

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO COM O MODELO
NAVMO E REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA
NO SISTEMA PIRANHAS/PB-AÇU/RN**

EDUARDO BEZERRA RANGEL

Campina Grande
Data: MARÇO / 2009

**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 E SANITÁRIA**

**SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO COM O MODELO NAVMO E
REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NO SISTEMA PIRANHAS/PB-AÇU/RN**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EDUARDO BEZERRA RANGEL

**Campina Grande - PB
Março/2009**

EDUARDO BEZERRA RANGEL

**SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO COM O MODELO NAVMO E
REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NO SISTEMA PIRANHAS/PB-AÇU/RN**

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 E SANITÁRIA

Orientador: Prof. EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

**Campina Grande – PB
Março/2009**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

R196s

2009 Rangel, Eduardo Bezerra

Simulação do escoamento com o modelo NAVMO e regionalização hidrológica no sistema Piranhas/PB – Açu/RN / Eduardo Bezerra Rangel. — Campina Grande, 2009.

122f. : il. Col.

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

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo.

1. Regionalização Hidrológica. 2. Simulação do Escoamento. Título.

..... CDU – 556.16(043)

EDUARDO BEZERRA RANGEL

**SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO COM O MODELO NAVMO E
REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NO SISTEMA PIRANHAS/PB-AÇU/RN**

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.

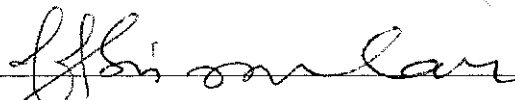
Aprovada em: 26 de março de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA



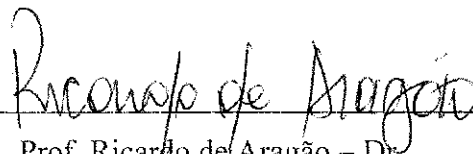
Prof. Eduardo Eneas de Figueiredo - PhD

Presidente – Orientador (UAEC / CTRN / UFCG - PB)



Prof. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan - PhD

Examinador Interno (UAEC / CTRN / UFCG - PB)



Prof. Ricardo de Aragão – Dr.

Examinador Externo (UFS - SE)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **José Rangel e Maria das Neves**, minha esposa, **Dayane**, e aos meus irmãos, **Bianca, Susana e Alan**, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por tudo que Ele me permite realizar.

Aos meus pais, José Rangel e Maria das Neves, que sempre me apoiaram, estiveram do meu lado e trabalharam muito para que eu alcançasse meus objetivos.

A minha esposa, Dayane, pelo amor, carinho, por sua presença e ajuda nos momentos difíceis pelos quais passei.

As minhas irmãs, Bianca e Susana, pelo apoio, em todos os momentos.

Ao professor orientador Eduardo Eneas de Figueiredo, pela dedicação, paciência e disponibilidade para me auxiliar no desenvolvimento da pesquisa.

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

Aos funcionários e colegas do laboratório de Hidráulica da UFCG, pela amizade e incentivo recebido.

Aos examinadores Vajapeyam S. Srinivasan e Ricardo de Aragão, pela contribuição que deram para a melhoria do presente trabalho.

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

Ao CNPq pelo apoio através do projeto de pesquisa MODHIPB – Processo N° 474430/2006-5.

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

Em suma, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação.

RESUMO

Nesta pesquisa foi realizada uma análise regional para estabelecer relações analíticas para determinação de variáveis hidrológicas de interesse ao planejamento e a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN no Nordeste do Brasil. Para tanto, foram utilizadas séries de vazões anuais médias e máximas de longo período, simuladas com o modelo NAVMO utilizando valores médios dos parâmetros das sub-bacias, previamente calibrados, bem como vazões com 95% de garantia. Devido a falta de séries observadas para comparação com as simulações, a homogeneidade e consistência das séries simuladas foram investigadas através do teste de dupla massa, testes paramétricos e não paramétricos, bem como do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) no ajustamento de algumas distribuições de probabilidade às frequências dos dados, ao nível de 5% de significância. Através de análises de correlação e regressão, simples e múltipla, envolvendo combinações entre variáveis hidrológicas e características físicas e climáticas das bacias, foram obtidas equações que podem ser utilizadas para determinar as variáveis em seções sem dados na região. Os testes paramétricos e não paramétricos indicaram algumas diferenças nas características das séries. Os resultados do teste de dupla massa mostraram que, em geral, as séries simuladas são homogêneas. O teste K-S mostrou que, para a região, a distribuição Pearson III pode ser utilizada para estimar as vazões máximas e médias, e particularmente a distribuição Gama para as vazões médias. Isolinhas dos parâmetros da distribuição Pearson III e da equação potencial da curva de permanência foram preparadas para a região de estudo. As análises de correlação e regressão mostraram que as vazões foram bem explicadas pelas características da região de estudo.

ABSTRACT

In this research, regional analyses techniques were applied to long-term simulations of mean and maximum annual discharges, obtained with the model NAVMO, as well as discharges with 95% of permanence, in order to establish equations to estimate hydrologic variables for catchment planning and decision making in the Piranhas/PB-Açu/RN region in the Northeast region of Brazil. Owing to the lack of observed data for comparisons, the homogeneity and consistency of the simulated series were investigated through the double mass test, parametric and non-parametric tests, as well as the test of Kolmogorov-Smirnov (K-S) to investigate some statistic distributions to represent the frequencies of the simulated data at the level of 5% of significance. Simple and multiple regression analyses were utilized to establish equations capable of estimating hydrological variables in terms of climatic and physic characteristics of the region at non-observed sites. The results showed that, in general, the simulated series are homogenous. The results from the parametric and non-parametric tests suggest that the statistical characteristics of some series do not match. The K-S test showed that, for the study region the distribution of Pearson III can be utilized to estimate the discharges in general, and particularly the Gama distribution for the mean annual discharges. Maps for the parameters of the Pearson III distribution, and of the equation established to estimate the discharges with 95% of permanence, were prepared for the region. Finally, the regression analyses showed that the hydrologic variables were well explained by the characteristics of the region

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos geral e específicos.....	2
1.2 Organização da Dissertação.....	2
2 REVISÃO LITERÁRIA.....	3
2.1 Modelos Hidrológicos.....	3
2.1.1 Tipos e Classificação de Modelos.....	3
2.1.2 Pesquisas recentes utilizando modelos de simulação.....	5
2.2 Regionalização Hidrológica.....	7
2.3 Metodologias utilizadas na regionalização.....	8
2.3.1 Regionalização de parâmetros.....	8
2.3.2 Regionalização de variáveis.....	9
2.3.3 Regionalização de indicadores regionais.....	9
2.3.4 Funções Regionais.....	11
2.4 Séries Temporais para Regionalização.....	14
2.4.1 Série de vazões médias.....	14
2.4.2 Série de vazões máximas.....	14
2.4.3 Série de vazões mínimas.....	14
2.4.4 Série de vazões com garantia.....	14
2.5 Análise Estatística.....	15
2.5.1 Testes Paramétricos.....	15
2.5.2 Testes não Paramétricos.....	16
2.5.3 Homogeneidades de Séries.....	17
2.5.4 Teste de Distribuições de Probabilidade.....	17
2.6 Distribuições de Probabilidade.....	18

2.6.1 Distribuição Normal	18
2.6.2 Distribuições Aplicadas a Eventos Extremos.....	19
3 O MODELO NAVMO	21
3.1 Características gerais	21
3.2 Geração dos escoamentos no modelo.....	23
3.3 Cálculo da precipitação média nas sub-bacias no modelo	24
3.4 Cálculo da capacidade dos reservatórios do solo	25
3.5 Cálculo da evapotranspiração atual	26
3.6 Cálculo do déficit da umidade do solo	26
3.7 Condições para o transbordamento	27
3.8 Cálculo da lâmina do escoamento superficial direto.....	28
3.9 Cálculo da lâmina do escoamento sub-superficial	28
3.10 Cálculo da lâmina do escoamento subterrâneo	28
3.11 Hidrogramas dos escoamentos	29
3.12 Escoamento total	30
3.13 Propagação do escoamento nos canais.....	30
3.14 Resultados gerados pelo modelo NAVMO	31
4 ÁREA DE ESTUDO	32
4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu	32
4.1.1 Características Climáticas e Fisiográficas	33
4.2 Banco de Dados.....	35
4.2.1 Dados Hidroclimatológicos.....	35
5 ABORDAGENS PARA AS SIMULAÇÕES	39
5.1 Modelagem da região	39
5.2 Modelagem do Escoamento.....	40
5.3 Parâmetros utilizados nas simulações	41
5.4 Escolha do banco de dados para simulações	42
5.5 Análise dos resultados da Simulação.....	43
5.5.1 Serra Negra do Norte.....	43
5.5.2 Jardim de Piranhas.....	44
5.5.3 Sítio Volta.....	45

5.5.4 São Fernando	46
5.5.5 Sítio Acauã	47
5.5.6 Patos	48
5.5.7 Caicó.....	49
5.6 Comparação das séries simuladas com as observadas.....	50
5.6.1 Serra Negra do Norte.....	50
5.6.2 Jardim de Piranhas.....	51
5.6.3 Sítio Volta.....	52
5.6.4 São Fernando	53
5.6.5 Sítio Acauã	54
5.7 Comentários Finais.....	55
6 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....	56
6.1 Variáveis Físicas e Climáticas.....	56
6.2 Variáveis Hidrológicas: Séries Temporais	56
6.3 Análise de Estacionariedade.....	57
6.3.1 Testes Paramétricos	57
6.3.2 Testes não paramétricos.....	59
6.3.3 Homogeneidade das séries	60
6.4 Teste de Ajustamento de Distribuição de Probabilidade.....	61
6.4.1 Teste de Aderência (Teste K-S).....	61
6.5 Relações entre Vazões, Período de Retorno e Área da Bacia	63
6.6 Relações entre indicador regional, período de retorno e características da bacia	65
6.6.1 Regionalização para o índice de cheia (a_T) com regressão simples	66
6.6.2 Regionalização para Q_{mlp} com regressões múltiplas	66
6.6.3 Regionalização para $Q_{95\%}$ com regressões múltiplas	67
6.6.4 Regressões entre vazões das distribuições e características das bacias.....	68
6.7 Regionalização de Parâmetros.....	70
7 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	82
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
REFERÊNCIAS	86
ANEXOS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Fluxograma do modelo NAVMO	22
Figura 3.2 Representação dos processos de precipitação-vazão-evaporação no modelo NAVMO	23
Figura 3.3 Esquema representativo do método do Ponto Reticular modificado.	24
Figura 3.4 Seção transversal do rio no modelo.	31
Figura 4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu.....	32
Figura 4.2 Rede Hidrométrica na Bacia Hidrográfica Piranhas – Açu.	36
Figura 5.1 Divisão da bacia Piranhas/PB-Açu/RN em sub-bacias.....	39
Figura 5.2 Hidrogramas simulados e observados na bacia de Serra Negra do Norte para o ano de 1948 com parâmetros calibrados pela vazão máxima.....	40
Figura 5.3 Hidrogramas simulados e observados na bacia de Acauã para o ano de 1975 com parâmetros calibrados pelo volume anual.....	41
Figura 5.4 Simulação das vazões máximas na seção de Serra Negra do Norte.	43
Figura 5.5 Simulação das vazões médias na seção de Serra Negra do Norte.....	44
Figura 5.6 Simulação das vazões máximas na seção de Jardim de Piranhas.	44
Figura 5.7 Simulação das vazões médias na seção de Jardim de Piranhas.	45
Figura 5.8 Simulação das vazões máximas na seção de Sítio Volta.	45
Figura 5.9 Simulação das vazões médias na seção de Sítio Volta.	46
Figura 5.10 Simulação das vazões máximas na seção de São Fernando.....	46
Figura 5.11 Simulação das vazões médias na seção de São Fernando.....	47
Figura 5.12 Simulação das vazões máximas na seção de Sítio Acauã.....	47
Figura 5.13 Simulação das vazões médias na seção de Sítio Acauã.	48
Figura 5.14 Simulação das vazões máximas na seção de Patos.....	48
Figura 5.15 Simulação das vazões médias na seção de Patos.	49
Figura 5.16 Simulação das vazões máximas na seção de Caicó.	49
Figura 5.17 Simulação das vazões médias na seção de Caicó.....	50
Figura 5.18 Comparação das Vazões Máximas Simuladas na seção de Serra Negra do Norte.....	50
Figura 5.19 Comparação das Vazões Médias Simuladas na seção de Serra Negra do Norte.....	51
Figura 5.20 Comparação das Vazões Máximas Simuladas na seção de Jardim de Piranhas.....	51

