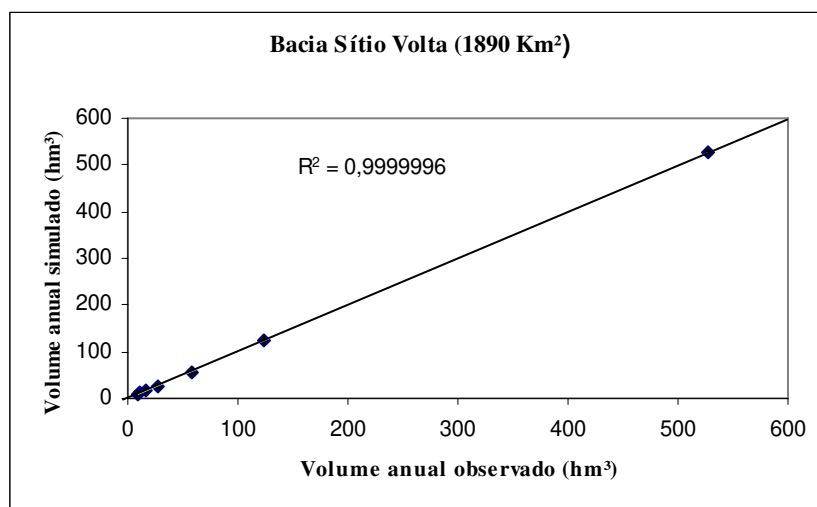


Figura 5.2 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Sítio Volta.

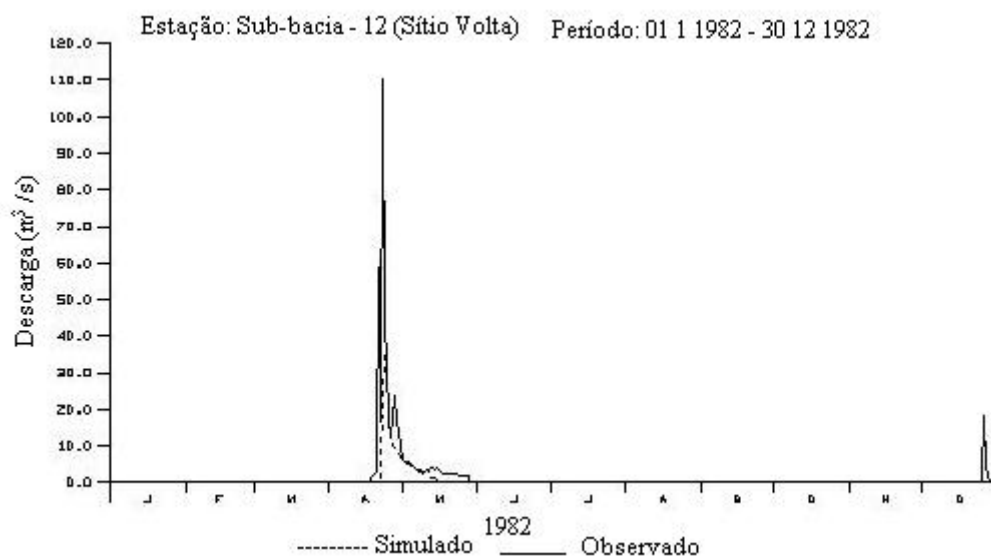


Figura 5.3 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Sítio Volta em 1982 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

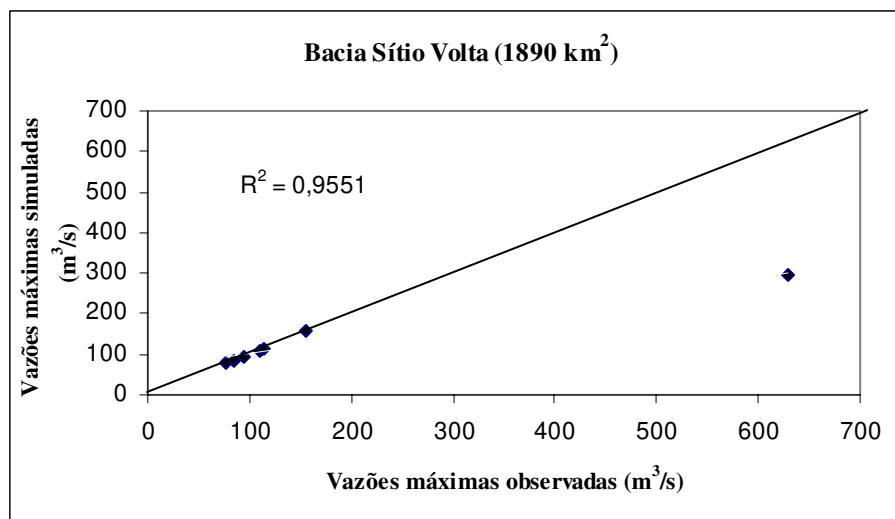


Figura 5.4 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Sítio Volta.

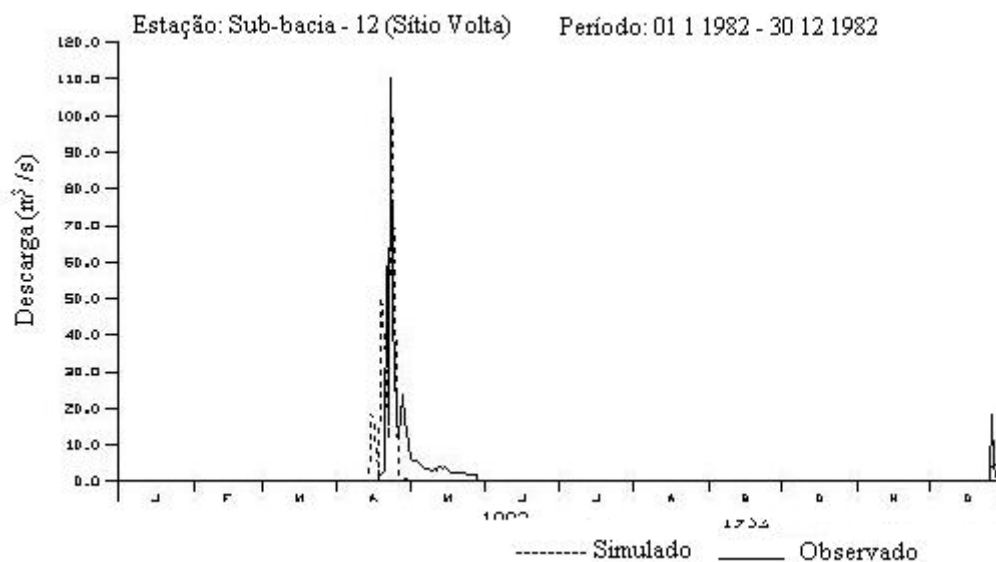


Figura 5.5 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Sítio Volta em 1982 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

### 5.3.2 Bacia Caicó – 6280 km<sup>2</sup> (1986 – 1998)

As Figuras 5.6 a 5.9 também mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados. De um modo geral, os resultados obtidos foram bons, pois apresentaram boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,99 (Figuras 5.6 e 5.8). Os hidrogramas simulados

representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.7 e 5.9). Os anos de vazões muito baixas não foram possíveis de calibrar.

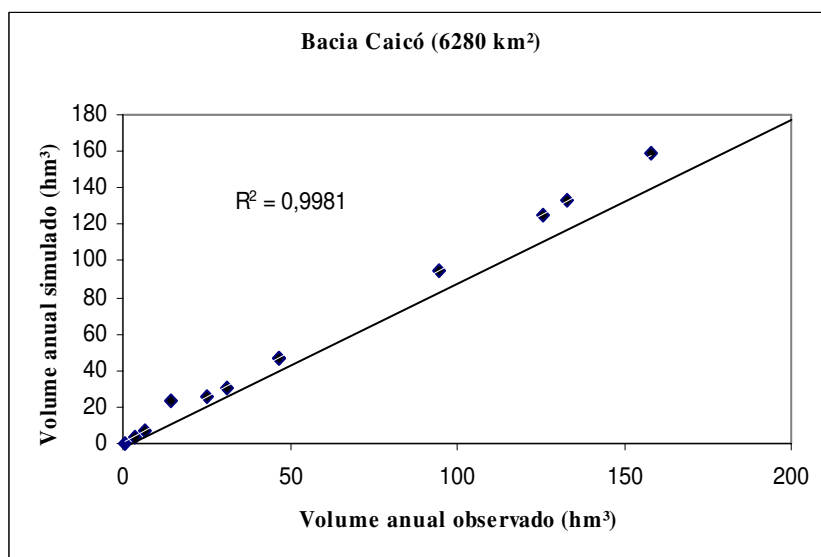


Figura 5.6 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Caicó.

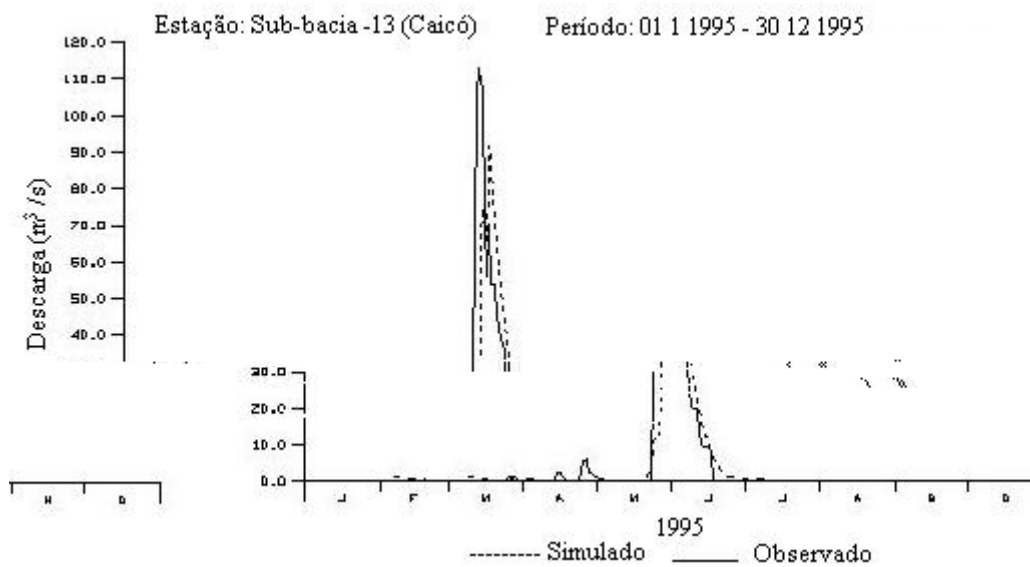


Figura 5.7 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Caicó em 1995 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

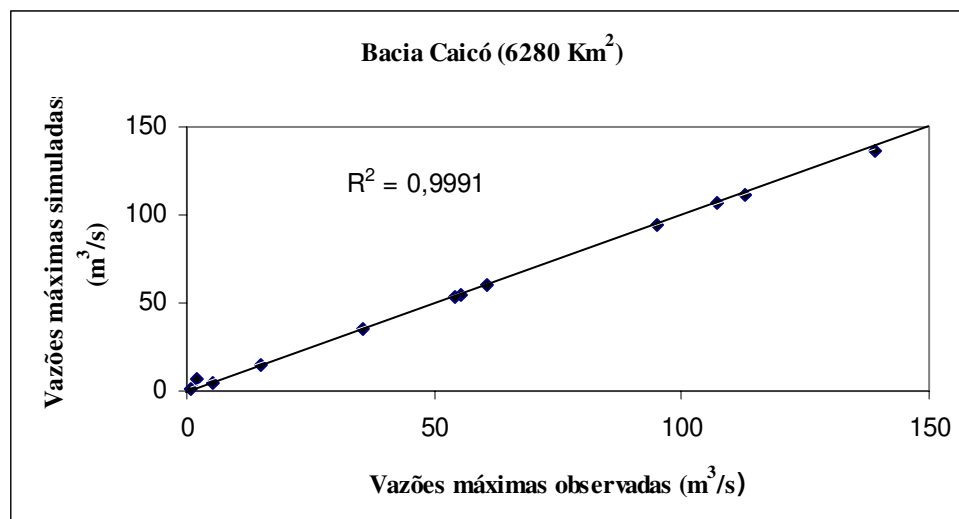


Figura 5.8 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Caicó.

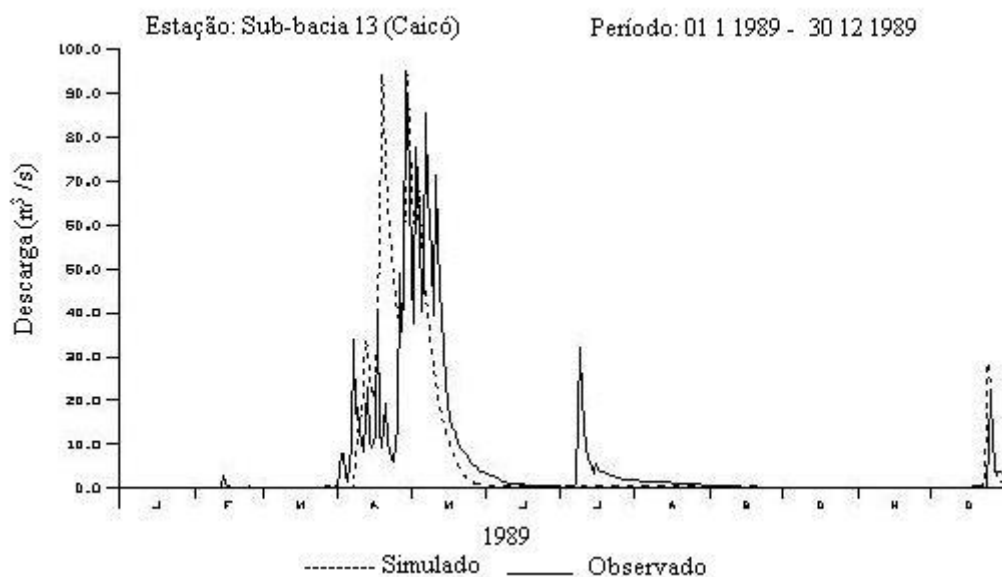


Figura 5.9 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Caicó em 1989 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

### 5.3.3. Bacia Sítio Acauã – 22750 km<sup>2</sup> (1973 – 1979 e 1986 - 1998)

A área oficial Sítio Acauã na Hidro-Web é de 37600 km<sup>2</sup>, sendo esta a área total incluindo a parte do Alto Rio Piranhas. Como o estudo limita-se na parte superior pela estação de Sítio Vassouras se desconta a área dela que é de 14850 km<sup>2</sup>. Por isso é que neste trabalho se mostra a área de Sítio Acauã como 22750 km<sup>2</sup>, esse pode ser um dos motivos pelo qual não se conseguiu calibrar o modelo para superiores a 1500 m<sup>3</sup>/s

como mostra a Figura 5.12. As Figuras 5.10 a 5.13 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados, levando em consideração esta área. De um modo geral, os resultados obtidos foram bons, pois apresentaram boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,79 (Figuras 5.10 e 5.12). Os hidrogramas simulados representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.11 e 5.13). Tal como em Caicó, os anos com vazões muito baixas não foram possíveis de calibrar.