Figura 5.21 Comparação das Vazões Médias Simuladas na seção de Jardim de Piranhas.....	52
Figura 5.22 Comparação das Vazões Máximas Simuladas na seção de Sítio Volta.	52
Figura 5.23 Comparação das Vazões Médias Simuladas na seção de Sítio Volta.	53
Figura 5.24 Comparação das Vazões Máximas Simuladas na seção de São Fernando.	53
Figura 5.25 Comparação das Vazões Médias Simuladas na seção de São Fernando.	54
Figura 5.26 Comparação das Vazões Máximas Simuladas na seção de Sítio Acauã.	54
Figura 5.27 Comparação das Vazões Médias Simuladas na seção de Sítio Acauã.	55
Figura 6.1 Análise de Dupla Massa das séries de vazões máximas simuladas.	60
Figura 6.2 Análise de Dupla Massa das séries de vazões médias simuladas.	60
Figura 6.3 Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro a (Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN).....	72
Figura 6.4 Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro b (Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN).....	73
Figura 6.5 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro α (Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN).....	74
Figura 6.6 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro β (Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN).....	75
Figura 6.7 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro γ (Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN).....	76
Figura 6.8 Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro a (Estado da Paraíba).....	79
Figura 6.9 Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro b (Estado da Paraíba).....	79
Figura 6.10 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro α (Estado da Paraíba).....	80
Figura 6.11 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro β (Estado da Paraíba).....	80
Figura 6.12 Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro γ (Estado da Paraíba).....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Período de dados dos postos fluviométricos da região.....	35
Tabela 4.2 Postos Pluviométricos da região.....	37
Tabela 4.3 Evaporação média mensal em São Gonçalo.....	38
Tabela 5.1 Valores médios dos parâmetros calibrados pela vazão máxima.....	41
Tabela 5.2 Valores médios dos parâmetros calibrados pelo volume.....	41
Tabela 5.3 Postos pluviométricos selecionados para a série de 1911 a 1983.....	42
Tabela 6.1 Variáveis físicas e climáticas das sub-bacias da região.....	56
Tabela 6.2 Curvas de Permanência para as sete sub-bacias da região	57
Tabela 6.3 Teste de Snedecor para vazões máximas ($\alpha = 5\%$)	58
Tabela 6.4 Teste de Snedecor para vazões médias ($\alpha = 5\%$)	58
Tabela 6.5 Teste de Student para vazões máximas ($\alpha = 5\%$).....	58
Tabela 6.6 Teste de Student para vazões médias ($\alpha = 5\%$)	59
Tabela 6.7 Teste de Wilcoxon para vazões máximas ($\alpha = 5\%$).....	59
Tabela 6.8 Teste de Wilcoxon para vazões médias ($\alpha = 5\%$).....	59
Tabela 6.9 Teste K-S para distribuição Normal (Q_{med})	61
Tabela 6.10 Teste K-S para distribuição Pearson III (Q_{max}).....	62
Tabela 6.11 Teste K-S para distribuição Pearson III (Q_{med}).....	62
Tabela 6.12 Teste K-S para distribuição Gama (Q_{max}).....	62
Tabela 6.13 Teste K-S para distribuição Gama (Q_{med}).....	62
Tabela 6.14 Teste K-S para distribuição Gumbel (Q_{max})	63
Tabela 6.15 Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Pearson III).....	63
Tabela 6.16 Regressões entre vazões médias e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Pearson III).....	64
Tabela 6.17 Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gama).....	64
Tabela 6.18 Regressões entre vazões médias e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gama).....	64
Tabela 6.19 Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gumbel)	65
Tabela 6.20 Indicadores regionais e vazões das distribuições para a regionalização.....	66
Tabela 6.21 Equações de Regressões Simples para a_T (Q_{max}).....	66

Tabela 6.22 Equações de regressões múltiplas para Q_{mlp}	67
Tabela 6.23 Equações de regressões múltiplas para $Q_{95\%}$	67
Tabela 6.24 Equações de Regressões Múltiplas para Q_2 (Distribuição Pearson III – Q_{max})	68
Tabela 6.25 Equações de Regressões Múltiplas para Q_2 (Distribuição Pearson III – Q_{med})	68
Tabela 6.26 Equações de Regressões Múltiplas para Q_2 (Distribuição Gama – Q_{max})...	69
Tabela 6.27 Equações de Regressões Múltiplas para Q_2 (Distribuição Gama – Q_{med})...	69
Tabela 6.28 Equações de Regressões Múltiplas para Q_2 (Distribuição Gumbel – Q_{max})	70
Tabela 6.29 Parâmetros da curva de permanência (Q_{med})	71
Tabela 6.30 Parâmetros da distribuição de Pearson III (Q_{max})	71
Tabela 6.31 Parâmetros da curva de permanência (Q_{med}) para a Paraíba.....	77
Tabela 6.32 Parâmetros da distribuição de Pearson III (Q_{max}) para a Paraíba	78

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A água, recurso natural essencial a vida, está ficando cada vez mais escassa devido ao crescimento populacional e econômico. Então, o planejamento, o gerenciamento e a gestão dos recursos hídricos se tornam indispensáveis para o desenvolvimento sustentável, principalmente em regiões semi-áridas.

Um bom planejamento, gerenciamento e gestão dos recursos hídricos necessitam de dados hidrológicos representativos e de confiança para avaliar o potencial hidrológico e os recursos hídricos disponíveis nas bacias hidrográficas. Especialistas têm se motivado para estudar métodos de estimativa de processos hidrológicos em regiões sem informação, devido à dificuldade de obter esses dados (Tucci, 1998).

A falta de dados proveniente da rede hidrométrica é um grande problema, pois, na maioria dos casos, as estações de medição não cobrem toda a região de interesse. Além disso, quando se tem dados disponíveis, na maioria das vezes as séries possuem poucos anos com informação, geralmente com falhas nas séries temporais, e podem não ser representativas.

Duas técnicas têm sido utilizadas para suprir esses problemas: o uso de modelos de simulação hidrológica (Tucci, 1998; Figueiredo, 1998) e a regionalização hidrológica (Eletrobrás, 1985; Crispim, 2005), fundamentada na homogeneidade fisiográfica e climatológica de uma região.

A regionalização é uma técnica que aproveita os dados oriundos da rede de medição de dados hidrológicos e utiliza ferramentas estatísticas para transferir informações de um local para outro, viabilizando, assim, a determinação de uma dada variável em locais sem monitoramento (Tucci, 2002).

Nesta pesquisa foram utilizadas vazões simuladas com o modelo distribuído NAVMO, baseando-se em valores médios de alguns parâmetros definidos por Costa (2008), para anos classificados como secos, normais, e úmidos, em 7 bacias do sistema Piranhas/PB-Açu/RN. Sendo uma continuidade dos estudos realizados por Crispim (2005) na bacia do alto rio Piranhas/PB, que foi feito até a seção de Sítio Vassouras de 14850 km² de área (ver figura 4.2). As simulações foram feitas para um período de 73 anos (1911 a 1983), com a maioria dos anos sem dados medidos de vazão, requerendo, portanto, o emprego de testes estatísticos para a investigação de homogeneidade e consistência das séries simuladas. O teste de dupla massa (homogeneidade regional), os testes paramétricos de Student e de Snedecor (estacionaridade), e o teste não paramétrico de Wilcoxon (população) foram empregados às

séries simuladas, séries estas que serviram de base para a regionalização hidrológica das vazões médias de longo período, vazões máximas e com 95% de garantia. O índice de cheia e curvas de permanência foram utilizados como indicadores regionais, para o desenvolvimento da pesquisa, bem como algumas distribuições de probabilidade foram testadas com o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para investigar o seu ajustamento às frequências observadas. Foram feitas análises de correlação e regressão, simples e múltipla, envolvendo diversas combinações entre algumas variáveis e características climáticas e físicas das bacias.

1.1 Objetivos geral e específicos

O principal objetivo desta pesquisa foi realizar a regionalização hidrológica na bacia hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN utilizando dados simulados com o modelo distribuído NAVMO. Da regionalização resultarão relações funcionais que darão suporte à estimativa de variáveis hidrológicas de interesse ao planejamento, gerenciamento e gestão de recursos hídricos na região.

Os objetivos específicos da pesquisa são citados a seguir:

- Simular séries de longo período, de vazões máximas e médias, com parâmetros médios calibrados por Costa (2008);
- Analisar a homogeneidade e consistência das séries simuladas através de técnicas estatísticas;
- Verificar as distribuições de probabilidade que se ajustem às frequências dos dados simulados, que servirão para estimar vazões com diferentes períodos de retorno;
- Estabelecer funções através de análise de correlação, simples e múltipla, para poder estimar a variável hidrológica de interesse em locais específicos da região de estudo.

1.2 Organização da Dissertação

O capítulo 2 apresenta uma revisão sobre o tema desta dissertação bem como as metodologias de regionalização. No capítulo 3 é apresentado o modelo NAVMO. O capítulo 4 mostra a área de estudo e os dados disponíveis. O capítulo 5 discute a abordagem para as simulações das séries e os resultados. O capítulo 6 apresenta a regionalização hidrológica. No capítulo 7 estão as conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 Modelos Hidrológicos

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, auxiliando no entendimento desta realidade e obtendo respostas para diferentes entradas. O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento desses processos numa bacia hidrográfica (Tucci, 1998).

Um mesmo processo pode ser representado de diferentes maneiras, sendo algumas mais apropriadas para determinados casos. Desse modo, não existe um modelo único que seja o melhor, e sim, pode existir aquele que melhor descreve um fenômeno.