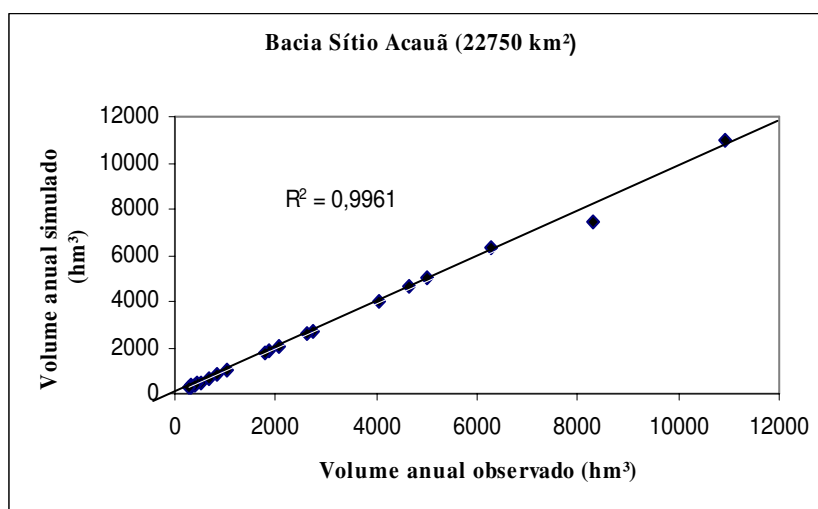


Figura 5.10 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Sítio Acauã.

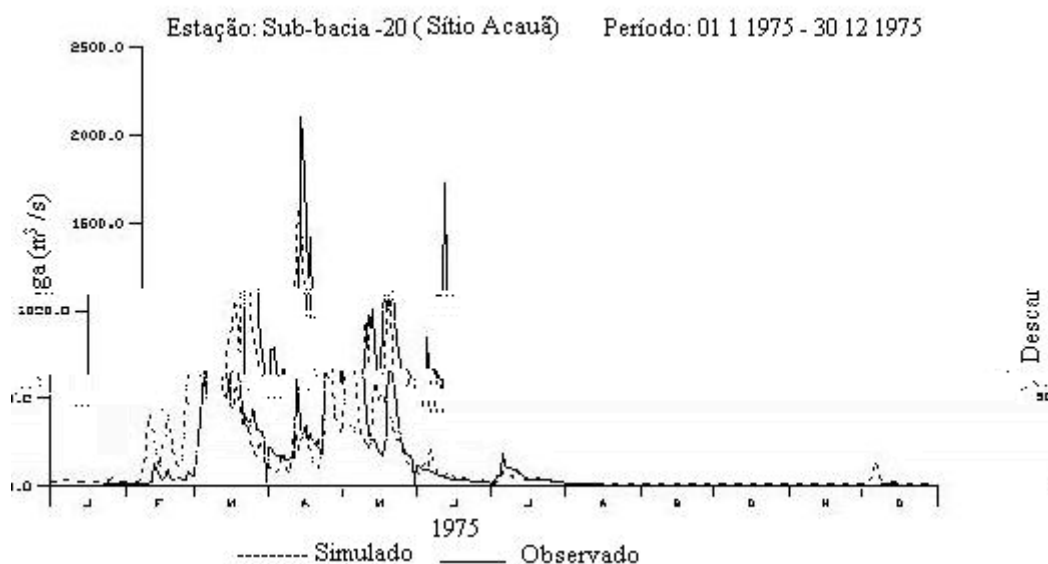


Figura 5. 11- Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Sítio Acauã em 1975 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

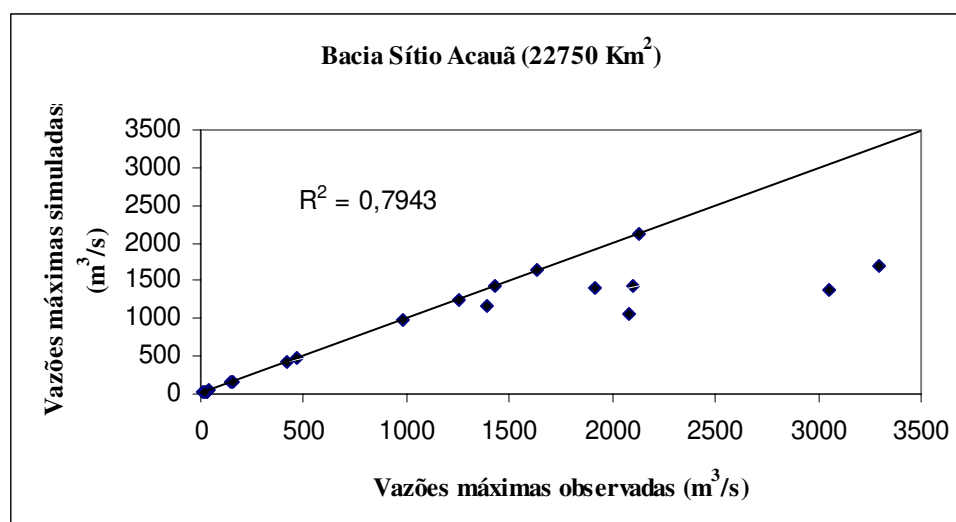


Figura 5. 12– Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Sítio Acauã.

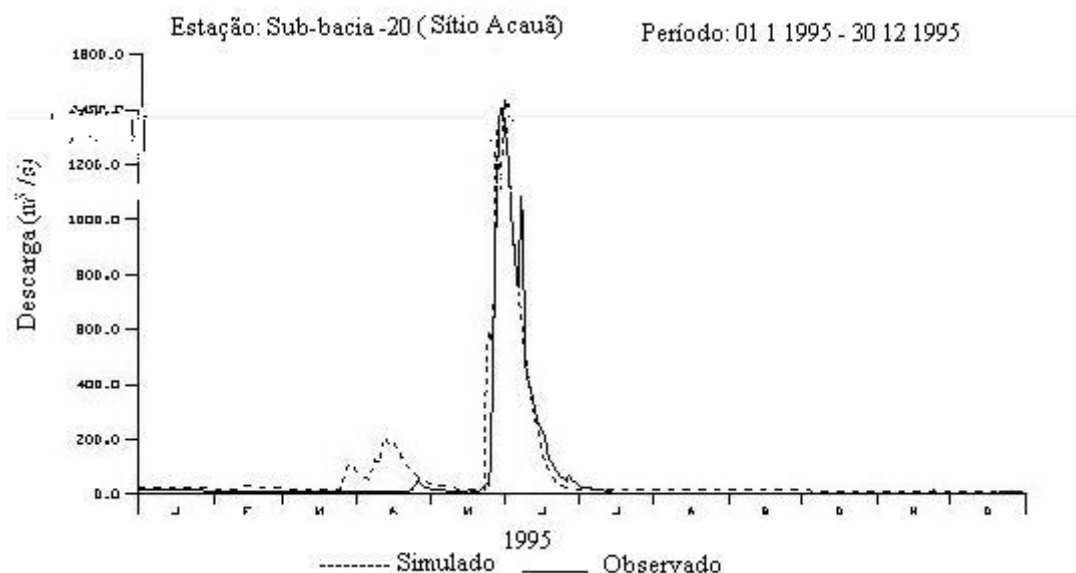


Figura 5. 13 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Sítio Acauã em 1995 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

#### 5.3.4. Bacia Jardim de Piranhas – 6500 km<sup>2</sup> (1964 – 1985)

O mesmo acontece com Jardim de Piranhas cuja área oficial na Hidro-Web é de 21350 km<sup>2</sup>, sendo esta a área total incluindo a parte do Alto Rio Piranhas. Como o estudo limita-se na parte superior pela estação de Sítio Vassouras se desconta a área de 14850 km<sup>2</sup>, por isso é que neste trabalho se mostra a área de Jardim de Piranhas como 6500 km<sup>2</sup>, esse pode ser um dos motivos pelo qual não se conseguiu calibrar o modelo

para superiores a  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  como mostra a Figura 5.16. As Figuras 5.14 a 5.17 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados, levando em consideração esta área. Os resultados obtidos foram bons para a calibração pelo volume, apresentando boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9 (Figura 5.14). Já na calibração pela vazão máxima o resultado obtido foi razoável, e apresentou valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,6 (Figura 5.16). Os hidrogramas simulados representaram bem os hidrogramas observados, podendo-se observar a existência de vazão de regularização (Figuras 5.15 e 5.17).

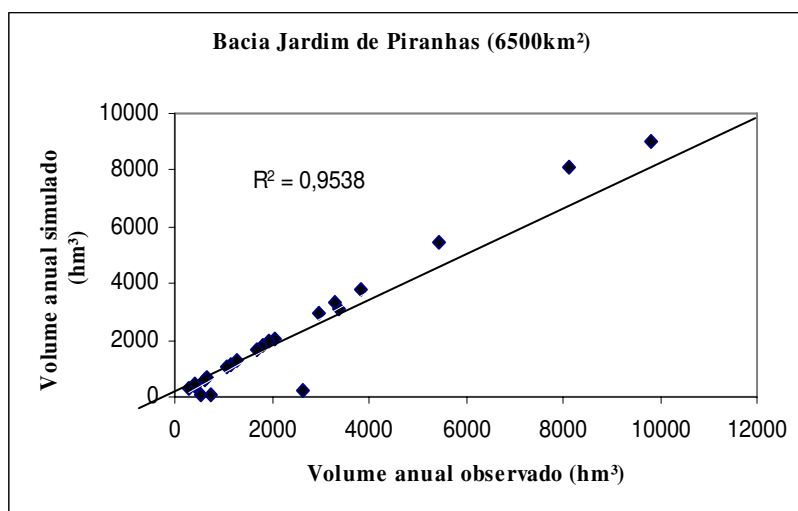


Figura 5.14 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Jardim de Piranhas.

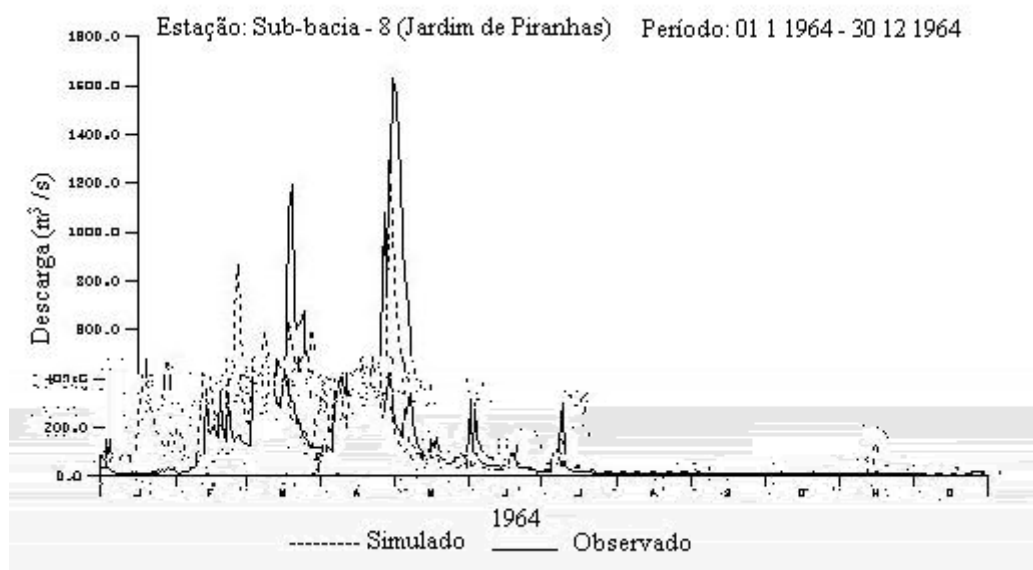


Figura 5. 15- Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Jardim de Piranhas em 1964 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.



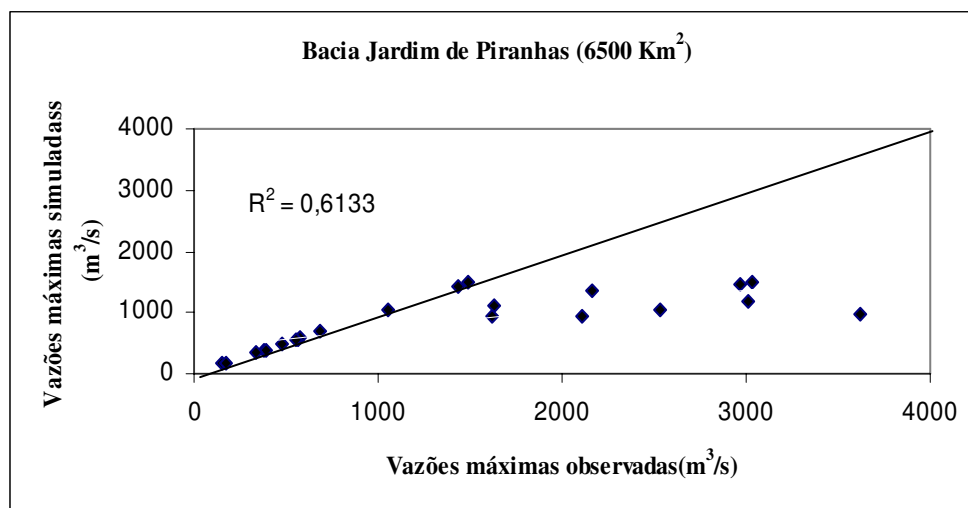


Figura 5.16 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Jardim de Piranhas.

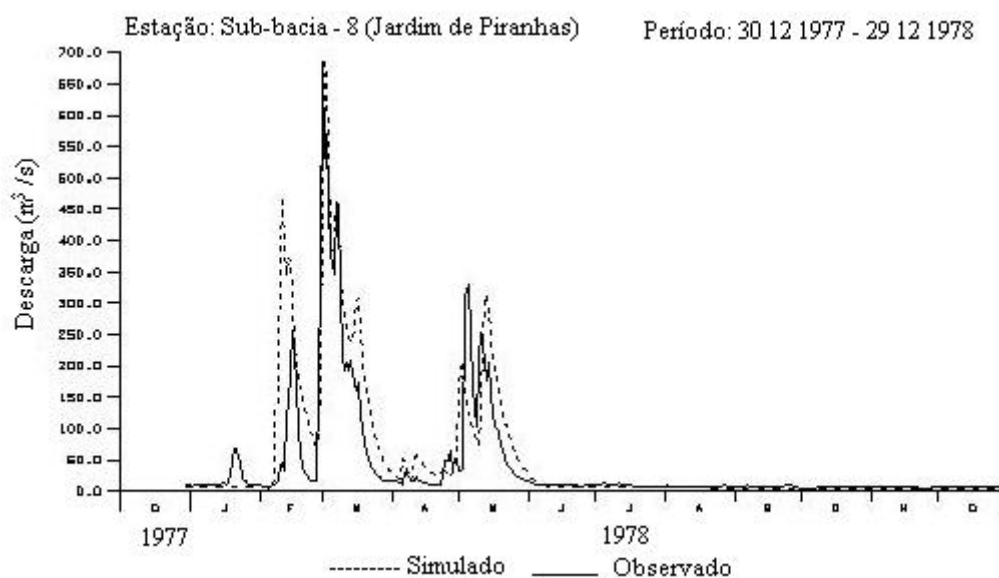


Figura 5.17 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Jardim de Piranhas em 1978 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

### 5.3.5. Bacia Patos – 1850 km<sup>2</sup> (1985 – 1998)

As Figuras 5.18 a 5.21 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados. De um modo geral, os resultados obtidos foram bons, pois apresentaram boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ )

acima de 0,82 (Figuras 5.18 e 5.20). Os hidrogramas simulados representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.19 e 5.21).

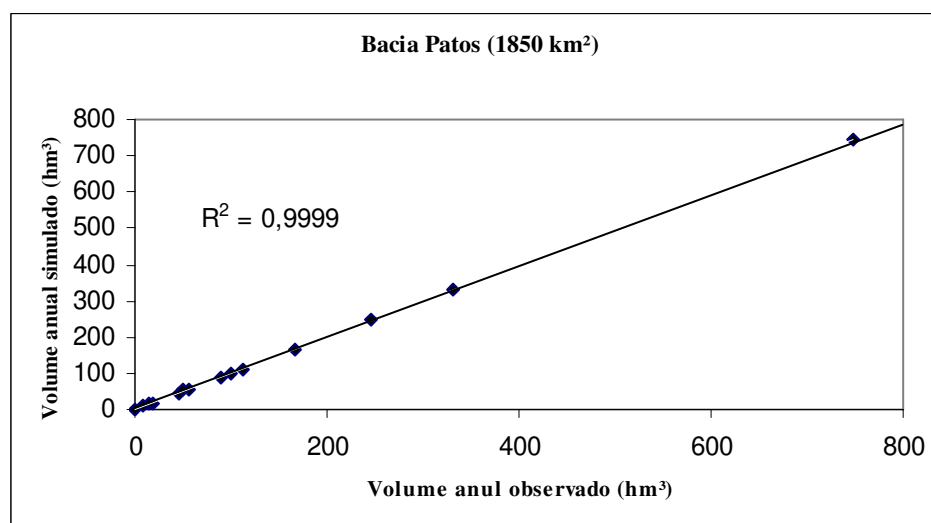


Figura 5.18 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Patos.

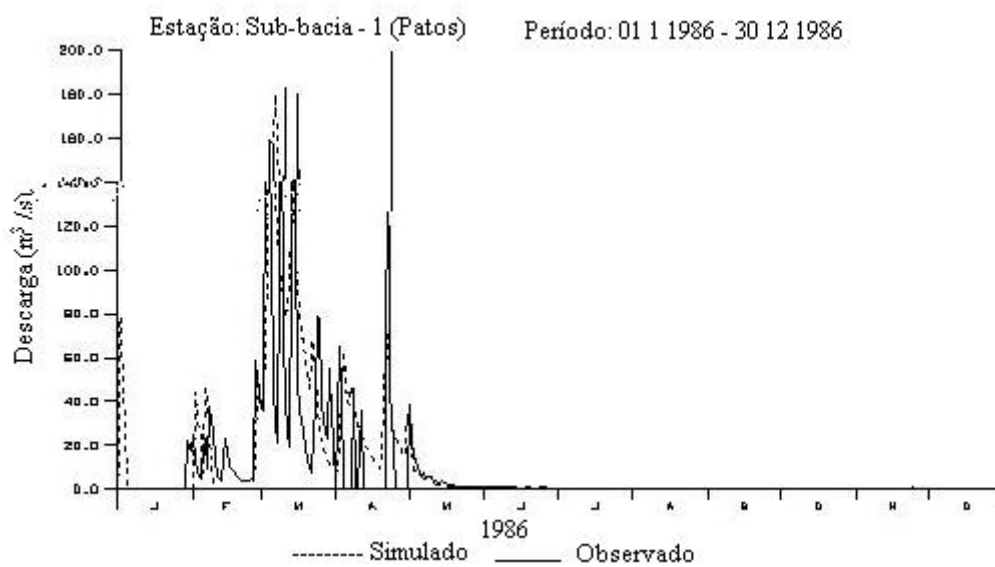


Figura 5.19 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Patos em 1986 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

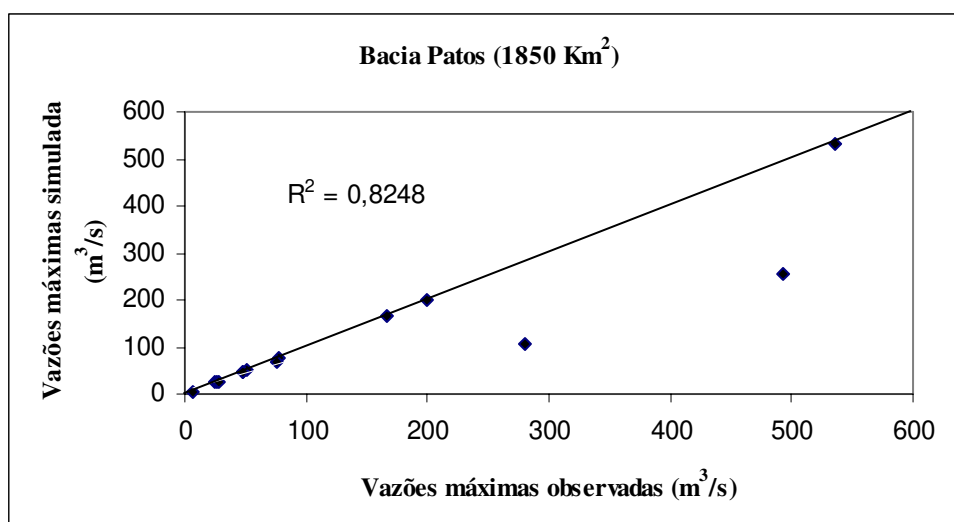


Figura 5.20 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Patos.

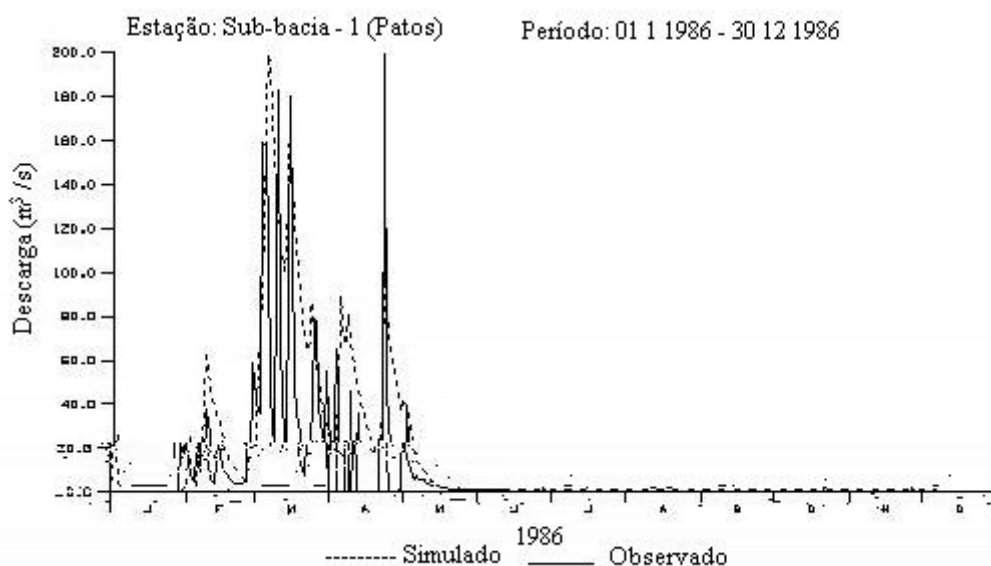


Figura 5.21 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Patos em 1986 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

### 5.3.6. Bacia São Fernando – 9700 km<sup>2</sup> (1963 – 1998)

As Figuras 5.22 a 5.25 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados. Os resultados obtidos foram bons para a calibração pelo volume, apresentando boa correlação com os dados observados, com valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9 (Figura 5.22). Já na calibração pela vazão máxima o resultado obtido não foi bom, e apresentou valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de

0,49 (Figura 5.24). Vale salientar que a calibração desta bacia foi difícil, e mesmo não se encontrando na literatura referencia há existência de vazão de regularização teve-se que calibrar o escoamento de base para a calibração pelo volume, caso contrario não se conseguiria chegar próximo ao volume observado. Os hidrogramas simulados representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.23 e 5.25).

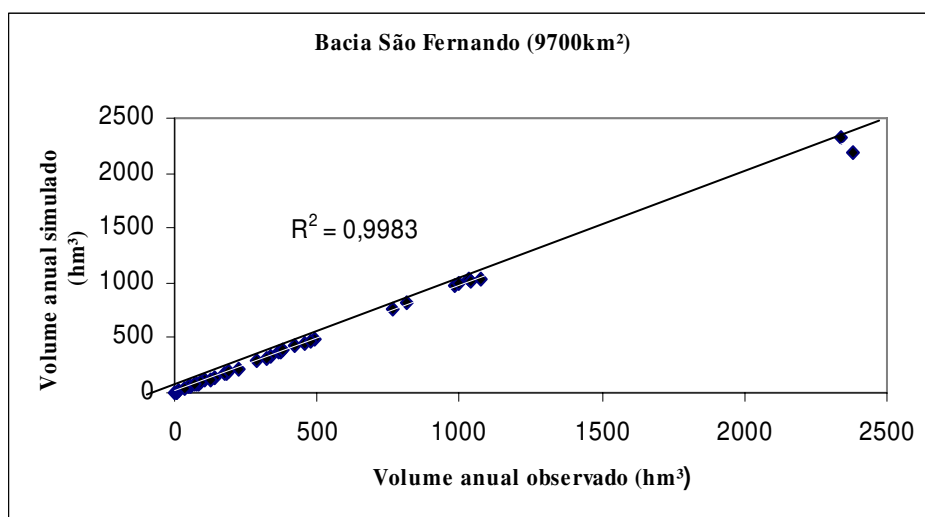


Figura 5.22 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de São Fernando.

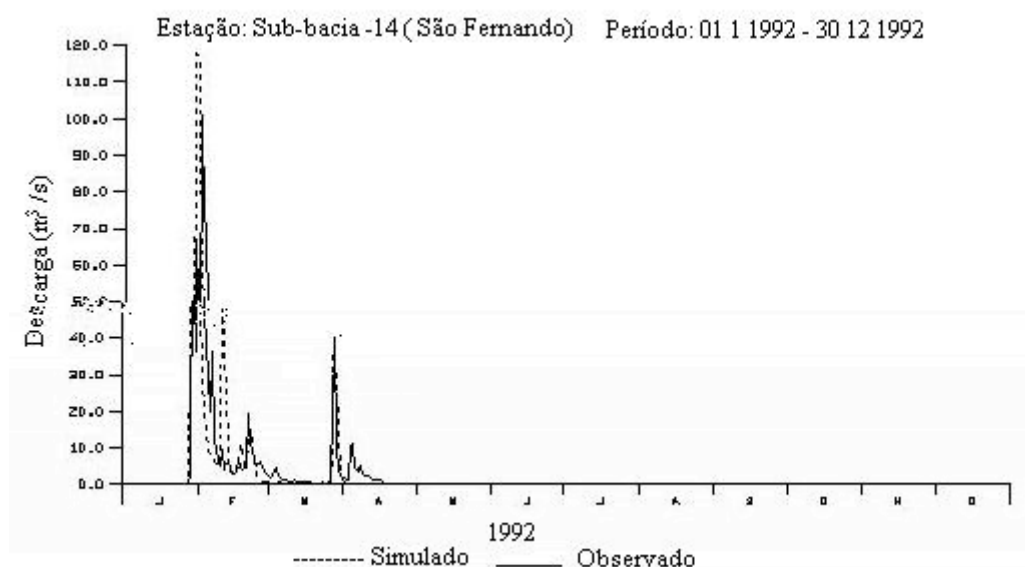


Figura 5.23 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de São Fernando em 1992 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

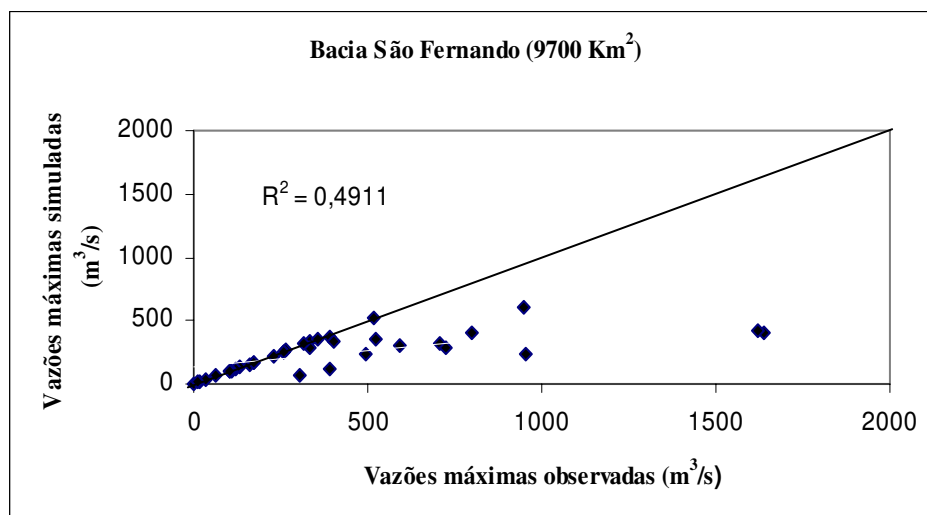


Figura 5.24 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de São Fernando.