Um modelo que relaciona a precipitação numa dada bacia hidrográfica e a consequente vazão gerada no exutório da bacia, usualmente denominado modelo chuva-vazão, é de extrema importância no processo de avaliação de projetos de recursos hídricos, pois na maioria dos casos, o tamanho das séries históricas de vazão é relativamente curto quando comparado com as de medição de precipitação. Verifica-se também a ausência de dados de vazão (e em alguns casos de precipitação) em certos meses das séries históricas.

Esses problemas são bastante encontrados na região Nordeste do Brasil. Além disso, mesmo quando se dispõe de dados razoáveis de precipitação, o conjunto de pares de medição precipitação-vazão é ainda relativamente pequeno para a parametrização de modelos clássicos chuva-vazão. Assim, modelos chuva-vazão que produzem bons resultados utilizando séries históricas curtas são de grande valia e utilidade em hidrologia, como por exemplo em estudos de regionalização hidrológica. Quando bem calibrados e validados, podem ser utilizados para gerar séries de dados e resolver o problema da falta de dados bem como serem utilizados na análise regional (Crispim, 2005; Nunes, 2005).

2.1.1 Tipos e Classificação de Modelos

Segundo Tucci (1998), os modelos podem ser físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam o protótipo por um modelo em escala menor. O modelo analógico vale-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos, para modelar no sistema mais conveniente, o processo desejado. Já os modelos matemáticos são os que tentam representar os processos através de equações matemáticas.

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 (contínuos ou discretos), e a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos).

Os modelos distribuídos foram desenvolvidos com o objetivo de modelar os processos hidrológicos considerando as variabilidades climáticas e espaciais da bacia, sendo que esses modelos utilizam, em geral, as equações da continuidade e da dinâmica dos processos envolvidos, procurando integrar os processos físicos que ocorrem na bacia (Tucci, 1998).

A geração do escoamento é influenciada pela precipitação, cobertura vegetal, relevo, forma da bacia, tipo e uso de solo. Assim, os modelos distribuídos necessitam que a bacia hidrográfica seja dividida em áreas menores homogêneas para uma melhor parametrização e verificação da sua eficácia.

Em geral, a utilização de um modelo é dividida nas seguintes etapas:

- Calibração ou estimativa dos parâmetros do modelo;
- Validação ou verificação da validade dos parâmetros;
- Simulação de processos.

A fase de calibração é aquela onde os parâmetros devem ser determinados segundo um ajuste para que as simulações feitas pelo modelo se aproximem bem dos dados observados das variáveis que estejam sendo simuladas.

A calibração pode ser manual ou automática (Diniz, 1994). Na calibração manual pode-se utilizar o processo de tentativa e erro, ou seja, aquele em que o modelador manipula os parâmetros até encontrar as melhores respostas, ganhando uma grande experiência e conhecimento sobre o sistema. Porém, esse tipo de calibração se torna exaustiva, tanto para modeladores inexperientes como para experientes. Na calibração automática, perde-se um pouco desta sensibilidade, mas se ganha no processo de rapidez na geração de resultados já que ela é realizada por funções ou algoritmos pré-definidos que dão maior rapidez e agilidade ao processo de busca de respostas.

Segundo Tucci (1998) têm-se os seguintes tipos de calibração: a) medida direta, que consiste na obtenção dos valores diretamente em campo ou mapas; b) amostragem, quando o valor é uma amostra representativa e é aplicada sobre todo o sistema; c) ajuste por tentativa e erro, em que com as variáveis de entrada e saída em mãos, busca-se o melhor ajuste dos hidrogramas, a partir dos parâmetros; d) ajuste por otimização, quando se busca o melhor

grupo de parâmetros através de funções com objetivo que, por métodos matemáticos, busca minimizar a diferença entre os dados observados e simulados.

A fase de validação consiste na simulação, com parâmetros ajustados das variáveis, utilizando outra série de dados observados. Entre os mais usuais métodos de validação, pode-se citar a divisão de dados, uso de duas ou mais bacias, etc. (Figueiredo, 1999; Braga, 2001).

A fase de estimativa consiste na simulação de um dado processo pelo modelo com os parâmetros ajustados, para que seja possível se obter respostas para as diferentes entradas. Um modelo só é confiável quando suas suposições, dados de entrada e parâmetros, estimam os melhores resultados. O modelo escolhido deve se adequar ao tipo de estudo e às necessidades do modelador, para que seja possível obter bons resultados para a região estudada (Tucci, 1998).

2.1.2 Pesquisas recentes utilizando modelos de simulação

Santos, Silva e Nitão (2004) apresentam a aplicação do modelo Kineros2, modelo hidrológico cinemático de base física e distribuído, com o objetivo de avaliá-lo como instrumento no gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Pirapama. O parâmetro de condutividade hidráulica e o coeficiente de rugosidade de Manning dos planos e dos canais foram ajustados para obter hidrogramas calculados iguais aos observados. Os resultados da pesquisa foram bons, pois o modelo correspondeu às expectativas na caracterização dos volumes totais das vazões para os dois anos em análise.

Samper et. al (2005) apresentaram um estudo em duas bacias hidrográficas espanholas. Eles mostraram a aplicação do modelo VISUAL BALAN V2.0 na estimação do balanço hídrico da bacia experimental de Valiñas e da lagoa de Gallocanta. Os autores concluíram que o modelo estima bem o escoamento em bacias pequenas e homogêneas, como a de Valiñas, porém para bacias de dimensões maiores e com variabilidade espacial de dados, como a de Gallocanta, foram necessárias novas técnicas para se obter melhores resultados. Por isso foi desenvolvido o modelo distribuído GIS BALAN, o qual está sendo testado e validado na bacia do rio Valiñas e diversas sub-bacias do rio Ebro.

O modelo NAVMO começou a ser utilizado no Brasil por Figueiredo et al. (1991 e 1993). Lopes (1994) calibrou e validou o modelo NAVMO para avaliar o escoamento na bacia do rio Piencó (4.550 km²) e obteve bons resultados. Este modelo foi utilizado na simulação do escoamento na bacia de Piencó e em um 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 (748,6 km²). Figueiredo e Srinivasan (1999) avaliaram os impactos do uso do solo e da presença dos açudes sobre o escoamento superficial a montante do açude público de Sumé.

Braga (2001) e Figueiredo e Braga (2002) calibraram os parâmetros mais sensíveis do modelo NAVMO, estudaram os efeitos de fatores climáticos e do uso do solo sobre o escoamento através de aplicações do modelo à bacia do alto rio Piranhas e concluiu que estes fatores afetam diretamente a formação do escoamento nas bacias da região.

Lacerda Júnior (2002) utilizou o modelo NAVMO para fazer uma avaliação dos efeitos de escala e uso do solo na parametrização do mesmo com dados de bacias do Cariri paraibano e concluiu que os parâmetros mais sensíveis do modelo sofrem variação quando muda o tamanho da bacia e a precipitação anual.

Furtunato (2004) estudou os efeitos dos fatores climáticos e do uso do solo sobre o escoamento através das simulações com o modelo NAVMO na região do alto rio Paraíba. Ele verificou que o modelo simulou razoavelmente bem o escoamento, sendo este afetado, principalmente, pela variabilidade conjunta da precipitação e evaporação.

Nunes (2005) utilizou séries de vazões de longo período, simuladas com o modelo NAVMO, e realizou a regionalização na região do alto rio Paraíba-PB, com análises de correlação e regressão entre as variáveis hidrológicas e as características físicas e climáticas das bacias. As análises mostraram que as variáveis hidrológicas foram melhores explicadas pela área da bacia e pelo comprimento do rio principal. A autora verificou a homogeneidade das séries com o teste de dupla massa e concluiu que elas eram consistentes e homogêneas e que o modelo simulou razoavelmente bem o escoamento. Alguns testes paramétricos e não paramétricos e distribuições de probabilidade também foram aplicados às séries simuladas, os quais mostraram que as séries apresentaram boa consistência e homogeneidade e que a distribuição Gama foi aceita pelo teste K-S sem restrições.

Crispim (2005) utilizou séries simuladas com o modelo NAVMO para fazer a regionalização hidrológica na bacia do alto rio Piranhas-PB e, assim, estabelecer funções matemáticas para estimar vazões máximas, médias e com 95% de garantia. Ela concluiu que as variáveis físicas que melhor explicaram as variáveis hidrológicas foram a área da bacia e o comprimento do rio principal. As séries simuladas foram testadas com testes paramétricos e não paramétricos e algumas distribuições de probabilidade. Os resultados mostraram que as séries apresentaram razoável consistência e homogeneidade e que a distribuição de Pearson III foi aceita sem restrições.

Batista (2006) realizou uma pesquisa procurando analisar incertezas na modelagem da região do alto rio Paraíba, localizada no cariri paraibano, um aspecto que ainda não tinha sido estudado em escala regional com o modelo NAVMO. O modelo foi calibrado e validado para a região e depois diversas simulações do escoamento foram realizadas, para várias divisões da bacia e bancos de dados com diferentes postos pluviométricos. Batista (2006) concluiu que as simulações foram sensíveis aos dados de precipitação, ao número de divisões da bacia e a parametrização do modelo e que as incertezas aumentaram à medida que diminuiu o número de divisões da região.

Lima (2008) realizou um estudo que tinha como objetivo realizar a modelagem do escoamento nas bacias do baixo rio Paraíba e Mamanguape, utilizando o modelo NAVMO, para dar subsídios a futuros estudos de regionalização hidrológica em toda bacia. Os resultados mostraram que o modelo foi calibrado razoavelmente bem para as poucas bacias com dados, apresentando bons valores e coeficientes de determinação para as calibrações de vazões máximas anuais e para o volume anual.

Almeida (2008) utilizou valores médios dos valores dos parâmetros do modelo NAVMO calibrados por Lima (2008) e realizou um estudo de regionalização hidrológica nas partes média e baixa do rio Paraíba em continuidade ao estudo de Nunes (2005).

Costa (2008) desenvolveu uma pesquisa cujo objetivo principal foi realizar a modelagem da bacia Piranhas/PB-Açu/RN, utilizando o modelo distribuído NAVMO. A autora calibrou o modelo para vazões máximas e volumes anuais utilizando o processo de tentativa e erro e, depois, verificou a sua validade. Os resultados apresentaram valores de coeficiente de determinação satisfatórios na calibração, tanto para vazões máximas quando para volumes anuais. Com relação à validação os valores dos coeficientes de determinação em geral foram menores que os encontrados para a calibração, porém a comparação dos hidrogramas simulados com os observados mostrou resultados satisfatórios. Através dos resultados de Costa (2008) foi possível realizar a regionalização do Sistema Piranhas-Açu (presente estudo) em continuidade ao estudo de Crispim (2005).

2.2 Regionalização Hidrológica

O principal objetivo da regionalização é a estimativa de valores de um dado processo em locais não monitorados através de parâmetros regionais, variáveis regionalizadas, funções regionais, indicadores regionais, dentre outros. Segundo Tucci (2002), podemos obter informações hidrológicas em bacias com deficiência nos dados, ou sem eles, através de

análise e aplicação de técnicas aos dados existentes em bacias de regiões hidrologicamente semelhantes.