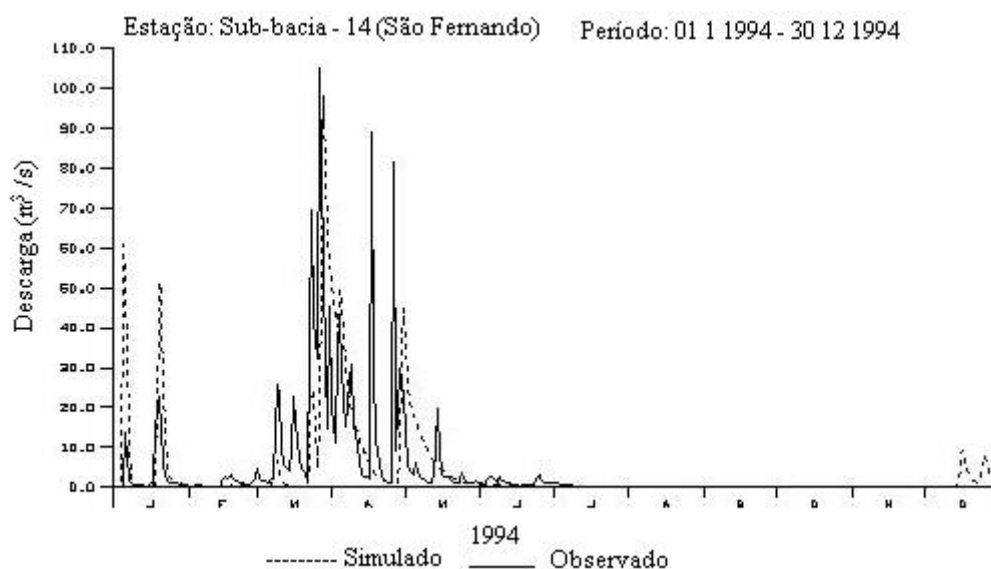


Figura 5.25 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de São Fernando em 1994 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

### 5.3.7. Bacia Serra Negra do Norte – 3330 km<sup>2</sup> (1921 – 1957; 1959 – 1961; 1983)

As Figuras 5.26 a 5.29 mostram alguns resultados obtidos com os parâmetros calibrados. É interessante ser observado que só no caso dessa bacia é que a calibração pelo volume não foi boa, como valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,5 (Figura 5.26). Já na calibração pela vazão máxima o resultado obtido foi bom com valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9 (Figura 5.28). Os hidrogramas simulados

representaram bem os hidrogramas observados (Figuras 5.27 e 5.29), demonstrando uma boa interligação com a bacia de Patos que fica a montante.

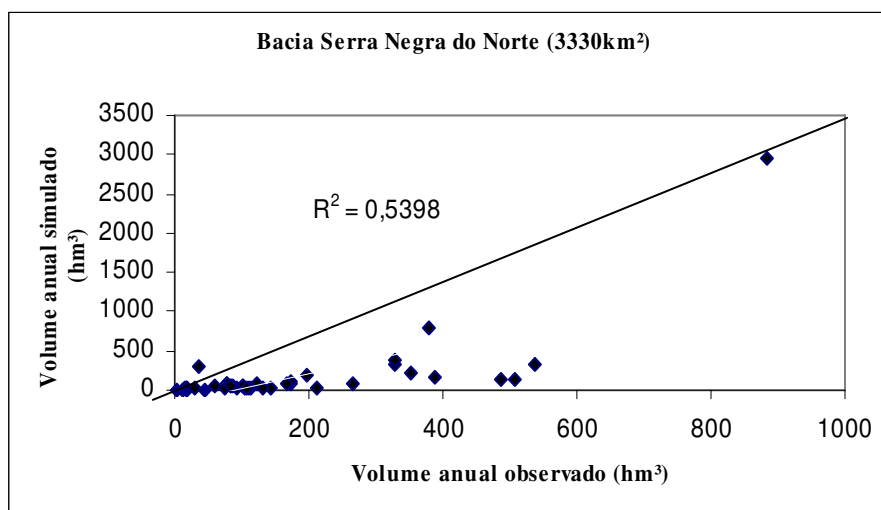


Figura 5.26 - Volumes Anuais Simulados e Observados na Bacia de Serra Negra do Norte.

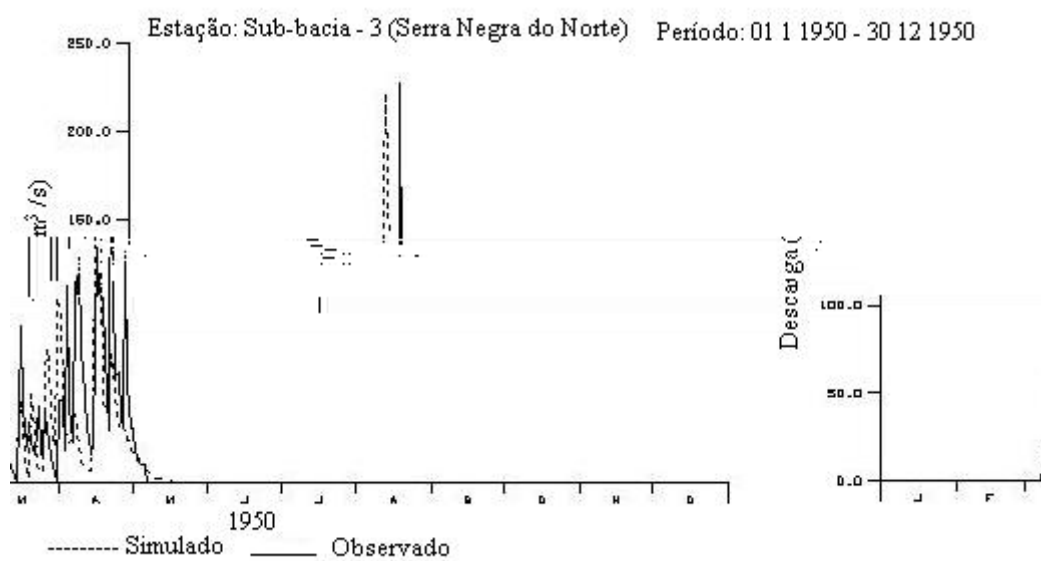


Figura 5.27 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Serra Negra do Norte em 1950 com Parâmetros Calibrados pelo Volume.

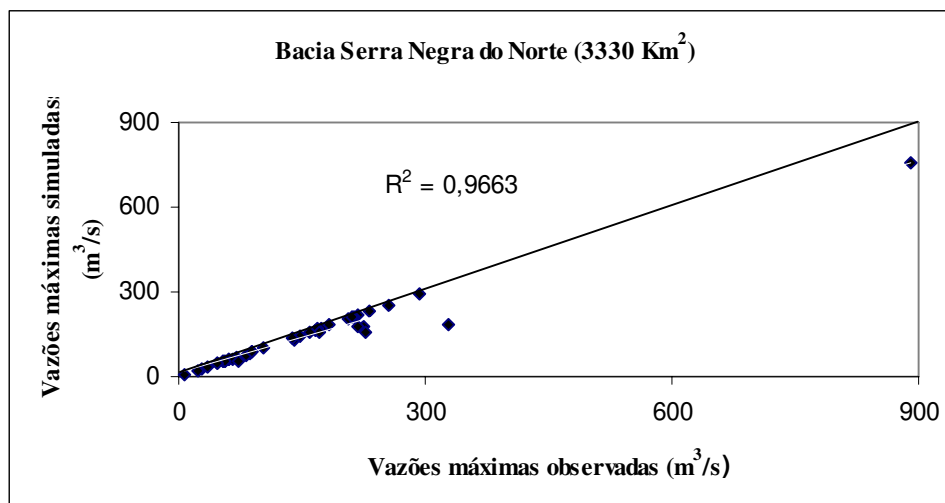


Figura 5.28 – Vazões Máximas Simuladas e Observadas na Bacia de Serra Negra do Norte.

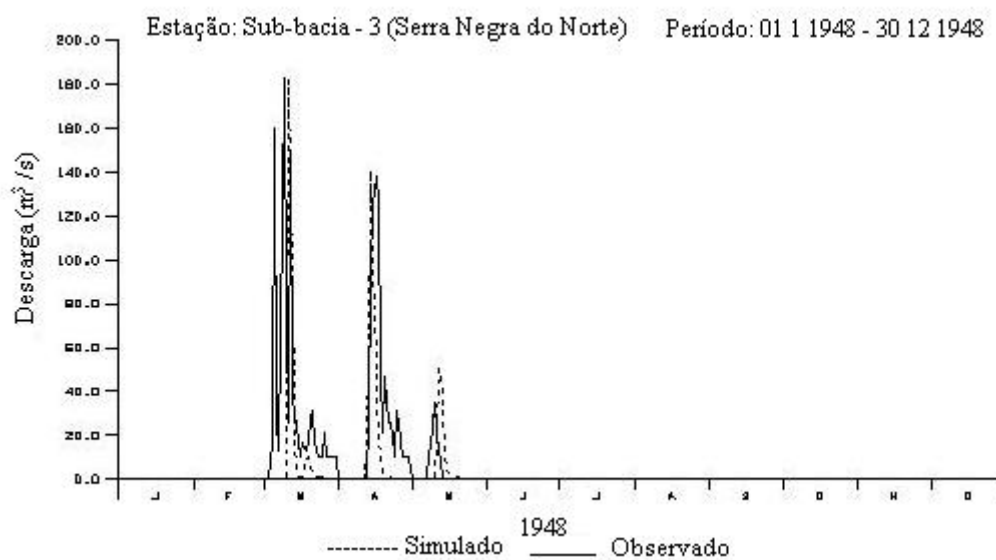


Figura 5.29 - Hidrogramas Simulados e Observados na Bacia de Serra Negra do Norte em 1948 com Parâmetros Calibrados pela Vazão Máxima.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. VALIDAÇÃO DO MODELO NAVMO**

#### **6.1 Validação**



**Tabela 6.1 – Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pela média das Vazões Máximas.**

	<b>Vazão máxima</b>	<b>Volume</b>
Patos	0,3426	0,9116
S.N.Norte	0,0946	0,3069
J.Piranhas	0,2731	0,7157
S.Volta	0,6060	0,0026
Caicó	0,0034	0,2120
S.Fernando	0,0278	0,0401
S.Acauã	0,0036	0,0356
<b>Média</b>	<b>0,1930</b>	<b>0,3178</b>

### 6.2.1. Bacia Patos

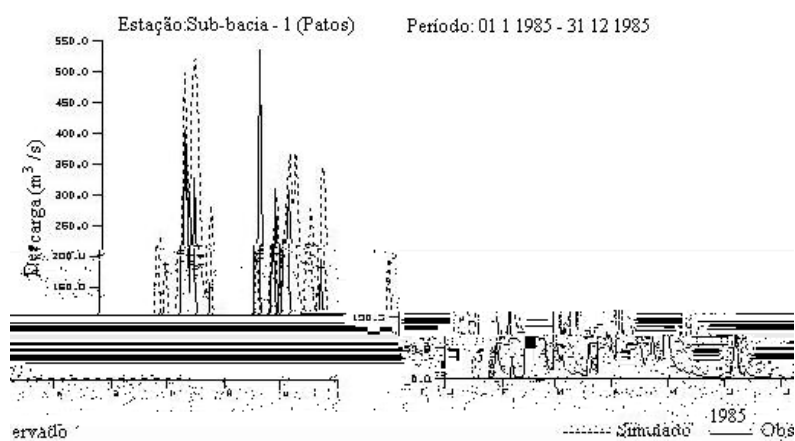


Figura 6.1 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.

### 6.2.2. Bacia Serra Negra do Norte

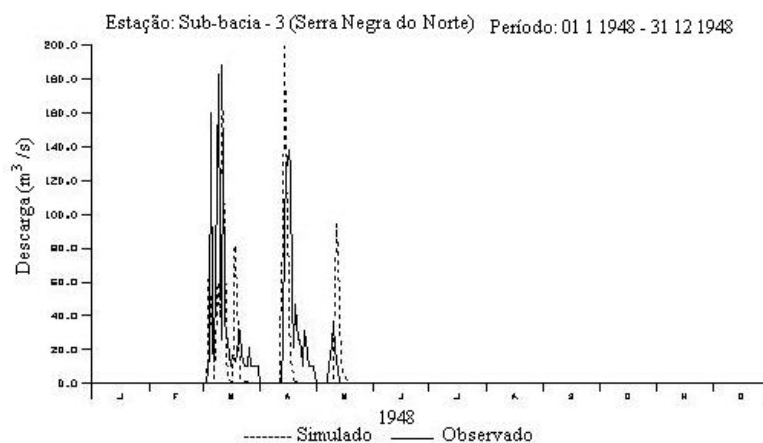


Figura 6.2 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1948 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.

### 6.2.3. Bacia Sítio Volta

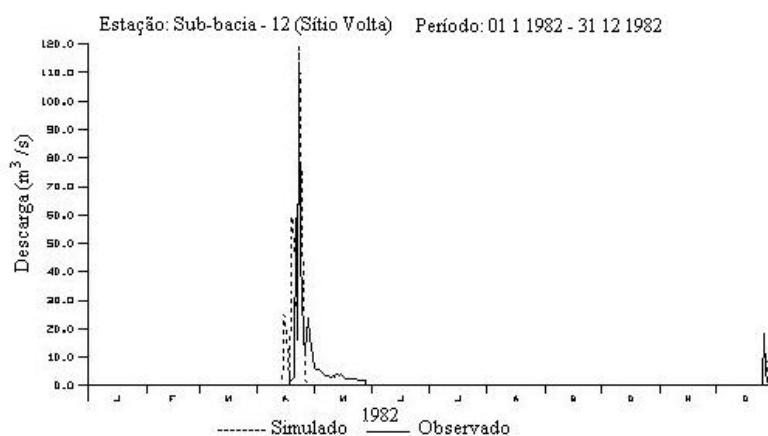


Figura 6.3 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1982 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima

#### 6.2.4. Bacia Caicó

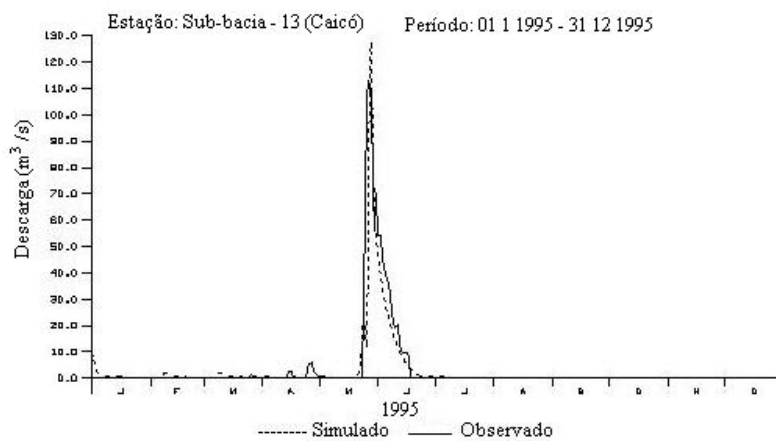


Figura 6.4 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1995 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima.

#### 6.2.5. Bacia São Fernando

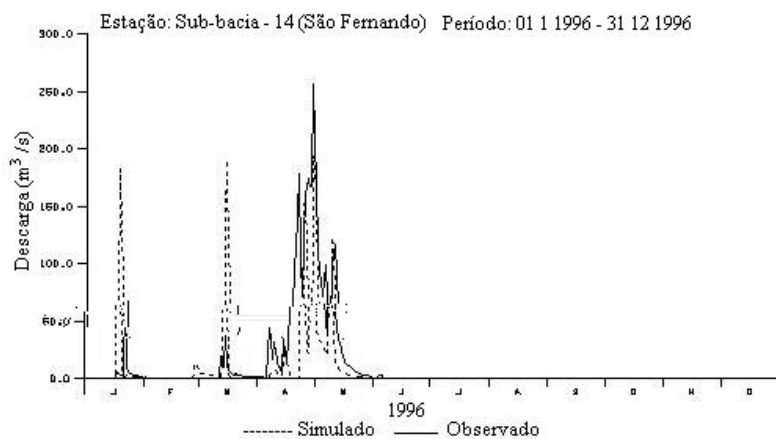


Figura 6.5 - Hidrogramas Observado Bacia de São Fernando em 1996 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima

### 6.2.6. Bacia Sítio Acauã

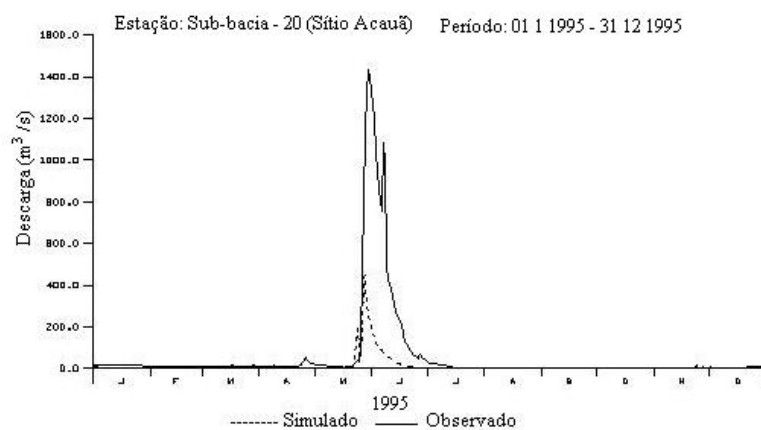


Figura 6.6 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1995 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima

### 6.2.7. Bacia Jardim de Piranhas

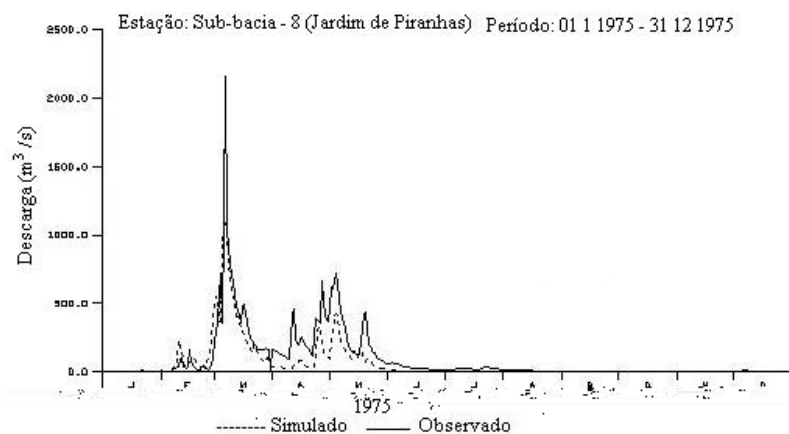


Figura 6.7 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1975 e Simulado com Parâmetros médios da Vazão Máxima

### 6.3. Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes.

Mesmo a validação tendo sido feita com a média dos parâmetros obtidos pela calibração do volume anual, foi analisado também o comportamento da vazão máxima para cada ano. A seguir são mostrados os hidrogramas para cada uma das 7 sub-bacia com dados observados (Figuras 6.8 a 6.14). Foi verificado que só no caso de Patos é que a simulação para o volume escoado obteve um coeficiente de determinação bom com  $R^2 = 0,90$  (Tabela 6.2), nos outros casos foram todos abaixo de  $R^2 = 0,53$ . No geral, apenas alguns hidrogramas observados foram bem aproximados pelos simulados.

**Tabela 6.2 – Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pela média dos Volumes.**

	<b>Volume</b>	<b>Vazão máxima</b>
Patos	0,9126	0,3773
S.N.Norte	0,2873	0,1080
J.Piranhas	0,5300	0,2399
S.Volta	0,0595	0,2214
Caicó	0,0056	0,0206
S.Fernando	0,0313	0,0464
S.Acauã	0,2649	0,0343
<b>Média</b>	<b>0,2987</b>	<b>0,1497</b>

#### 6.3.1. Bacia Patos

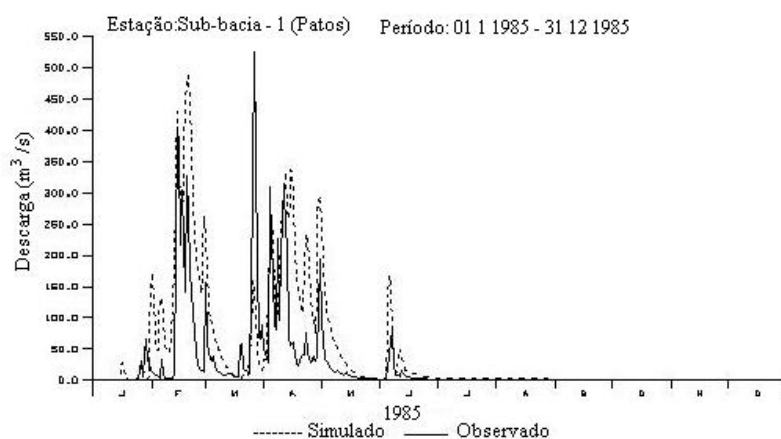


Figura 6.8 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.2. Bacia Serra Negra do Norte

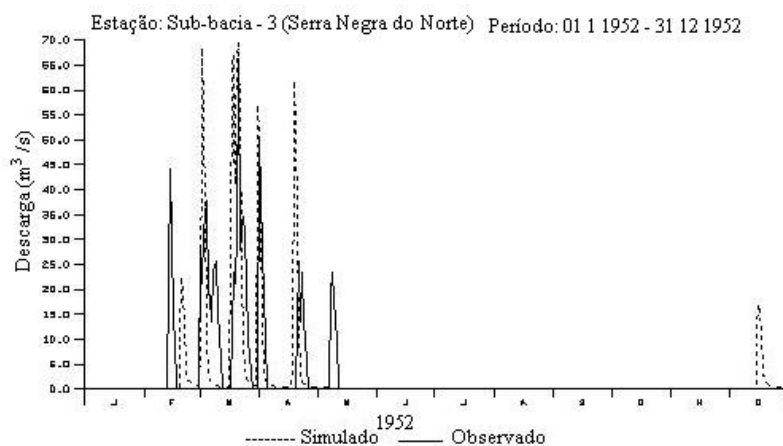


Figura 6.9 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1952 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.3. Bacia Sítio Volta

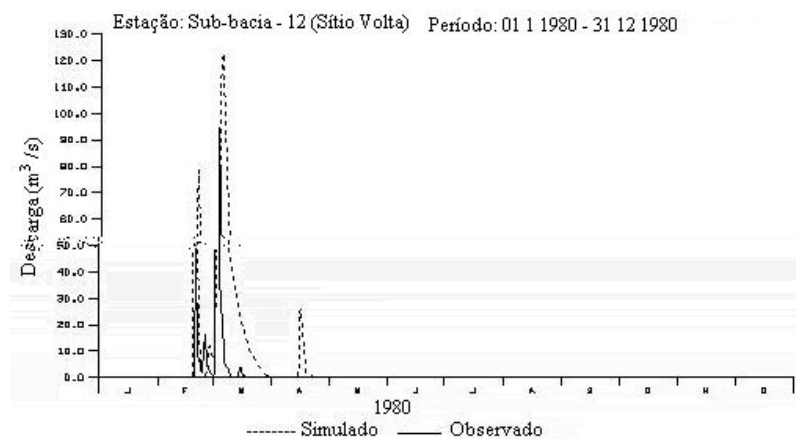


Figura 6.10 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1980 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.4. Bacia Caicó

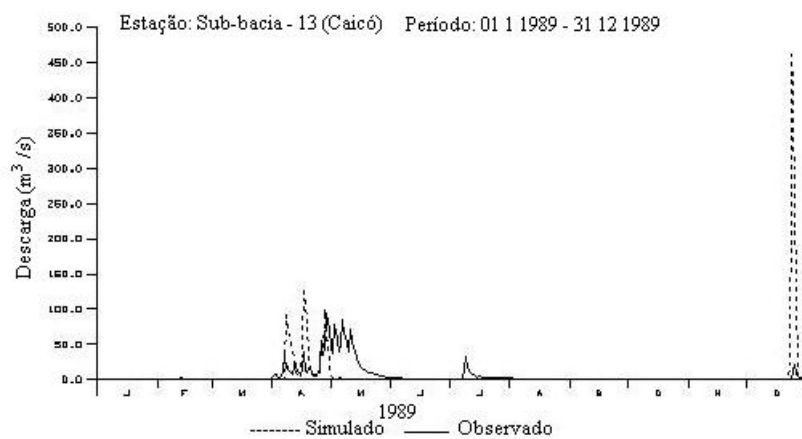


Figura 6.11 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1989 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.5. Bacia São Fernando

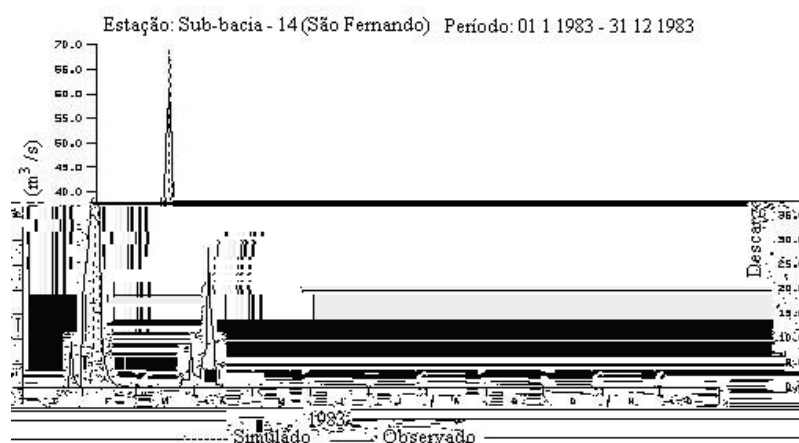


Figura 6.12 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1983 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.6. Bacia Sítio Acauã

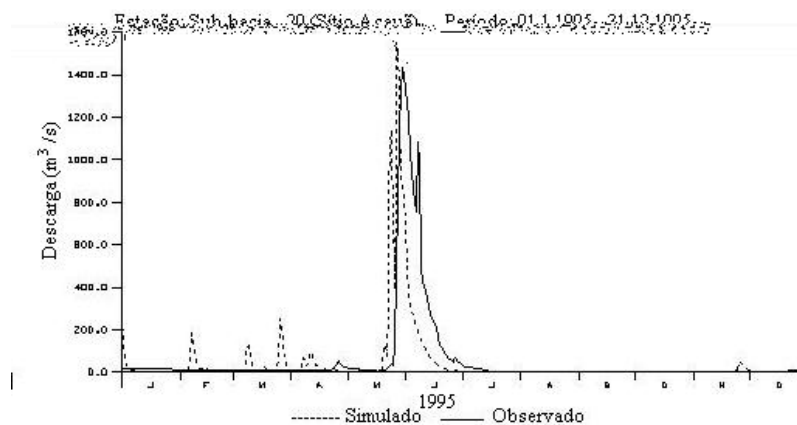


Figura 6.13 - Hidrogramas Observado Bacia de Sítio Acauã em 1995 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.

### 6.3.7. Bacia Jardim de Piranhas

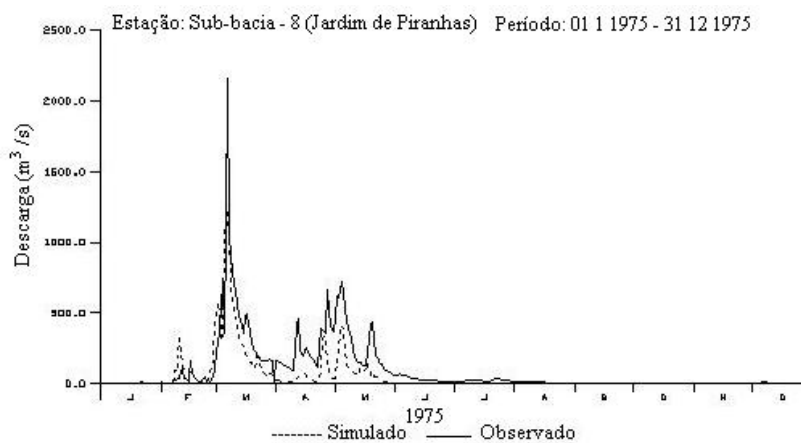


Figura 6.14 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1975 e Simulado com Parâmetros médios do Volume.



#### 6.4. Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações pela vazão máxima e volumes.

Para esta validação foi pego a média da calibração pela Vazão máxima e a média do volume anual e foi feita uma média global, para verificar qual era o comportamento do hidrograma simulado pelo modelo. Os hidrogramas para cada uma das 7 sub-bacia com dados observados são mostrados nas Figuras 6.15 a 6.21. Foi verificado que só nos casos de Patos e Jardim de Piranhas é que os coeficientes de determinação para a validação do volume escoado foram bons com  $R^2 > 0,70$  (Tabela 6.3). Nos outros casos todos ficaram a baixo de  $R^2 = 0,26$ . Para as vazões máximas, os valores de  $R^2 < 0,50$ . Os hidrogramas não foram, em geral, bem representados em relação aos observados.