A regionalização vem sendo utilizada para estimar variáveis hidrológicas (Rego; Figueiredo; Koch, 1989) ou climatológicas (Aragão et al., 1998) em bacias que não possuem informação. Essa técnica é muito aplicada para estimar a relação intensidade, duração e frequência (Aragão et al., 1998) e variáveis do escoamento, tais como, vazão máxima e mínima (Crispim, 2005) em bacias sem séries históricas.

É imprescindível à regionalização que a região estudada apresente regime climático e fluviométrico uniforme e cobertura vegetal, uso do solo e características físicas e geomorfológicas semelhantes, ou seja, a região deve ser homogênea.

Antes de iniciar o estudo de regionalização é necessário analisar os dados históricos, pois a qualidade deles é essencial. Segundo Tucci (1993), os postos devem ser classificados de acordo com a qualidade das informações disponíveis. Essa classificação permite ao modelador definir melhor a análise regional e se basear em séries mais confiáveis.

Segundo Pinto e Naghettini (2000), um dos pontos mais importantes na utilização da regionalização é a identificação de regiões estatisticamente homogêneas, isto é, regiões onde as várias estações de dados são oriundas de populações que apresentam a mesma distribuição de probabilidade, com os parâmetros de posição e escala variando entre as estações. Segundo Hosking e Wallis (1993 e 1995), as regiões homogêneas são identificadas com base nas características locais e através de testes estatísticos.

2.3 Metodologias utilizadas na regionalização

2.3.1 Regionalização de parâmetros

Consiste em estimar os processos hidrológicos através de funções que contêm parâmetros que podem ser estabelecidos localmente, estimados ou avaliados, que são características de um sistema hídrico, por exemplo: a área da bacia, o coeficiente de rugosidade, o valor da curva número (CN) do modelo do *Soil Conservation Service*, tempo de concentração da bacia (Tucci, 2002).

Alexandre et. al (2005) regionalizaram dois dos parâmetros do modelo chuva-vazão SMAP, referentes ao escoamento superficial e à capacidade de saturação do solo, para o Estado do Ceará. O terceiro parâmetro do modelo foi mantido constante e igual a zero, pois refere-se ao escoamento de base, insignificante na região semi-árida de solos rasos. A calibração foi feita utilizando como função objetivo a minimização do erro das curvas de

permanência das vazões observadas e calculadas. Para a regionalização foram utilizados três métodos: uso do valor médio da série de parâmetros calibrados nas bacias como valor regional; “*regression trees*”; regressões lineares múltiplas. Na comparação entre os três métodos, o método baseado na regressão apresentou o melhor resultado.

2.3.2 Regionalização de variáveis

Consiste na estimativa de um processo ou por uma função ou diretamente através de isolinhas. Um exemplo de regionalização de variável são as isoietas, obtidas a partir de valores médios observados em vários locais (Tucci, 2002). Aragão et. al (1998) estabeleceram isolinhas para os parâmetros da função de intensidade, duração e frequência para o estado da Paraíba.

Crispim (2005) apresentou estudos de regionalização de vazões (máximas, médias e mínimas) na região do Alto Rio Piranhas/PB. A regionalização foi baseada em distribuições de probabilidade ajustadas aos dados das séries, e em análises de correlação e regressão (simples e múltipla) para determinar as funções regionais. A distribuição regional para área de estudo foi a Pearson III e as funções (logarítmicas e potencias) determinadas apresentaram resultados com boas correlações entre as variáveis hidrológicas e as características físicas e climáticas da bacia.

Almeida (2008) apresentou isolinhas dos parâmetros da distribuição de Pearson III e da função de estimativa da vazão com 95% de garantia para a região do médio e baixo rio Paraíba/PB.

2.3.3 Regionalização de indicadores regionais

Indicador regional é um valor médio de uma variável ou proporção entre variáveis hidrológicas. A estimativa de um indicador está sujeita às incertezas dos dados hidrológicos disponíveis, entretanto o uso de valores médios regionais como indicadores é importante para verificar se resultados de estudos específicos estão dentro da ordem de grandeza de uma determinada região e/ou permitir uma primeira estimativa dos usos e controles dos recursos hídricos em locais sem dados (Tucci, 2002).

Alguns indicadores mais utilizados na hidrologia são descritos a seguir:

a) Vazão Específica

Este indicador é definido pela vazão por unidade de área, ou seja,

$$q = \frac{Q_{mlp}}{A} \quad (2.1)$$

onde q é a vazão específica, Q_{mlp} é a vazão média de longo período e A é a área da bacia.

b) Indicadores com base na curva de permanência

$$rcp_{50\%} = \frac{Q_{50\%}}{Q_{mlp}} \quad (2.2)$$

$$rcp_{95\%} = \frac{Q_{95\%}}{Q_{mlp}} \quad (2.3)$$

onde $rcp_{50\%}$ e $rcp_{95\%}$ representam respectivamente a relação entre as vazões com 50% e 95% de permanência ($Q_{50\%}$ e $Q_{90\%}$) e a vazão média de longo período (Q_{mlp}).

c) Índices de vazões mínimas

A equação 2.3 apresenta um índice relativo a estiagem, pois a vazão corresponde aos períodos de seca. Outros índices utilizados na prática são os seguintes:

$$r_{7,10} = \frac{Q_{7,10}}{Q_{mlp}} \quad (2.4)$$

$$r_m = \frac{Q_{95}}{Q_{7,10}} \quad (2.5)$$

onde $r_{7,10}$ é a relação entre a vazão de duração de 7 dias associada a um tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e a vazão média de longo período (Q_{mlp}); e r_m é a relação entre as duas condições de vazão mínima (Q_{95} e $Q_{7,10}$).

d) Índice de cheia

As duas relações abaixo são aplicadas nas estimativas de vazões máximas, com período de retorno T , onde a primeira é com base na estimativa da vazão máxima média com 2 anos de recorrência ($a_{T,2}$) e a segunda é com base na estimativa da vazão máxima média da distribuição de Gumbel com 2,33 anos de recorrência ($a_{T,2,33}$).

$$a_{T2} = \frac{Q_T}{Q_2} \quad (2.6)$$

$$a_{T2,33} = \frac{Q_T}{Q_{2,33}} \quad (2.7)$$

Silva Júnior e Tucci (2002) calcularam, a partir de dados existentes, alguns indicadores regionais (vazão média de longo período, vazão com 95% de permanência, 90% de permanência, vazão específica) para as 10 sub-bacias do rio São Francisco, onde foi mostrado uma diminuição na disponibilidade hídrica natural de montante para jusante da bacia. Os resultados mostraram que a disponibilidade hídrica é muito variável ao longo da bacia do rio São Francisco, porém os índices regionais são capazes de representar as condições hídricas em cada sub-bacia, de modo a fornecer uma visão macro do comportamento hidrológico da bacia.

2.3.4 Funções Regionais

Função regional é uma relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis (explicativas) de uma região. As vazões máximas, mínimas, médias de longo período e com certa garantia são as variáveis hidrológicas mais usuais.

Em estudos de regionalização devem ser consideradas as variáveis físicas e climáticas das bacias que mais explicam a distribuição da vazão e que possam ser mensuráveis com facilidade, para então serem determinadas e usadas na investigação da função regional.

As equações são geralmente estabelecidas com base em regressões em termo das características físicas e climáticas (variáveis explicativas) das sub-bacias. As equações de regressão podem ser lineares (simples ou múltiplas) ou não lineares.

a) Regressão Linear

Na regressão linear simples apenas uma variável independente (x) é utilizada para explicar a variação da variável dependente (y) segundo a equação abaixo:

$$E[y] = ax + b + \alpha \quad (2.8)$$

onde $E[y]$ é o valor esperado da variável dependente (y), a e b são parâmetros e α é o erro da estimativa, geralmente desconsiderado.

Os parâmetros da equação (2.8) são determinados através do método dos mínimos quadrados, que minimiza a diferença quadrática entre os valores observados e calculados.

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.9)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (2.10)$$

A parcela que o modelo consegue explicar da variação total da variável dependente (y) é representada pelo coeficiente de determinação:

$$R^2 = \left(\frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad (2.11)$$

Na regressão linear múltipla são consideradas outras variáveis independentes (x_1, x_2, x_3, \dots) que podem explicar a variação da variável dependente (y), sendo o valor esperado dado por:

$$E[y] = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + b + \alpha \quad (2.12)$$

onde a_1, a_2, a_3, \dots , e b são parâmetros da equação que podem ser obtidos através do método dos mínimos quadrados e α é o erro da estimativa geralmente desconsiderado.

As equações utilizadas para determinar os parâmetros da equação acima são indicadas na literatura (Fonseca et al., 1978).

b) Regressão Não Linear

A variável dependente é expressa por uma função não linear, com parâmetros a_1, a_2, a_3, \dots , e b e erro α , podendo ser potencial, logarítmica, ou exponencial. A função mais usual é a potencial, cujo valor esperado $E[y]$, para regressão múltipla, é dado pela equação abaixo:

$$E[y] = bx_1^{a_1} x_2^{a_2} x_3^{a_3} \dots + \alpha \quad (2.13)$$

A equação acima pode ser transformada numa equação linear pela aplicação do logaritmo aos termos, assim:

$$E[y] = \ln b + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 + \dots + \ln \alpha \quad (2.14)$$

Os coeficientes a_1, a_2, a_3, \dots , e b podem ser obtidos conforme aqueles definidos pela equação linear, porém com as variáveis logaritimizadas. O nível de correlação obtido é medido pelo coeficiente de determinação (Fonseca et. al, 1978).

Na regionalização hidrológica, o número de variáveis independentes pode ser pequeno, o que torna possível examinar regressões possíveis.

c) Variáveis Físicas

Uma das principais variáveis explicativas, segundo Garcez e Alvarez (1988), é a área de drenagem (A), pois é utilizada na maioria dos estudos de regionalização de vazões devido sua influência no potencial hídrico da bacia hidrográfica. O comprimento do rio principal (L) é outra característica física usada na regionalização, pois afeta no tempo de percurso da água. A declividade média da bacia (S) controla a velocidade do escoamento superficial, que também afeta o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se na seção de drenagem da bacia, afetando os valores de enchentes máximas. A densidade de drenagem (D_d) indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. Ela é expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (quer sejam perenes, intermitentes ou efêmeros) e a área total da bacia:

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A} \quad (2.15)$$

onde L_i é o comprimento do trecho i , A é a área da bacia e N o total de trechos da bacia.

d) Variáveis Climáticas

A variável climática explicativa possivelmente mais importante é a precipitação, haja vista que a vazão é diretamente dependente da chuva. Em geral, são usadas a precipitação média diária, média anual e a máxima como variáveis climáticas explicativas.

2.4 Séries Temporais para Regionalização

2.4.1 Série de vazões médias anuais

O conhecimento da vazão média de longo período é bastante importante, visto que é utilizada em vários projetos de uso dos recursos hídricos, como por exemplo, o abastecimento de água, a irrigação, a produção de energia elétrica, a navegação e outros. Ela é definida como a média das vazões médias anuais da série histórica disponível num local (Tucci, 2002).

2.4.2 Série de vazões máximas

A quantificação da vazão máxima é muito importante para a engenharia, pois é muito utilizada em projetos de drenagem e obras hidráulicas. Segundo Tucci (2002), a vazão máxima é a maior vazão que ocorre em uma seção de um rio, podendo ser obtida a curto ou longo prazo. A previsão de curto prazo é feita através do acompanhamento de um evento em tempo real resultante de uma precipitação, enquanto que a previsão de longo prazo é uma previsão estatística em qualquer ano. A vazão máxima está ligada a um determinado período de retorno e pode ser obtida por uma distribuição de probabilidade.

2.4.3 Série de vazões mínimas

A vazão mínima serve de base para estudos de outorga de direito de uso da água, geração de energia elétrica, diluição de efluentes em corpos d'água, entre outros, por isto é considerada bastante importante no planejamento regional. Segundo Tucci (2002), a vazão mínima instantânea tem pouca utilidade, sendo durações de sete ou trinta dias de maior interesse, pois a seqüência de vazões baixas caracteriza um problema para as demandas. A vazão com 95% de garantia também caracteriza uma condição de vazão mínima numa bacia hidrográfica.

2.4.4 Série de vazões com garantia

Segundo Tucci (2002), as vazões com 50% e 95% de permanência, que são determinadas através de análises de freqüência, são as mais utilizadas em estudos de regionalização. A curva de permanência representa a relação entre a vazão e a freqüência com que ela é igualada ou superada e pode ser elaborada a partir de dados observados ou simulados.

2.5 Análise Estatística

Podemos dizer que uma série é estacionária quando não ocorrem mudanças significativas nas características dos seus dados estatísticos durante o período de observações.

Não é rara a ocorrência de não-homogeneidade em séries de dados hidrometeorológicos, causada por fatos naturais (inundações, precipitação enorme) ou artificiais (urbanização, construção de reservatórios). O conhecimento dessas alterações nas séries é de suma importância para um bom planejamento de Recursos Hídricos, visto que as conhecendo pode-se corrigi-las ou levar em conta suas causas (Koch; Rego, 1985).

Os testes estatísticos utilizados para verificar a estacionariedade das séries históricas são os testes paramétricos e os não paramétricos.

2.5.1 Testes Paramétricos

Segundo Tucci (2002), é necessário que os dados observados sejam independentes entre si e se ajustem à distribuição normal, para a utilização dos testes paramétricos. Esses testes indicam se ocorreram mudanças na média e variância a partir de certo período. O teste de Snedecor, para a variância, e o de Student, para a média, são os mais utilizados.

a) Teste de Snedecor (F)

Este teste requer a divisão da série em dois períodos, prévio e posterior às mudanças, compara a variância de cada período e verifica se houve alterações significativas para um desejado nível de confiança.

Se o primeiro conjunto tem N_1 elementos com v_1 graus de liberdade e o segundo conjunto tem N_2 elementos com v_2 graus de liberdade, através da equação 2.16 calcula-se o valor F_{calc} .

$$F_{\text{calc}} = \frac{\text{Variância maior}}{\text{Variância menor}} \quad (2.16)$$

Através da tabela de Snedecor (ver tabelas em Tucci 2002) verifica-se qual é o valor de F_{tab} para v_1 graus de liberdade do numerador e v_2 graus de liberdade do denominador. Se $F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$ o teste é aceito, ou seja, há homogeneidade, caso contrário, não há.

b) Teste de Student (t)

O teste de Student também requer a divisão da série em dois períodos, com tamanhos N_1 e N_2 , e médias \bar{x}_1 e \bar{x}_2 , respectivamente. Se a hipótese do teste F for aceita, pode-se determinar o teste t a partir da aplicação da equação (2.17), que depende de uma estimativa da variância de todo o período de dados (equação 2.18).

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \cdot \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.17)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} (x_j - \bar{x}_2)^2}{N_1 + N_2 - 2} \quad (2.18)$$

onde x_i são os dados antes das mudanças e x_j são os dados após as mudanças.

Quando a hipótese do teste F não for aceita, pode-se determinar o teste t a partir da aplicação da equação abaixo:

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.19)$$

O teste t será rejeitado quando o valor calculado t_{calc} se encontrar fora do intervalo: $[-t_{(\alpha/2),\nu}; t_{(\alpha/2),\nu}]$, onde α é o nível de significância adotado e ν o número de graus de liberdade. Os valores de t críticos ($t_{\alpha/2,\nu}$) são obtidos nas tabelas de distribuição de Student (ver tabela em Tucci 2002), em função do número de dados da série (N), do nível de significância (α) e do número de graus de liberdade ($\nu = N_1 + N_2 - 2$).

2.5.2 Testes não Paramétricos

Os testes não paramétricos não supõem a normalidade dos dados a serem investigados e por isso têm a vantagem de serem independentes de quaisquer condições pressupostas (Koch; Rego, 1985). Será descrito o teste de Wilcoxon (teste U), que requer o ordenamento dos valores das amostras em ordem crescente, e examina se duas amostras são de uma mesma população mediante a tendência central. A variável de teste é dada pela equação (2.20) que é

comparada com a variável crítica (z_α) dada pela distribuição normal (Koch e Rego, 1985). Se $z > z_\alpha$ a hipótese nula pode ser rejeitada.

$$z = \frac{\left| U - \frac{N_1 \cdot N_2}{2} \right|}{\sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 + 1)}{12}}} \quad (2.20)$$

onde N_1 e N_2 são os tamanhos das séries analisadas e U é dado pelo menor valor entre U_1 e U_2 , que são dados pelas equações abaixo:

$$U_1 = N_1 \cdot N_2 + \frac{N_1 \cdot (N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (2.21)$$

$$U_2 = N_1 \cdot N_2 + \frac{N_2 \cdot (N_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (2.22)$$

onde R_1 e R_2 são as respectivas somas dos numerais ordinais dos valores das séries analisadas.

2.5.3 Homogeneidades de Séries

O teste da dupla massa, sugerido por Schulz (1973) tem sido bastante utilizado para a avaliação da homogeneidade de séries anuais (Nunes, 2005; Crispim, 2005; Batista, 2006). Esse teste pressupõe que a série não apresenta não-homogeneidades do tipo tendência, salto, periodicidade, ou seja, é aleatória, quando os valores acumulados do posto que esteja sendo verificado seguem uma linha reta quando plotados com os valores médios acumulados dos postos vizinhos na região.

2.5.4 Teste de Distribuições de Probabilidade

Os dados hidrológicos, que resultam de processos naturais, são aleatórios, logo, podem ser inferidos por uma lei de probabilidade. As leis de probabilidade são funções contínuas usadas para a estimativa de um dado evento hidrológico e precisam ser previamente ajustadas. O ajustamento consiste na verificação da representatividade da lei de probabilidade em relação às frequências de ocorrência do processo hidrológico. A seleção da melhor distribuição de probabilidade a ser adotada é comumente baseada em resultados de testes de hipóteses, que são procedimentos auxiliares para a decisão da aceitação ou rejeição da

hipótese nula (H_0), a qual é uma hipótese que é presumida verdadeira até que provas estatísticas indiquem o contrário.

Os testes de hipóteses são analisados a partir de teste de aderência. O teste de aderência mais utilizado para seleção da distribuição ajustável às frequências de cada série histórica é o de Kolmogorov-Smirnov (K-S), com nível de significância geralmente de 1% ou 5%. O teste K-S compara as probabilidades estimadas pela distribuição de probabilidade $P(X \leq x)$ com as frequências dos dados amostrais $F(X \leq x)$. O teste é aceito quando $D_{\text{teste}} < D_{c,n,\alpha}$, onde D_{teste} é o módulo da máxima diferença entre $P(X \leq x)$ e $F(X \leq x)$, e $D_{c,n,\alpha}$ é um valor crítico tabelado em função da distribuição, do nível de significância (α) e do número de dados (Belke, 1980; Koch e Rego, 1985).

2.6 Distribuições de Probabilidade

As distribuições mais usuais testadas com dados hidrológicos são a Normal, Pearson III, Gumbel e Gama, descritas adiante, e suas formas logarítmicas.

2.6.1 Distribuição Normal

A distribuição Normal, ou de Gauss, tem sua função densidade de probabilidade $f(x)$ da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty \quad (2.23)$$

onde μ e σ são respectivamente, a média e o desvio padrão da população.

Esta distribuição é simétrica em relação à média e tem a seguinte função de distribuição de probabilidade cumulativa:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.24)$$

onde X representa a variável aleatória, em que x é um valor real qualquer para uma probabilidade $P(X \leq x)$ de não excedência do evento x .

2.6.2 Distribuições Aplicadas a Eventos Extremos

Segundo Tucci (2002) essas distribuições, que são assimétricas, são muito importantes em Hidrologia, pois se adequam aos estudos de ajustamento de valores extremos às frequências de valores máximos e mínimos observados.

a) Distribuição de extremo tipo III (Pearson)

Kite (1977) apresenta a função de distribuição acumulada da distribuição de Pearson III:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{\alpha \cdot \Gamma(\beta)} \int e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} dx \quad (2.25)$$

onde $\Gamma(\beta)$ é a função gamma e α , β e γ são os parâmetros da distribuição de Pearson III, que são determinados pelo método dos momentos, através das seguintes equações por:

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma_1}\right)^2 \quad (2.26)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (2.27)$$

$$\gamma = \mu - \sigma \cdot \sqrt{\beta} \quad (2.28)$$

onde μ e σ são, respectivamente, a média e o desvio padrão da população, $\gamma_1 = (\mu_3 / \mu_2^{3/2}) \cdot \sqrt{N(N-1)} \cdot (1 + 0,85/N) / N - 2$ é o coeficiente de assimetria corrigido para a tendência e $\mu_3 = \sum [(x_i - \bar{x})^3 / N]$ e $\mu_2 = \sum [(x_i - \bar{x})^2 / N]$ são os momentos de terceira e segunda ordem centrados na média, respectivamente, e N o número de dados.

Kite (1977) apresenta uma forma simplificada para solução da distribuição de Pearson III relacionando a variável normal reduzida (t) com os parâmetros da distribuição de Pearson III pela equação a seguir:

$$t \approx \left[\sqrt[3]{\frac{x-\gamma}{\alpha\beta}} + \frac{1}{9\beta} - 1 \right] \cdot \sqrt{9\beta} \quad (2.29)$$

com a distribuição normal reduzida dada por:

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2.30)$$

A distribuição de Pearson III apresenta três parâmetros podendo ser aplicada em dados de quaisquer naturezas, haja vista que a assimetria pode assumir valores negativos, positivos ou nulos. Particularmente quando a assimetria é nula, a distribuição de Pearson III dá resultados semelhantes aos da distribuição Normal.

b) Gama

A distribuição Gama torna-se um caso particular da distribuição de Pearson (tipo III), quando o coeficiente de assimetria é igual a duas vezes o coeficiente de variação (Lanna et al., 1989), i.e., $\gamma_1 = 2\sigma/\mu$ (com σ e μ estimados pelos dados amostrais).

c) Gumbel

A função distribuição de probabilidade cumulativa é dada pela equação abaixo:

$$P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (2.31)$$

onde X representa a variável aleatória, sendo x um valor real qualquer para uma probabilidade $P(X \leq x)$ de não excedência do evento x , e α e β os parâmetros da distribuição determinados pelo método dos momentos com as equações 2.32 e 2.33.

$$\alpha = 1,2825 / \sigma \quad (2.32)$$

$$\beta = \mu - 0,45 \cdot \sigma \quad (2.33)$$

CAPÍTULO 3

3 O MODELO NAVMO

3.1 Características gerais

O modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989), Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell (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.