**Tabela 6.3 – Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pela média dos Volumes e da Vazão Máxima.**

	<b>Volume</b>	<b>Vazão máxima</b>
Patos	0,9070	0,3540
S.N.Norte	0,2590	0,0956
J.Piranhas	0,7103	0,2527
S.Volta	0,0137	0,5092
Caicó	0,0185	0,0153
S.Fernando	0,0266	0,0375
S.Acauã	0,2550	0,0230
<b>Média</b>	<b>0,3129</b>	<b>0,1839</b>

##### 6.4.1. Bacia Patos

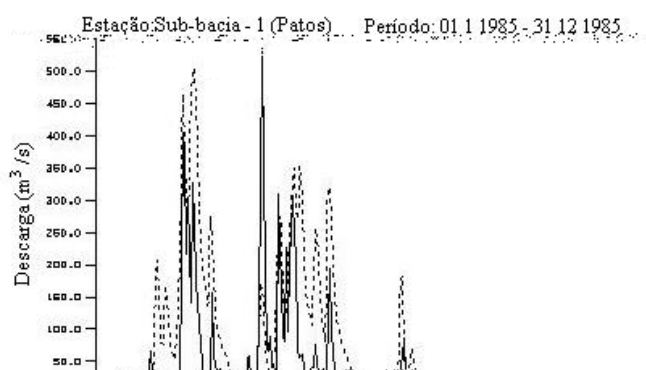


Figura 6.15 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1985 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

### 6.4.2. Bacia Serra Negra do Norte

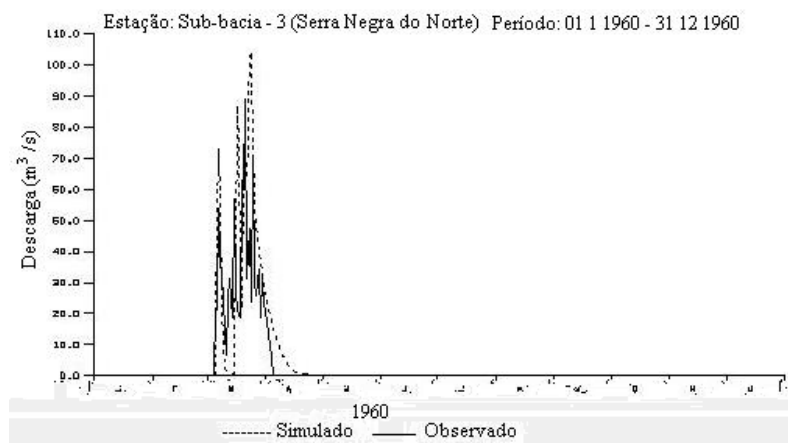


Figura 6.16 - Hidrogramas Observado na Bacia de Serra Negra do Norte em 1960 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

### 6.4.3. Bacia Sítio Volta

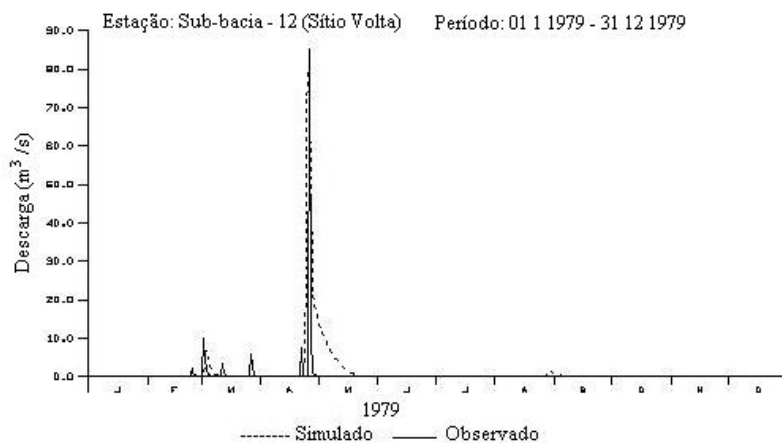


Figura 6.17 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1979 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

#### 6.4.4. Bacia Caicó

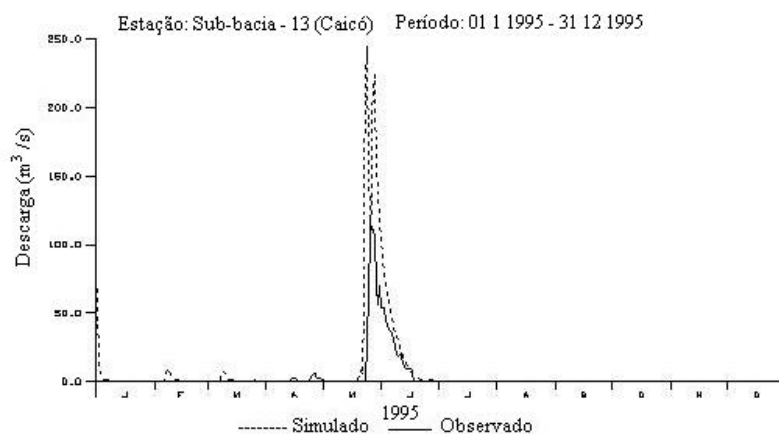


Figura 6.18 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1995 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

#### 6.4.5. Bacia São Fernando

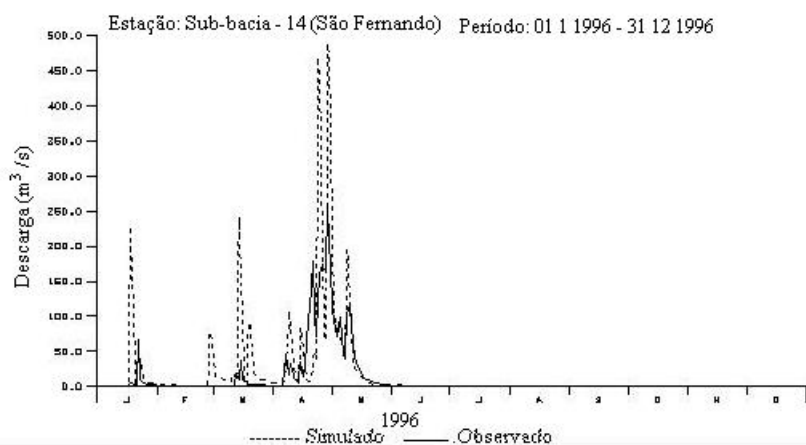


Figura 6.19 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1996 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

#### 6.4.6. Bacia Sítio Acauã

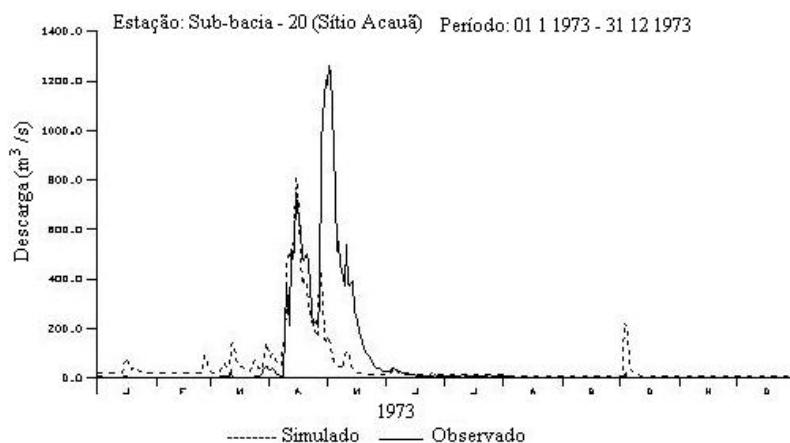


Figura 6.20 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1973 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

#### 6.4.7. Bacia Jardim de Piranhas

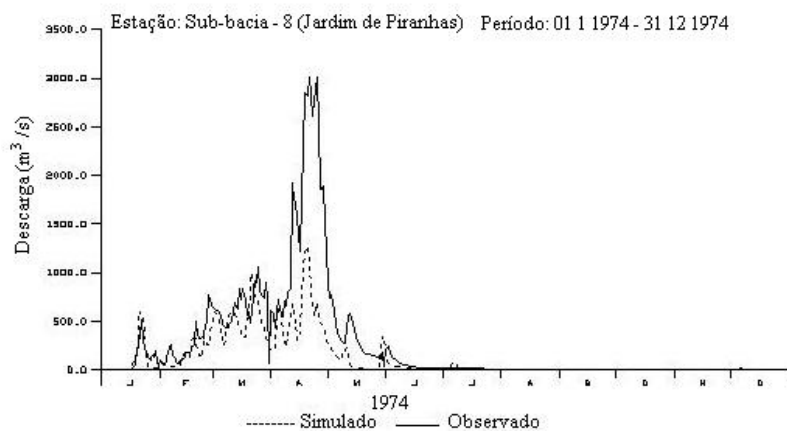


Figura 6.21 - Hidrogramas Observado na Bacia de Jardim de Piranhas em 1974 e Simulado com Parâmetros médios do Volume e da Vazão Máxima.

### 6.5. Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes considerando anos secos, normais e úmidos.

Para esta validação foi feita a média da calibração pela Vazão máxima e a média do volume anual e foi feita uma média global, considerando as condições antecedentes, para verificar qual era o comportamento dos hidrogramas simulados pelo modelo. Os hidrogramas para cada uma das 7 sub-bacias com dados observados são mostrados nas Figuras 6.22 a 6.28. Foi verificado que só no caso de Patos é que o coeficiente de determinação para a validação do volume escoado levando em consideração se o ano foi classificado como seco, normal ou úmido, é que foi bom com  $R^2 = 0,89$  (Tabela 6.4); nos outros casos foram todos abaixo de  $R^2 = 0,50$ . Para as vazões máximas  $R^2 < 0,34$ . Os hidrogramas simulados apresentaram-se bem em relação aos observados.

**Tabela 6.4 – Valores dos Coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) da Simulação pela média dos Volumes considerando os anos secos, normais e úmidos.**

	<b>Volume</b>	<b>Vazão máxima</b>
Patos	0,8929	0,3431
S.N.Norte	0,4810	0,2770
J.Piranhas	0,5090	0,2886
S.Volta	0,0225	0,0020
Caicó	0,0387	0,00002
S.Fernando	0,0001	0,0386
S.Acauã	0,3740	0,0110
<b>Média</b>	<b>0,3312</b>	<b>0,1372</b>

### 6.5.1. Bacia Patos

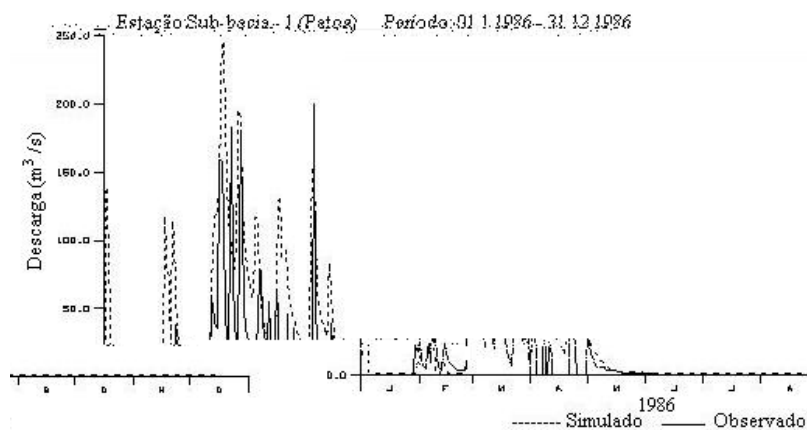


Figura 6.22 - Hidrogramas Observado na Bacia de Patos em 1986 e Simulado pela com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.5.2. Bacia Serra Negra do Norte

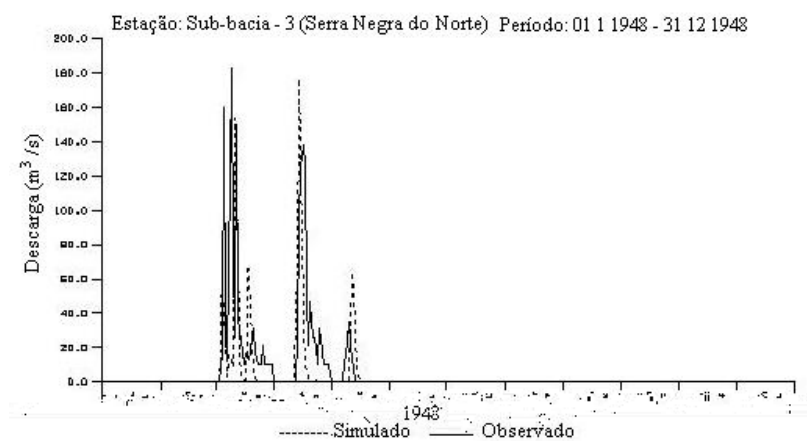


Figura 6.23 - Hidrogramas Observado na Bacia de S. N. do Norte em 1948 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.5.3. Bacia Sítio Volta

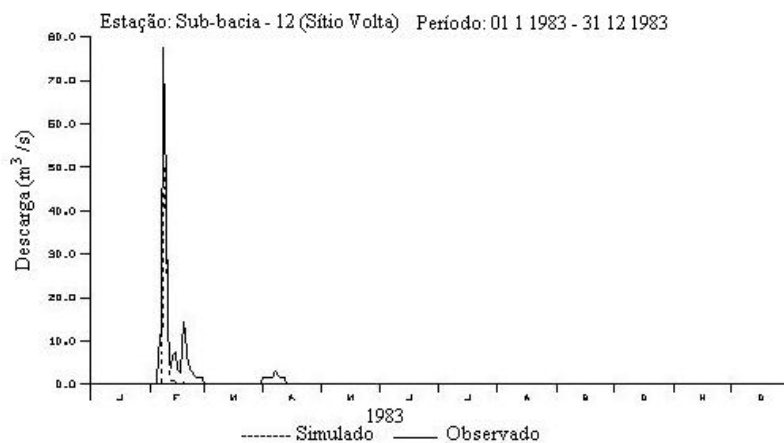


Figura 6.24 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Volta em 1983 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.5.4. Bacia Caicó

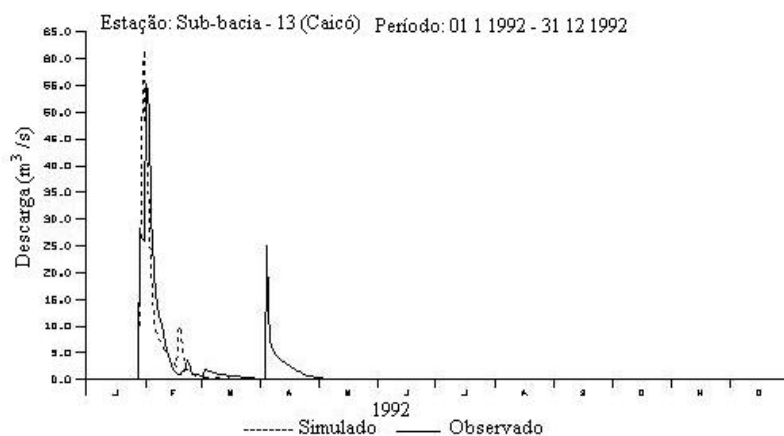


Figura 6.25 - Hidrogramas Observado na Bacia de Caicó em 1992 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.5.5. Bacia São Fernando

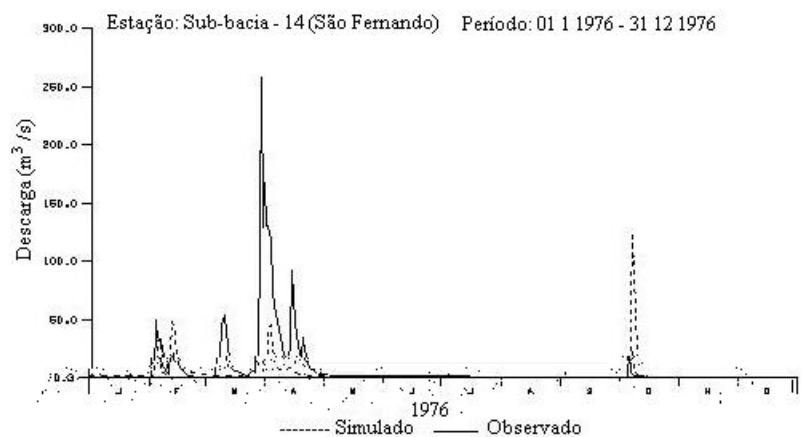


Figura 6.26 - Hidrogramas Observado na Bacia de São Fernando em 1976 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.5.6. Bacia Sítio Acauã

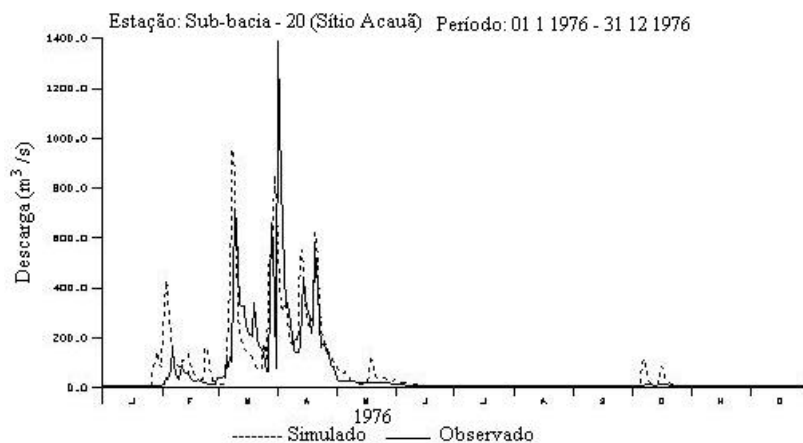


Figura 6.27 - Hidrogramas Observado na Bacia de Sítio Acauã em 1976 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.