Este modelo é diário, determinístico, conceitual e distribuído, permitindo que as variabilidades tanto de fatores climáticos (precipitação e evaporação) quanto do sistema da bacia sejam consideradas.

Segundo Braga (2001), o modelo possui algoritmos alternativos para estimar alguns processos hidrológicos (precipitação e escoamento nas bacias e propagação do escoamento nos trechos de rios).

O NAVMO trata a bacia hidrográfica dividida em sub-bacias e a precipitação média pode ser calculada através de duas metodologias, sendo modificações do método de Thiessen e do método do Ponto Reticular ou método das quadrículas.

Na sua estrutura o modelo é capaz de transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial utilizando a equação do balanço hídrico que é aplicada à bacia através de dois reservatórios hipotéticos, um superficial e outro sub-superficial, e uma função de recessão, para representar o escoamento subterrâneo.

O modelo necessita dos seguintes dados de entrada: dados de precipitação, evaporação, vazões observadas e características físicas das sub-bacias (área, cotas, declividades, uso do solo, geometrias dos canais). Fornece como resultado vazões diárias, vazões máximas, volumes anuais, valores dos desvios médios e hidrológicos, centróides dos hidrogramas e as diferenças entre as vazões máximas observadas e calculadas. A figura 3.1 apresenta o fluxograma do modelo NAVMO.

Neste modelo são treze os parâmetros calibráveis, onde quatro deles são utilizados na etapa de transformação das lâminas do escoamento em hidrograma (MET1, MET2, MAX1 e MAX2), 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). Entretanto, segundo Lacerda Jr. (2002) e Braga (2000), o modelo é sensível a apenas dois destes

parâmetros, o da evapotranspiração atual (EET) e o da lâmina do escoamento direto (ALFA). Os autores sugeriram que o modelo também é sensível ao parâmetro de capacidade de armazenamento do solo (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – SCS (McCuen, 1982). Embora ele tenha sido proposto como um parâmetro fixo, dependendo do solo e seu uso, o CN pode ser calibrado para que o modelo apresente melhores resultados.

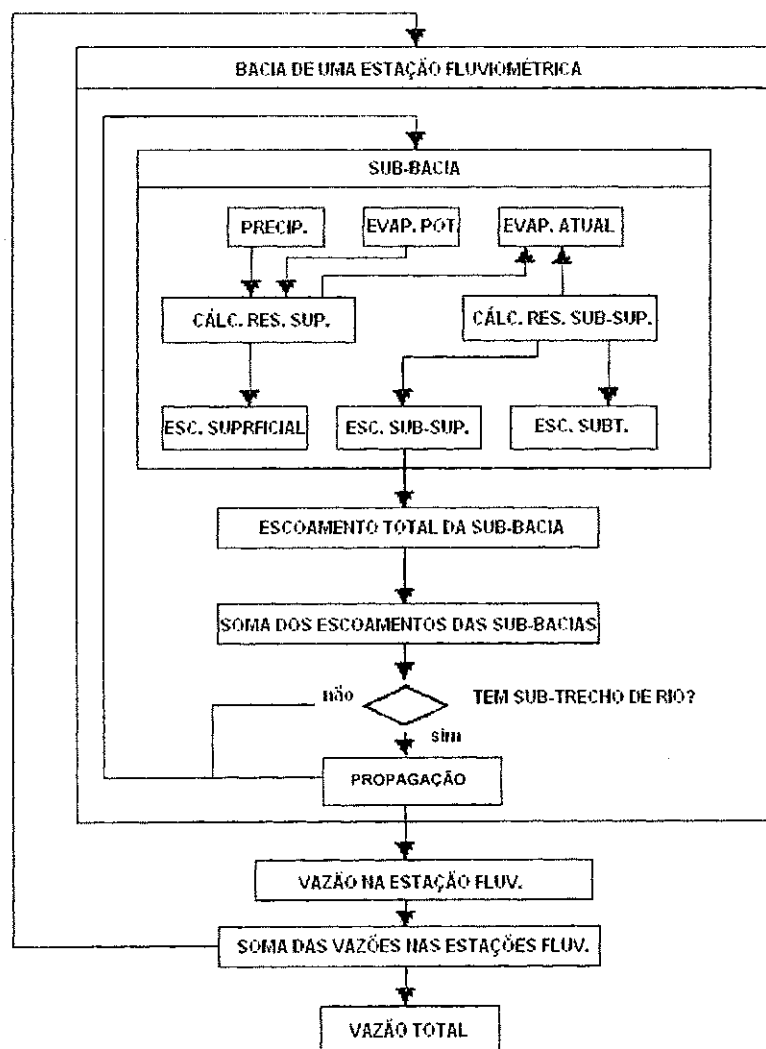


Figura 3.1 - Fluxograma do modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989).

3.2 Geração dos escoamentos nas sub-bacias no modelo

A figura 3.2 mostra um esquema de como são gerados os escoamentos em cada sub-bacia no modelo NAVMO. Os processos de precipitação–vazão–evaporação no modelo estão descritos detalhadamente a seguir.

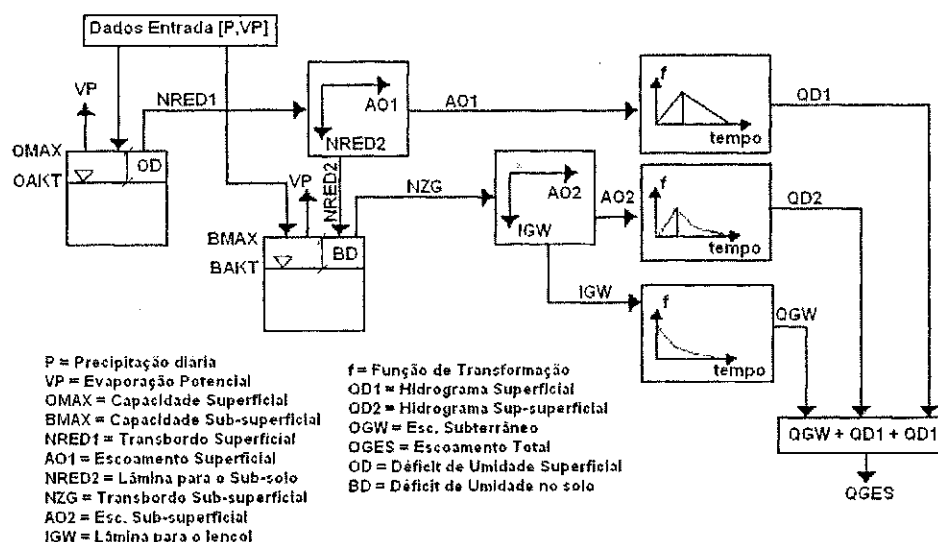


Figura 3.2 - Representação dos processos de precipitação-vazão-evaporação no modelo NAVMO (Figueiredo e Braga, 2002).

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

O escoamento sub-superficial é calculado a partir do reservatório sub-superficial que é alimentado por uma parte do transbordamento do reservatório superficial. A evaporação do reservatório sub-superficial é calculada em função do seu déficit de umidade. Quando o reservatório sub-superficial encher o excedente se dividirá em duas lâminas, uma usada no cálculo do escoamento subterrâneo e a outra será transformada no escoamento sub-superficial após a aplicação de uma função de transformação.

O escoamento subterrâneo é calculado a partir da parcela que transborda do reservatório sub-superficial, sendo esta parcela transformada em escoamento subterrâneo através de uma função de transformação.

O escoamento total simulado na saída de cada sub-bacia é o somatório dos três escoamentos. Os hidrogramas em cada caso são obtidos através de funções de transformação e adicionados para que seja obtido o hidrograma total.

3.3 Cálculo da precipitação média nas sub-bacias no modelo

O método do ponto reticular modificado, esquematizado na figura 3.3, calcula a precipitação média numa dada sub-bacia, através da precipitação das quatro estações pluviométricas mais próximas ao centróide da sub-bacia, sendo cada estação localizada em cada quadrante relativo ao centro da área (Ludwig, 1981).

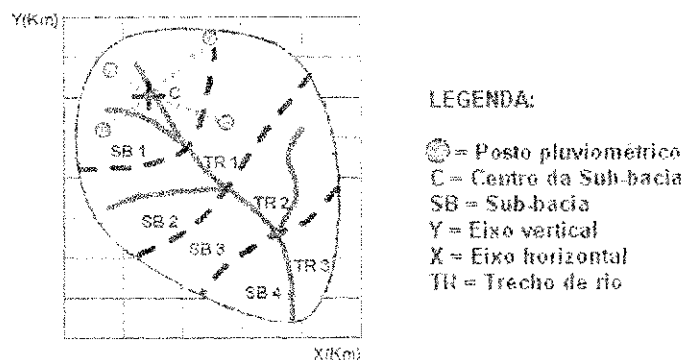


Figura 3.3 - Esquema representativo do método do Ponto Reticular modificado.

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:

$$D_s = \min(D_{c,i}) \quad [\text{km}] \quad (3.1)$$

onde:

D_s = distância mínima no quadrante s ;

$D_{c,i}$ = distância entre o centróide da sub-bacia e o posto i , dada por:

$$D_{c,i} = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} \quad [\text{km}] \quad (3.2)$$

A precipitação média numa sub-bacia é calculada conforme a equação abaixo:

$$N_t = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_{i,s,t} / D_S^{Rast})}{\sum_{s=1}^4 (1 / D_S^{Rast})} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

onde:

N_t = Precipitação média calculada na sub-bacia no intervalo de tempo t ;

$N_{i,s,t}$ = Precipitação (mm/dia) no posto i no quadrante s no intervalo de tempo t ;

$Rast$ = Fator de correção dependente da distância do posto.

3.4 Cálculo da capacidade dos reservatórios do solo

O modelo NAVMO considera o solo da bacia hidrográfica como dois reservatórios, um superficial e outro sub-superficial. As capacidades dos reservatórios estão associadas às propriedades físicas das bacias como solo, cobertura vegetal e relevo (Lopes, 1994). Segundo Lacerda Jr. (2002) 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 ($BMAX$) é considerada igual ao valor da capacidade de armazenamento do solo (S) que é calculada pelo método da Curva Número (CN):

$$BMAX = S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

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

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:

$$OMAX = 0,1 \cdot BMAX \cdot e^{-4GEBGEF} \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

3.5 Cálculo da evapotranspiração atual

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

$$VA(t) = VP(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad \text{se } OD(t) < OMAX \quad (3.6)$$

onde VA é a evapotranspiração atual e VP é a evapotranspiração potencial.

Assim que o reservatório superficial secar completamente, inicia-se a evaporação da água no subsolo, aumentando seu déficit de umidade (BD). A evaporação atual do subsolo é calculada multiplicando a evaporação potencial pelo fator de correção EET e pela umidade do solo (Lacerda Jr.,2002):

$$VA(t) = EET \cdot VP(t) \cdot \theta_B \quad [\text{mm/dia}] \quad \text{se } OD(t) \geq OMAX \quad (3.7)$$

onde:

VA = Evapotranspiração atual;

VP = Evapotranspiração potencial;

EET = Fator de correção do modelo para evaporação;

θ_B = Umidade do reservatório sub-superficial dada por:

$$\theta_B = \frac{BMAX - BD(t-1)}{BMAX} \quad (3.8)$$

onde BD(t-1) = déficit de umidade antecedente no reservatório sub-superficial.

3.6 Cálculo do déficit da umidade do solo

Primeiramente, os déficits de umidade são calculados em função dos estados de umidade inicial do reservatório superficial (OAKT) e do sub-superficial (BAKT). Os déficits de umidade são determinados pelas seguintes equações:

a) No reservatório superficial:

$$OD(t) = OMAX - OAKT(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.9)$$

b) No reservatório sub-superficial:

$$BD(t) = BMAX - BAKT(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.10)$$

Logo após, os déficits de umidade são determinados pelas equações abaixo:

a) Para o reservatório superficial:

$$OD(t) = OD(t-1) + VA(t) - N_t \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.11)$$

onde:

N_t = Precipitação durante o intervalo de tempo t ;

$VA(t)$ = Evapotranspiração durante o intervalo de tempo t ;

$OD(t-1)$ = Déficit de umidade antecedente no reservatório superficial.

b) Para o reservatório sub-superficial:

Se $OD \geq OMAX$ e $VA(t) < BAKT(t-1)$ então:

$$BD(t) = BD(t-1) + VA(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.12)$$

e se $VA(t) > BAKT(t-1)$ então :

$$BD(t) = BMAX \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.13)$$

onde:

$BAKT(t-1)$ = umidade antecedente do sub-solo;

$BD(t-1)$ = déficit de umidade antecedente no reservatório sub-superficial.

Porém, se $OD < OMAX$, então:

$$BD(t) = BD(t-1) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.14)$$

3.7 Condições para o transbordamento

Segundo Lacerda Jr. (2002), 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.

O transbordamento do reservatório superficial (NRED1) ocorrerá quando:

$$N_t - VA(t) - OD(t-1) > 0 \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.15)$$

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

$$N_t - VA(t) - OD(t-1) - AO1(t) - BD(t-1) > 0 \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.16)$$

onde AO1 é a lâmina do escoamento superficial direto.

3.8 Cálculo da lâmina do escoamento superficial direto

A lâmina do escoamento superficial direto (AO1) é uma parcela do que transborda do reservatório superficial (NRED1) e a lâmina remanescente (NRED2) alimenta o reservatório sub-superficial conforme as equações abaixo (Lacerda Jr., 2002):

$$AO1(t) = ALFA * NRED1(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.17)$$

$$NRED2(t) = (1 - ALFA) * NRED1(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.18)$$

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

3.9 Cálculo da lâmina do escoamento sub-superficial

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

$$NZG(t) = NRED2(t) - BD(t-1) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.19)$$

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

$$AO2(t) = BETA * NZG(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.20)$$

$$IGW(t) = (1 - BETA)NZG(t) \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.21)$$

3.10 Cálculo da lâmina do escoamento subterrâneo

A lâmina do escoamento subterrâneo (AGW) é dada pela equação 3.22, onde IGW(t) é a lâmina que vai alimentar o lençol subterrâneo no instante (t), e KG é a constante do aquífero.

$$AGW(t) = \frac{AGW(t-1)}{1 + 1/KG} + \frac{IGW(t)}{1 + KG} \quad [\text{mm/dia}] \quad (3.22)$$

3.11 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 mostradas a seguir:

a) Para a ascensão

$$QD1(t+J) = \frac{2 * J * AO1(t) * AE}{MET1 * MAX1} \quad [m^3/dia] \quad (3.23)$$

b) Para a recessão

$$QD1(t+J) = \frac{2 * (MAX1 - J) * AO1(t) * AE}{(MAX1 - MET1) * MAX1} \quad [m^3/dia] \quad (3.24)$$

onde:

AE = área da sub-bacia;

QD1(t+J) = escoamento direto num dado intervalo de tempo (t+J);

MET1 = tempo para atingir o pico do escoamento superficial;

Max1 = tempo de base do escoamento superficial.

2) Escoamento sub-superficial

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

a) Para a ascensão

$$QD2(t+J) = \frac{QM(t) * J}{MET2} \quad [m^3/dia] \quad (3.25)$$

b) Para a recessão

$$QD2(t+J) = QM(t) * \left[1,1e^{\left[\left(\frac{\ln 0,1}{1,1} \right) * \left(\frac{J - MET2}{(MAX2 - MET2)} \right) \right]} \right] \quad [m^3/dia] \quad (3.26)$$

onde:

$$QM(t) = \frac{AO2 * AE}{(MAX2 - MET2) * (1/\ln 1,1 - 0,1) + 0,5 * MET2} \quad [m^3/dia] \quad (3.27)$$

QD2(t+J) = escoamento sub-superficial num dado intervalo de tempo (t+J);

MET2 = tempo para atingir o pico do escoamento sub-superficial;

MAX2 = tempo de base do escoamento sub-superficial.

3) Escoamento subterrâneo

O escoamento subterrâneo (QGW) é obtido pela função de recessão dada pela equação 3.22 multiplicada pela área da bacia (AE), assim:

$$QGW(t) = AGW(t) * AE \quad [m^3/dia] \quad (3.28)$$

3.12 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:

$$QGES(t) = \frac{QD1(t) + QD2(t) + QGW(t)}{86400} \quad [m^3/s] \quad (3.29)$$

3.13 Propagação do escoamento nos canais

O hidrograma de uma sub-bacia serve como hidrograma de entrada do trecho de rio da bacia subsequente (Kleeberg et. al., 1989). Segundo Braga (2000), a propagação do escoamento nos trechos de rios, cuja seção é considerada trapezoidal (figura 3.4), pode ser feita pelos seguintes métodos hidrológicos:

- Método da Velocidade de Fluxo;
- Método de Williams (1969);
- Método de Kalinin-Miljukov (1958, apud Fread, 1985).

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).

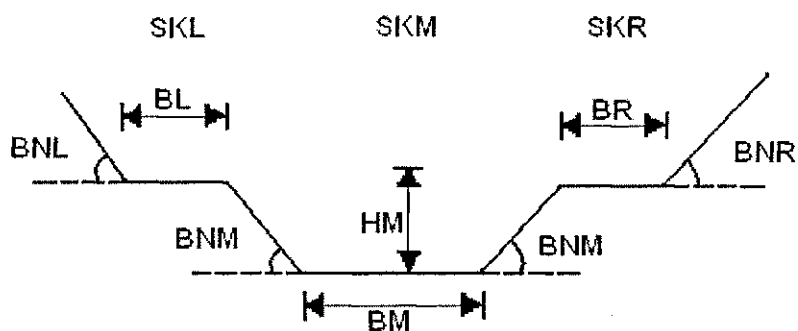


Figura 3.4 - Seção transversal do rio no modelo (Kleeberg et al., 1989).

Definição de termos:

- BM 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 rugosidade de Manning para a calha do rio principal
- SKL é igual a $(1/n)$, onde n é coeficiente de rugosidade de Manning da margem esquerda
- SKR é igual a $(1/n)$, onde n é coeficiente de rugosidade de Manning da margem direita

3.14 - Resultados gerados pelo modelo NAVMO

O modelo NAVMO apresenta os seguintes resultados, ao fim das simulações: Hidrogramas do escoamento diário de cada ano; Volumes anuais dos anos simulados; Vazões máximas anuais dos anos simulados; Desvio médio; Desvio hidrológico; Diferença de picos de vazão.

CAPÍTULO 4

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu

A Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu (Figura 4.1) está inserida no clima semi-árido nordestino, tem área total de drenagem de 43 681,50 km², onde 26.183,00 km² da área localiza-se no Estado da Paraíba e 17.498,50 km² no Estado do Rio Grande do Norte. Conta com 147 municípios, sendo 45 no Estado do Rio Grande do Norte e 102 no Estado da Paraíba (<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu>).

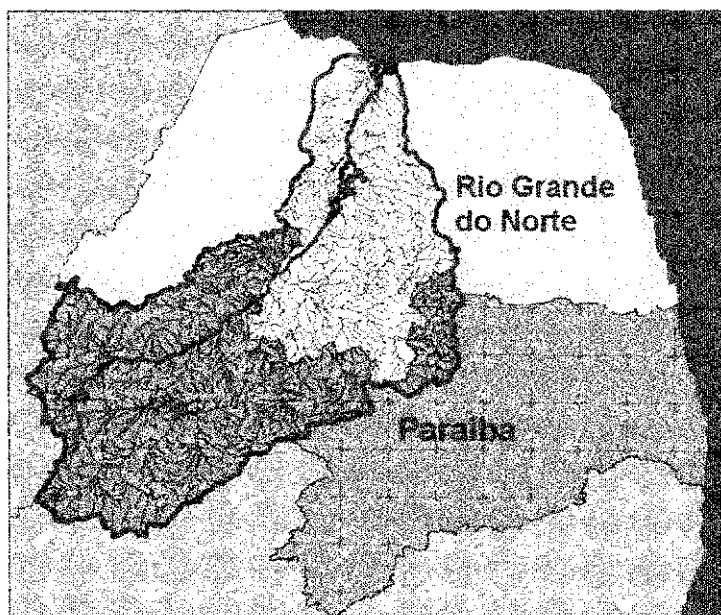


Figura 4.1 - Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu.

No Estado da Paraíba, o rio é denominado Piranhas, e após cruzar a fronteira com o Estado do Rio Grande do Norte é chamado de Piranhas-Açu. Esta 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>)

O principal rio da bacia é o rio Piranhas-Açu, de domínio federal, já que nasce no município de Bonito de Santa Fé, no Estado da Paraíba, segue seu curso natural pelo Estado do Rio Grande do Norte e deságua no Oceano Atlântico, na Costa Potiguar. É uma importante bacia tanto para o Estado do Rio Grande do Norte quanto da Paraíba (<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/index.php>), pois é nela que estão localizados

a barragem Armando Ribeiro Gonçalves e o sistema de reservatórios Curema-Mãe D'Água, considerados estratégicos para o desenvolvimento sócio-econômico destes Estados.

Na Paraíba, a bacia é principal fonte de captação de água para várias cidades, como também serve para irrigar plantações de milhares de hectares, beneficiando diretamente milhares de pequenos agricultores. Em solo norte-rio-grandense, a bacia é também muito importante. Abastece, através de adutoras, dezenas de cidades.