### 6.5.7. Bacia Jardim de Piranhas

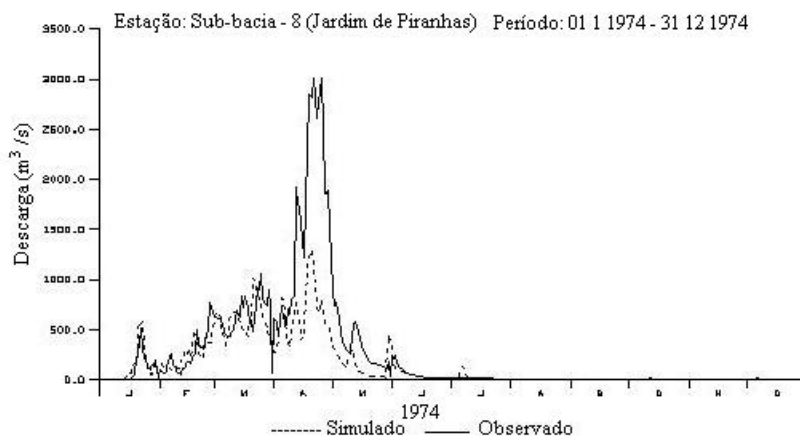


Figura 6.28 - Hidrogramas Observado na Bacia de J. de Piranhas em 1974 e Simulado com Parâmetros médios do Volume considerando os anos secos, normais e úmidos.

### 6.6. Análise do efeito de escala sobre os parâmetros

A análise dos valores médios dos parâmetros (picos e volumes e anos secos, normais e úmidos), em relação à escala não mostrou tendência (Figuras 6.29 a 6.30), isto tanto para a calibração pela vazão máxima quanto para a calibração pelo volume. Considerando os resultados de Figueiredo et al (2006), mostrados no capítulo 2 (ver Figura 2.3), conjuntamente com os da presente pesquisa, uma relação funcional entre os parâmetros e a escala também não ficou claramente definida (Figura 6.31), possivelmente decorrente de o processo de calibração ter sido feito por bacia e não de maneira integrada haja vista as descontinuidades nos dados observados.

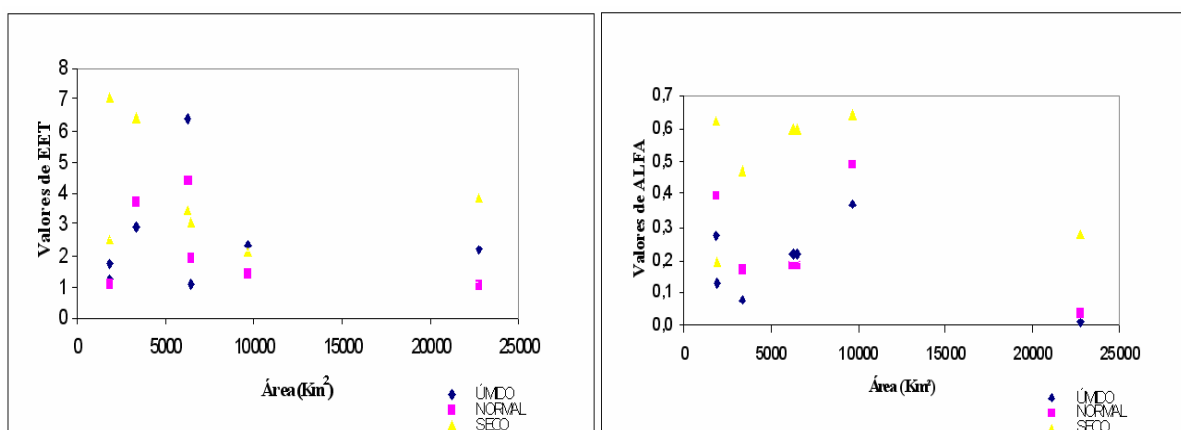


Figura 6.29 – Variação de EET e ALFA médios com a Escala da Bacia (pelos picos).

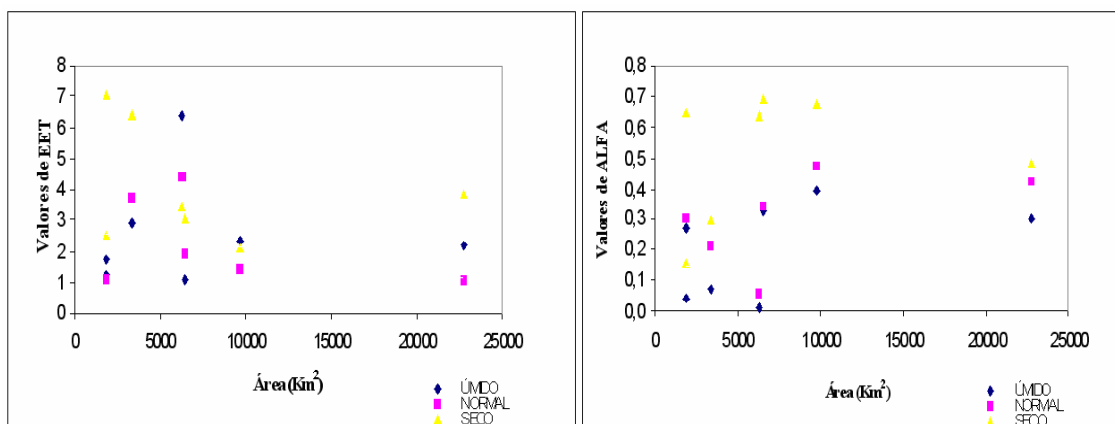


Figura 6.30 – Variação de EET e ALFA médios com a Escala da Bacia (pelos volumes)

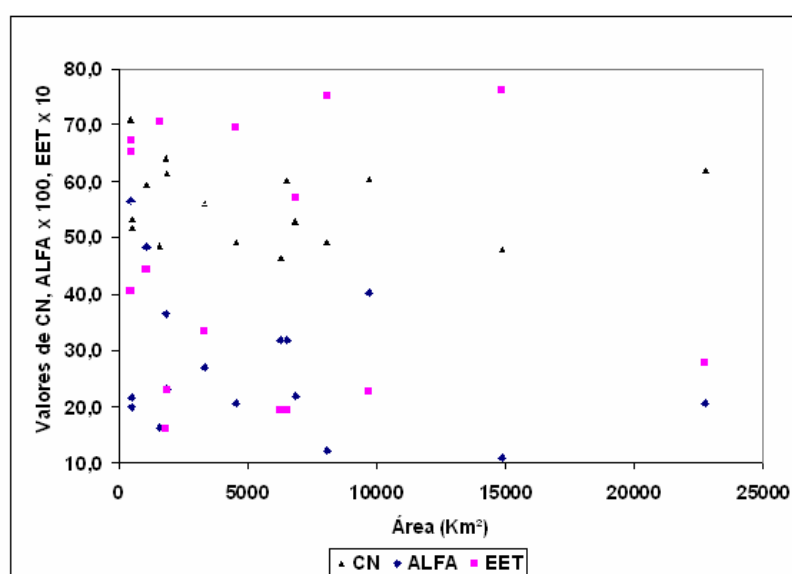


Figura 6.31 – Variação de EET, ALFA e CN médios com a Escala da Bacia.

## CAPÍTULO 7

### 7. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo a modelagem do escoamento no Sistema Piranhas - Açú, utilizando, para isto o modelo distribuído NAVMO, tendo sido desenvolvidas as seguintes etapas: divisão da bacia em sub-bacias, calibração do modelo por dois critérios e validação do modelo de quatro maneiras. A análise dos resultados mostrou o seguinte:

#### 7.1 Análise de Resultados

1 – Calibração: De um modo geral pode-se dizer que o modelo foi bem calibrado, obtendo-se um bom coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo que apresentou melhores resultados para a calibração dos volumes anuais ( $R^2 = 0,926$ ) do que para os picos ( $R^2 = 0,806$ ).

2 - Validação: Apesar da calibração ter tido valores dos coeficientes de determinação bons, a verificação do modelo resultou num coeficiente de determinação médio inferior ao da calibração ( $R^2 = 0,34$ ), pode-se atribuir isto a vários aspectos como a não representação de todas as características e variabilidades do sistema pelo modelo, a qualidade dos dados já que foram verificados valores muito baixos de vazão para áreas muito grandes, como por exemplo a sub- bacia de Caicó onde foram observadas vazões máximas de até  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$  (ano 1986), e também os critérios de validação.

Considerando estes aspectos, pode-se considerar os resultados de validação razoáveis para estudos futuros de regionalização.

3 – Efeito de Escala: A análise dos valores dos parâmetros, obtidos em relação à escala não mostrou tendência.

#### 7.2 Conclusões

Com base nos resultados, foi possível concluir que:

- V Com relação a calibrado do modelo NAVMO tanto pela Vazão Máxima quanto pelo Volume anual representou bem quando comparadas com os hidrogramas de

cada uma das sete sub-bacias com dados observados, com  $R^2 < 0,62$  em duas sub-bacias para a calibração pela vazão máxima e  $R^2 = 0,54$  em uma sub-bacia pelo volume anual e  $R^2 > 0,79$  nas demais sub-bacias.

- V Para a validação utilizando vários critérios os resultados foram inferiores aos da calibração, porém razoavelmente bons considerando a distribuição dos escoamentos.
- V Um dos pontos que podemos atribuir o mau resultado da validação foi não ter sido levado em conta no modelo à área anterior a estação de Sítio Vassouras que representa uma área de 14850 km<sup>2</sup>, sabendo que as estações de Jardim de Piranhas e Sítio Acauã recebem contribuição do escoamento de Sítio Vassouras, então para dados de vazão que foram observados na estação de Sítio Acauã que possui uma área real de 37600 km<sup>2</sup> não poderão ser os mesmo que foram simulados pelo modelo que levou em consideração a área de Sítio Acauã com 22750 km<sup>2</sup>, e o mesmo acontece para a estação de Jardim de Piranhas.
- V Com relação ao efeito de escala dos valores dos parâmetros em relação à escala não mostrou tendência, possivelmente decorrente de o processo de calibração ter sido feito por bacia e não de maneira integrada haja vista as descontinuidades nos dados observados.

## CAPÍTULO 8

### 8. RECOMENDAÇÕES

#### 8.1. Recomendações

Com base nos estudos realizados, as seguintes recomendações podem ser feitas:

- X Verificar a validade do modelo utilizando outros critérios, como por exemplo, atribuindo diferentes pesos para os parâmetros calibrados por volumes e picos.
- X Incluir uma análise de incertezas na parametrização, o que pode ser feito já incluindo novas discretizações no Sistema Piranhas-Açu.
- X Realizar estudos de regionalização com base nas simulações considerando toda a bacia do rio Piranhas.
- X Avaliar o efeito dos pequenos açudes sobre os escoamentos simulados, haja vista que o modelo NAVMO é capaz de considerar a presença de reservatório na bacia existe.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- Batista, M. S. (2006). Análise de Incertezas no escoamento Simulado com o Modelo Distribuído NAVMO. Dissertação de mestrado, UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande – PB.
- Boyle, D. P.; Gupta, H. V.; Sorooshian S. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models: combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resour. Res.* 36(12) p3663-74.
- Braga, A.C. F. M. (2000). Efeitos de Fatores Climáticos e do Uso do Solo sobre o Escoamento em uma Região Semi-Árida da Paraíba. Dissertação de mestrado, Depto. Enga. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande – PB.
- Burrough, P. (1998) Dynamic modelling and geocomputation. In: Longley, P.A.; Brooks, S.M.; McDonnell, R.; Macmillan, B.; ed. *Geocomputation: a primer*. Chichester, John Wiley.
- Cadier, E. (1996). Hydrologie des Petis Bassins du Nordeste Brèsilien Semi-Aride: Typologie des Bassins et transposition Écoulements Annuels. *J. hydrol.*, 182: pp 117-141.
- Collischonn W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de doutorado, IPH-UFRGS p 194.
- Collischonn, W.; Tucci, C. E. M., (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. *RBRH*, v6, 1, 95-118.
- 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/UFPB, Campina Grande – PB.
- Diniz, L. S. (1994) Calibração Automática de modelos Chuva-Vazão Usando um Algoritmo Genético. Campina Grande. Dissertação de mestrado, depto. Enga. Civil, CCT/UFCG, Campina Grande – PB.
- 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.; Overland, H.; Kleeberg, H. B. (1991). O Modelo NAVMO de Simulação do Escoamento Superficial. IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, pp 337-346, Rio de Janeiro.

- 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.; 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
- 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. et al. (2006). Long-term runoff simulations with the model NAVMO for regional analyses in semi-arid regions of Brazil. In: 7th Int. Conf. on Hydroinformatics, Volume 2, 1535-1542, Nice-França.
- Fortunato, O. M. (2004). Simulação Hidrológica na bacia do Alto Paraíba com efeito da variabilidade do clima. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande – PB.
- Fread, D. L. (1985). Channel Routing. In: Hydrological Forecasting. Anderson, M. G., Burts, T. P. (editors). John Willey & Sons. Londres. U. K.
- Gupta H.; Sorooshian S.; Yapo P. O. (1998). Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and noncommensurable measures of information. Water Resour. Res. 34(4): p751-63.
- IBGE. (1995). Anuário Estatístico do Brasil. Brasília.
- Kleeberg, H. B.; Overland, H.; Paus, B. (1989). NAVMO, version 1.1 Niederschlag – Abfluss – Verdunstungs Modell. Documentation Universität Der Bundeswehr Mnchen, Alemanha.
- Klemes, V. (1986). Operation 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. Dissertação de mestrado, Depto. Enga. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande - PB.

- Ludwig, K. (1981). The program System FGMOD for calculation of Runoff Processes in River Basins. International Symposium On Rainfall – Runoff – Modeling; Mississippi.
- Maidment, D.R. (1993) GIS and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press. Cap. 14, p. 147-167.
- Mendonça, E. M.; Tucci, C. E. M. (1997). Escalas Hidrológicas. I. Conceitos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 1, p. 59-122, jan/ jun.
- McCuen, R.H. (1982). A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, Univ. of Maryland, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Oliveira, M. Q. C.; Medeiros, Y. D. P. (2001). Aplicações do Modelo SWAT na Avaliação de Impactos Decorrentes da Modificação no Uso do Solo em Bacias Hidrográficas. CDROM do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG
- Rodda, J.C.; Rodda, H.J.E. (2000). “Hydrological Forecasting” in Dealing with Natural Disasters. IAHS Publication, pp. 75-99.
- Sorooshian S.; Gupta, V. K. (1995). Model Calibration. In: Singh, V. P. (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Louisiana.
- Sorooshian S.; Gupta A. H. V.; Bastidas L. A. (1998). Calibration of hydrologic models using multi-objectives and visualization techniques. Final Report EAR 9418147. Dep. Hydrology & Water resources, University of Arizona 78p.
- Steyaert, L. T. (1993). A perspective on the state of environmental simulation modeling. Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, Chapter 3, pp 16-30.
- Tucci, C.E.M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Ed. da Universidade/ABRH/EDUSP, Porto Alegre–RS, 943 p.
- Tucci, C.E.M. (1998). Modelos hidrológicos. Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre–RS, 669 p.
- U. S. Departamento of Agriculture, Soil Conservation Service. (1972). National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chapter 4-10. n. p.
- Zakia, M.J.B. (1998). Identificação e Caracterização da Zona Ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de matas nativas. São Carlos. (Doutorado – Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo).



AESA. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/index.php>>.

Acesso em: 14 fev. 2007.

ANA. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 07 fev. 2007.

Aqüífero Guarani. Disponível em: <[http://www.oaquiferoguarani.com.br/fig1\\_2.htm](http://www.oaquiferoguarani.com.br/fig1_2.htm)>.

Acesso em: 13 mar. 2007.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Disponível em:

<<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>>. Acesso em: 13 mar. 2007.

DNIT. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/mapas>>. Acesso em: 13

mar. 2007.

Marca d'água. Disponível em: <<http://www.marcadagua.org.br/bacia2.htm>>. Acesso

em: 07 fev. 2007.

Marca d'água. Disponível em: <<http://www.marcadagua.org.br/PiranhasAcu.pdf> -

arquivo (piranhasacu)>. Acesso em: 09 fev. 2007.

## ANEXOS

Anexo A: Arquivo de dados da Bacia conforme o Modelo NAVMO para simulação Hidrológica no Sistema Piranhas - Açu.

Anexo B: Arquivo de dados de evaporação média conforme o Modelo NAVMO.

Anexo C: Diagrama de Barras dos dados dos 76 Postos Pluviométricos encontrados no site da Hidro-Web.

Anexo D: Postos Pluviométricos Selecionados.

**Anexo A - Arquivo de dados da Bacia conforme o Modelo NAVMO para simulação Hidrológica no Sistema Piranhas-Açu.**

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	1850.00	32.390	720.000	260.000	688.121	9213.71	1
1	286950	286949						2
1								3
1	1.42	62.0						4
2	200	712.90	15.660	240.000	180.000	690.533	9235.79	1
2	286949	269028	0.0038	4.0	30.0	30.0	30.0	2
2	2	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
2	0.38	41.0						4
3	300	767.10	12.390	180.000	160.000	686.120	9253.31	1
3	269028	241498	0.0036	6.0	50.0	50.0	50.0	2
3	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
3	0.16	41.0						4
4	400	423.60	24.10	175.000	130.000	674.601	9275.65	1
4	241498	204003	0.003	8.0	100.0	100.0	100.0	2
4	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
4	0.19	53.0						4
5	500	954.42	22.275	240.000	180.000	643.862	9258.03	1
5	249560	249559						2
5								3
5	0.27	53.0						4
6	600	1180.18	27.930	240.000	180.000	652.114	9277.20	1
6	249559	228173	0.0019	13.0	100.0	100.0	100.0	2
6	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
6	0.21	53.0						4
7	700	561.80	13.700	200.000	160.000	663.871	9294.49	1
7	228173	204003	0.0018	14.0	100.0	100.0	100.0	2
7	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
7	0.29	53.0						4
8	800	50.00	5.000	130.000	120.000	681.909	9291.37	1
8	204003	199793	0.0014	14.0	100.0	100.0	100.0	2
8	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
8	0.20	53.0						4
9	900	734.72	15.020	180.000	140.000	676.597	9312.78	1
9	199793	179359	0.0016	15.0	100.0	100.0	100.0	2
9	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
9	0.27	80.0						4
10	1000	842.65	20.540	380.000	320.000	774.155	9241.66	1
10	284223	284222						2
10								3
10	0.29	41.0						4
11	1100	875.28	22.41	320.000	240.000	757.783	9255.16	1
11	284222	262184	0.0061	3.0	30.0	30.0	30.0	2
11	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
11	0.36	41.0						4
12	1200	172.07	11.21	260.000	220.000	747.282	9267.35	1
12	262184	251303	0.0059	4.0	35.0	35.0	35.0	2
12	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3

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						
12	0.36	41.0						4
13	1300	4390.00	21.0	220.000	160.000	756.054	9282.38	1
13	251303	211998	0.0036	5.0	50.0	50.0	50.0	2
13	4.0	100.0	75.0	40.0	5.0	5.0		3
13	0.28	41.0						4
14	1400	3420.00	24.844	360.000	130.000	727.818	9292.55	1
14	211998	199219	0.0041	6.5	80.0	80.0	80.0	2
14	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
14	0.93	52.0						4
15	1500	235.00	6.74	130.000	125.000	693.903	9298.90	1
15	199219	179359	0.0037	9.0	90.0	90.0	90.0	2
15	2.0	50.0	50.0	40.0	5.0	5.0		3
15	0.07	53.0						4
16	1600	963.00	20.415	125.000	85.000	695.610	9326.98	1
16	179359	148391	0.0014	17.0	150.0	150.0	150.0	2
16	4.0	100.0	100.0	40.0	5.0	5.0		3
16	0.20	53.0						4
17	1700	627.27	19.921	120.000	65.000	704.026	9341.39	1
17	148391	131016	0.0011	18.0	200.0	200.0	200.0	2
17	4.0	100.0	100.0	40.0	5.0	5.0		3
17	0.28	53.0						4
18	1800	992.31	27.18	140.000	60.000	713.639	9354.23	1
18	131016	111300	0.009	19.0	200.0	200.0	200.0	2
18	4.0	100.0	100.0	40.0	5.0	5.0		3
18	0.29	53.0						4
19	1900	804.32	27.17	160.000	80.000	725.948	9362.44	1
19	111300	97043	0.006	14.0	200.0	200.0	200.0	2
19	4.0	100.0	100.0	40.0	5.0	5.0		3
19	0.30	53.0						4
20	2000	2193.38	58.29	260.000	80.000	762.238	9359.76	1
20	97043	84755	0.006	14.0	200.0	200.0	200.0	2
20	4.0	100.0	100.0	40.0	5.0	5.0		3
20	0.31	53.0						4

## Anexo B: Arquivo de dados de Evaporação Média conforme o modelo NAVMO

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
2	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
3	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
4	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
5	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
6	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
7	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
8	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
9	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
10	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
11	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
12	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
13	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
14	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
15	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
16	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
17	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
18	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
19	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87
20	5.43	3.71	2.94	5.87	3.70	4.38	5.40	6.86	7.57	7.56	7.49	6.87

Anexo C : Diagrama de Barras dos dados dos 76 Postos Pluviométricos encontrados no site da Hidro-Web

Postos	Anos de Dados de 1910 a 1998
1 Açude Alagoinha	
2 Açude Bonito	
3 Açude Medubim	
4 Açude oiticica	
5 Açude Pataxó	
6 Açude Sta Cruz	
7 Afonso Bezerra	
8 Aguiar	
9 Alexandria	
10 Angicos	
11 Antenor Navarro	
12 Augusto Severo	
13 Barra de Sta Rosa	
14 Bonito de Sta Fé	
15 Caicó	
16 Cajazeirinhas	
17 Carnaubais	
18 Catingueira	
19 Catolé do Rocha	
20 Condado	
21 Cuité	
22 Cuncas	
23 Currais Novos	
24 Desterro	
25 Equador	
26 Faz Angicos	
27 Governador	
28 Gurjão	
29 Hipólito	
30 Itapetim	
31 Itaú	
32 Jericó	
33 João Dias	
34 Juazeirinho	
35 Jucurutu	
36 Lagoa Nova	
37 Lajes	
38 Mãe d'água dentro	
39 Malta	
40 Medubim de baixo	
41 Monsenhor	
42 Mossoró	
43 Olho D'Água	
44 Olivedos	
45 Palma	
46 Parelhas	
47 Passagem	
48 Patú	
49 Pedra Lavrada	
50 Pedras de Abelhas	
51 Pendências	
52 Piancó	
53 Picuí	
54 Pombal	
55 Salgadinho	
56 Santana	
57 Santana dos Matos	
58 Santo André	
59 São Francisco	
60 S João do Sabugi	
61 S J da L Tapada	
62 S J da Passagem	
63 S J do B do Cruz	
64 S J do Espinharas	
65 S J do Piranhas	
66 S J dos Cordeiros	
67 S Mamede	
68 S Rafael	
69 S Tomé	
70 Sítio Jardim	
71 Sítio São Vicente	
72 Sítio Volta	
73 Sossego	
74 Tenente Ananias	
75 Upanema	
76 Volta	

**Anexo D: Postos Pluviométricos Seleccionados.**

	Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)
				gg	mm	ss	gg	mm	ss	
1	Açude Alagoinha	637010	RN	6	27	44	37	18	9	120
2	Açude Bonito	638044	RN	6	12	46	38	25	32	500
3	Açude Medubim	536029	RN	5	38	0	36	56	0	73
4	Açude Oiticica	637008	RN	6	9	0	37	8	0	80
5	Açude Pataxó	536023	RN	5	37	0	36	50	0	70
6	Açude Santa Cruz	537039	RN	5	44	0	37	47	0	70
7	Afonso Bezerra	536032	RN	5	30	0	36	30	0	80
8	Aguiar	738025	PB	7	5	0	38	11	0	280
9	Alexandria	638037	RN	6	25	0	38	1	0	315
10	Angicos	536024	RN	5	40	0	36	36	0	109
11	Antenor Navarro	638032	PB	6	44	7	38	26	53	240
12	Augusto Severo	537034	RN	5	52	2	37	18	53	65
13	Barra de Santa Rosa	636032	PB	6	43	0	36	4	0	440
14	Bonito de Santa Fé	738022	PB	7	19	0	37	31	0	575
15	Caicó	637039	RN	6	27	4	37	5	26	143
16	Cajazeirinhas	637024	PB	6	58	0	37	47	0	400
17	Carnaubais	536027	RN	5	20	0	36	50	0	40
18	Catingueira	737021	PB	7	8	0	37	37	0	290
19	Catolé do Rocha	637025	PB	6	21	0	37	45	0	250
20	Conceição	738020	PB	7	33	0	38	31	0	370
21	Condado	637028	PB	6	54	0	37	37	0	260
22	Cuité	636035	PB	6	29	0	36	9	0	620
23	Cuncas	738007	CE	7	6	0	37	44	0	480
24	Currais Novos	636025	RN	6	16	0	36	31	0	350
25	Desterro	737018	PB	7	17	0	37	6	0	590
26	Equador	636024	RN	6	57	0	36	43	0	500
27	Fazenda Angicos	537035	RN	5	17	20	37	17	20	109
28	Governador	537036	RN	5	27	0	37	30	54	6.4
29	Gurjão	736016	PB	7	16	0	36	29	0	480
30	Hipólito	537012	RN	5	27	0	37	13	0	230
31	Itapetim	737031	PE	7	22	0	37	11	0	630
32	Itaú	537010	RN	5	50	0	37	59	0	130
33	Jericó	637036	PB	6	33	0	37	49	0	215
34	João Dias	637002	RN	6	16	0	37	48	0	310
35	Juazeirinho	736015	PB	7	4	0	36	35	0	570
36	Jucurutu	637011	RN	6	2	0	37	1	0	75
37	Lagoa Nova	636012	RN	6	6	0	36	28	0	700
38	Lajes	536009	RN	5	42	0	36	15	0	198
39	Mãe D'Água de dentro	737015	PB	7	15	0	37	26	0	370
40	Malta	637031	PB	6	54	0	37	32	0	340
41	Medubim de baixo	536035	RN	5	37	55	36	54	58	73
42	Monsenhor Honório	536003	RN	5	21	0	36	32	0	65
43	Mossoró	537037	RN	5	13	10	37	21	44	15
44	Olho D'Água	737011	PB	7	13	0	37	46	0	275
45	Oliveiros	636036	PB	5	59	0	36	15	0	545
46	Palma	637016	RN	6	40	0	37	1	0	190
47	Parelhas	636018	RN	6	41	0	36	40	0	325
48	Passagem	737010	PB	7	8	0	37	4	0	340
49	Patú	637000	RN	6	6	0	37	38	0	305
50	Pedra Lavrada	636037	PB	6	45	0	36	28	0	525
51	Pedras de Abelhas	537008	RN	5	35	36	37	41	3	70
52	Pendências	536036	RN	5	15	26	36	43	24	20
53	Piancó	737006	PB	7	12	51	37	55	33	250
54	Picuí	636038	PB	6	31	0	36	22	0	450

Continua...

**Anexo D: Postos Pluviométricos Seleccionados (Continuação).**

	Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)
				gg	mm	ss	gg	mm	ss	
55	Pombal	637032	PB	6	46	0	37	49	0	178
56	Salgadinho	736010	PB	7	6	0	36	51	0	410
57	Santana	537016	RN	5	20	0	37	18	0	115
58	Santana dos Matos	536018	RN	5	58	0	36	39	0	140
59	Santo André	736005	PB	7	13	0	36	38	0	470
60	São João do Sabugi	637014	RN	6	43	0	37	12	0	175
61	São José da Lagoa Tapada	638049	PB	6	56	0	38	10	0	260
62	São José da Passagem	636009	RN	6	1	0	36	37	0	420
63	São José de Espinharas	637034	PB	6	51	0	37	20	0	300
64	São José de Piranhas	738011	PB	7	7	0	38	30	0	300
65	São José do Brejo do Cruz	637035	PB	6	11	0	37	17	0	120
66	São José dos Cordeiros	736011	PB	7	23	0	36	49	0	610
67	São Mamede	637037	PB	6	55	0	37	6	0	270
68	São Rafael	536031	RN	5	48	0	36	55	0	70
69	São Tomé	536017	RN	5	58	0	36	4	0	175
70	Sítio Jardim	637019	RN	6	23	0	37	21	0	130
71	Sítio S Vicente	638050	PB	6	37	0	38	20	0	420
72	Sítio Volta	636045	RN	6	35	37	36	47	6	220
73	Sossego	636040	PB	6	46	0	36	15	0	600
74	Tenente Ananias	638045	RN	6	28	0	38	11	0	380
75	Upanema	537019	RN	5	38	37	37	15	19	45
76	Volta	537001	RN	5	30	0	37	11	0	235