No Vale do Açu, através do Canal do Pataxó, as águas do Armando Ribeiro servem para irrigar milhares de hectares. Depois da barragem, as águas da bacia Piranhas-Açu abastecem várias fazendas de criação de camarão em cativeiro, proporcionando milhares de empregos diretos.

4.1.1 Características Climáticas e Fisiográficas

a) Clima

O clima que predomina ao longo de toda bacia é quente e semi-árido. A temperatura média anual está em torno de 24°C na região do alto Rio Piranhas, com amplitude térmica inferior a 4°C (Crispim, 2005).

A evaporação potencial é muito elevada em toda a bacia, com taxa anual em torno de 2000 mm.

De um modo geral, as precipitações anuais médias são de 500 mm na parte leste e 870 mm na parte oeste da bacia.

b) Geomorfologia

A Depressão Sertaneja é a unidade geomorfológica predominante na porção centro-sul, caracterizada por formas de relevo tabulares amplas e pouco aprofundadas. Em menor escala, ocorrem relevos convexos e formas aguçadas.

No sudeste da bacia, ocorre a unidade Planalto da Borborema, constituída por um misto de formas aguçadas, convexas e tabulares, com notáveis ocorrências de topos amplos, com presença de sedimentos terciários, formando superfícies tabulares erosivas.

No norte da bacia, observa-se a Superfície Cárstica e os Tabuleiros Costeiros, compostos por relevos tabulares amplos e pouco dissecados e superfície pediplanada.

Na foz do rio Açu, pode ser observada uma ampla planície flúvio-marinha (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicação=138>), que constitui a Faixa Litorânea.

c) Geologia

Na parte inserida no Estado do Rio Grande do Norte há predominância de rochas cristalinas nos complexos de Caicó, São Vicente e Seridó, com intrusões de rochas plutônicas e filonianas. No sudeste destaca-se a ocorrência de duas grandes manchas, constituídas por arenitos caulíníficos, arenitos ferruginosos e lateritas, relacionadas à Formação Serra do Martins, do Terciário, recobrimdo terrenos do embasamento Pré-Cambriano. Na porção norte, menos representativa em área que na bacia Apodi-Mossoró, ocorrem calcários da Formação Jandaíra e arenitos da Formação Açu e Grupo Barreiras. A planície flúvio-marinha, que constitui o renomado Vale do Açu, é constituída por sedimentos quaternários (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>).

Já na parte da bacia inserida no Estado da Paraíba, 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. No centro-sul, há predominância do complexo cristalino sobre terrenos sedimentares e ocorrências de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas. Na parte central, existem formações de Quartizitos, Gnaisses do Proterozóico e rochas vulcânicas como granitos (Crispim, 2005).

d) Solos

A maior parte do solo na Paraíba é constituída pelo tipo Litólico Eutrófico, Bruno Não-Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo-Eutrófico (Crispim 2005). Por outro lado, na parte do Rio Grande do Norte os solos predominantes são do tipo Bruno Não-Cálcico e Litólicos Eutróficos (<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>).

e) Vegetação

A maior parte da cobertura vegetal do Sistema Piranhas-Açu pertence à Caatinga com árvores típicas, 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).

4.2 Banco de Dados

4.2.1 Dados Hidroclimatológicos

Podemos observar os postos pluviométricos e fluviométricos na figura 4.2, a partir da área delimitada e de acordo com mapas da região e com o banco de dados da Agência Nacional das Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>).

A tabela 4.1 mostra os postos fluviométricos e seus respectivos períodos de dados.

Tabela 4.1 - Período de dados dos postos fluviométricos da região

Código	Nome do Posto		Latitude			Longitude			Altitude (m)	Área (km ²)	Período de dados
			gg	mm	ss	gg	mm	ss			
37430000	Patos	PB	7	2	0	37	17	0	250	1850	(1985 a 1998)
37559000	Caicó	RN	6	28	0	37	16	0	143	6280	(1986 a 1998)
37470000	Jardim de Piranhas	RN	6	23	0	37	22	0	115	6500*	(1964 a 1985)
37570000	São Fernando	RN	6	22	0	37	11	0	135	9700	(1963 a 1998)
37440000	Serra Negra do Norte	RN	6	40	0	37	24	0	160	3330	(1921 a 1957; 1959 a 1961; 1983)
37710100	Sítio Acauã	RN	5	36	59	36	53	28	65	22750*	(1986 a 1998)
37710150	Sítio Acauã II	RN	5	37	0	36	53	0	65	22750*	(1973 a 1979)
37515000	Sítio Volta	RN	6	36	0	36	47	0	220	1890	(1979 a 1985)

* Áreas relativas à seção de Sítio Vassouras.

Tabela 4. 2 - Postos pluviométricos da região

	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	Alagoa Nova	735030	PB	7	4	0	35	47	0	500
10	Alexandria	638037	RN	6	25	0	38	1	0	315
11	Angicos	536024	RN	5	40	0	36	36	0	109
12	Antenor Navarro	638032	PB	6	44	7	38	26	53	240
13	Augusto Severo	537034	RN	5	52	2	37	18	53	65
14	Barra de Santa Rosa	636032	PB	6	43	0	36	4	0	440
15	Bonito de Santa Fé	738022	PB	7	19	0	37	31	0	575
16	Caicó	637039	RN	6	27	4	37	5	26	143
17	Cajazeirinhas	637024	PB	6	58	0	37	47	0	400
18	Carnaubais	536027	RN	5	20	0	36	50	0	40
19	Catingueira	737021	PB	7	8	0	37	37	0	290
20	Catolé do Rocha	637025	PB	6	21	0	37	45	0	250
21	Conceição	738020	PB	7	33	0	38	31	0	370
22	Condado	637028	PB	6	54	0	37	37	0	260
23	Cuité	636035	PB	6	29	0	36	9	0	620
24	Cuncas	738007	CE	7	6	0	37	44	0	480
25	Currais Novos	636025	RN	6	16	0	36	31	0	350
26	Desterro	737018	PB	7	17	0	37	6	0	590
27	Equador	636024	RN	6	57	0	36	43	0	500
28	Fazenda Angicos	537035	RN	5	17	20	37	17	20	109
29	Governador	537036	RN	5	27	0	37	30	54	6.4
30	Gurjão	736016	PB	7	16	0	36	29	0	480
31	Hipólito	537012	RN	5	27	0	37	13	0	230
32	Itapetim	737031	PE	7	22	0	37	11	0	630
33	Itaú	537010	RN	5	50	0	37	59	0	130
34	Jericó	637036	PB	6	33	0	37	49	0	215
35	João Dias	637002	RN	6	16	0	37	48	0	310
36	Juazeirinho	736015	PB	7	4	0	36	35	0	570
37	Jucurutu	637011	RN	6	2	0	37	1	0	75
38	Lagoa Nova	636012	RN	6	6	0	36	28	0	700
39	Lajes	536009	RN	5	42	0	36	15	0	198
40	Mãe D'Água de dentro	737015	PB	7	15	0	37	26	0	370
41	Malta	637031	PB	6	54	0	37	32	0	340
42	Medubim de baixo	536035	RN	5	37	55	36	54	58	73
43	Monsenhor Honório	536003	RN	5	21	0	36	32	0	65
44	Mossoró	537037	RN	5	13	10	37	21	44	15
45	Olho D'Água	737011	PB	7	13	0	37	46	0	275
46	Olivedos	636036	PB	5	59	0	36	15	0	545
47	Palma	637016	RN	6	40	0	37	1	0	190
48	Parelhas	636018	RN	6	41	0	36	40	0	325
49	Passagem	737010	PB	7	8	0	37	4	0	340
50	Patú	637000	RN	6	6	0	37	38	0	305
51	Pau dos Ferros	638041	RN	6	7	0	38	13	0	175
52	Pedra Lavrada	636037	PB	6	45	0	36	28	0	525
53	Pedras de Abelhas	537008	RN	5	35	36	37	41	3	70
54	Pendências	536036	RN	5	15	26	36	43	24	20

Continua

Tabela 4.2 - Postos Pluviométricos (Continuação).

Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)
			gg	mm	ss	gg	mm	ss	
55 Piancó	737006	PB	7	12	51	37	55	33	250
56 Picuí	636038	PB	6	31	0	36	22	0	450
57 Pombal	637032	PB	6	46	0	37	49	0	178
58 Salgadinho	736010	PB	7	6	0	36	51	0	410
59 Santana	537016	RN	5	20	0	37	18	0	115
60 Santana dos Matos	536018	RN	5	58	0	36	39	0	140
61 Santo André	736005	PB	7	13	0	36	38	0	470
62 São João do Sabugi	637014	RN	6	43	0	37	12	0	175
63 São José da Lagoa Tapada	638049	PB	6	56	0	38	10	0	260
64 São José da Passagem	636009	RN	6	1	0	36	37	0	420
65 São José de Espinharas	637034	PB	6	51	0	37	20	0	300
66 São José de Piranhas	738011	PB	7	7	0	38	30	0	300
67 São José do Brejo do Cruz	637035	PB	6	11	0	37	17	0	120
68 São José dos Cordeiros	736011	PB	7	23	0	36	49	0	610
69 São Mamede	637037	PB	6	55	0	37	6	0	270
70 São Rafael	536031	RN	5	48	0	36	55	0	70
71 São Tomé	536017	RN	5	58	0	36	4	0	175
72 Sítio Jardim	637019	RN	6	23	0	37	21	0	130
73 Sítio S Vicente	638050	PB	6	37	0	38	20	0	420
74 Sítio Volta	636045	RN	6	35	37	36	47	6	220
75 Sossego	636040	PB	6	46	0	36	15	0	600
76 Taperoá	736002	PB	7	12	0	36	50	0	500
77 Tenente Ananias	638045	RN	6	28	0	38	11	0	380
78 Upanema	537019	RN	5	38	37	37	15	19	45
79 Volta	537001	RN	5	30	0	37	11	0	235

A Tabela 4.4 a seguir mostra os dados de evaporação média mensal em São Gonçalo extraídos de Braga (2001).

Tabela 4.3 - Evaporação média mensal em São Gonçalo

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
E (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 5

5 ABORDAGENS PARA AS SIMULAÇÕES

5.1 Modelagem hidrológica

A modelagem feita por Costa (2008) compreende a região limitada na parte superior pela estação de Sítio Vassouras/PB (14850 km²) e na parte inferior pela estação de Acauã/RN (37600 km²), totalizando uma área de 22750 km². A modelagem da bacia limitada por Sítio Vassouras foi feita por Crispim (2005). A divisão da bacia foi feita conforme requerido pelo modelo NAVMO, em 20 sub-bacias (Figura 5.1) e buscando-se coincidir cada uma das estações fluviométricas com a saída de uma dada sub-bacia, possibilitando a comparação dos escoamentos simulados com os observados nas estações fluviométricas de Patos (1850 km²), Serra Negra do Norte (3330 km²), Jardim de Piranhas (6500 km² em relação a Sítio Vassouras), Sítio Volta (1890 km²), Caicó (6280 km²), São Fernando (9700 km²), Sítio Acauã (22750 km² em relação a Sítio Vassouras), cujas seções de saída ocorrem nas sub-bacias 1, 3, 8, 12, 13, 14 e 20 respectivamente.

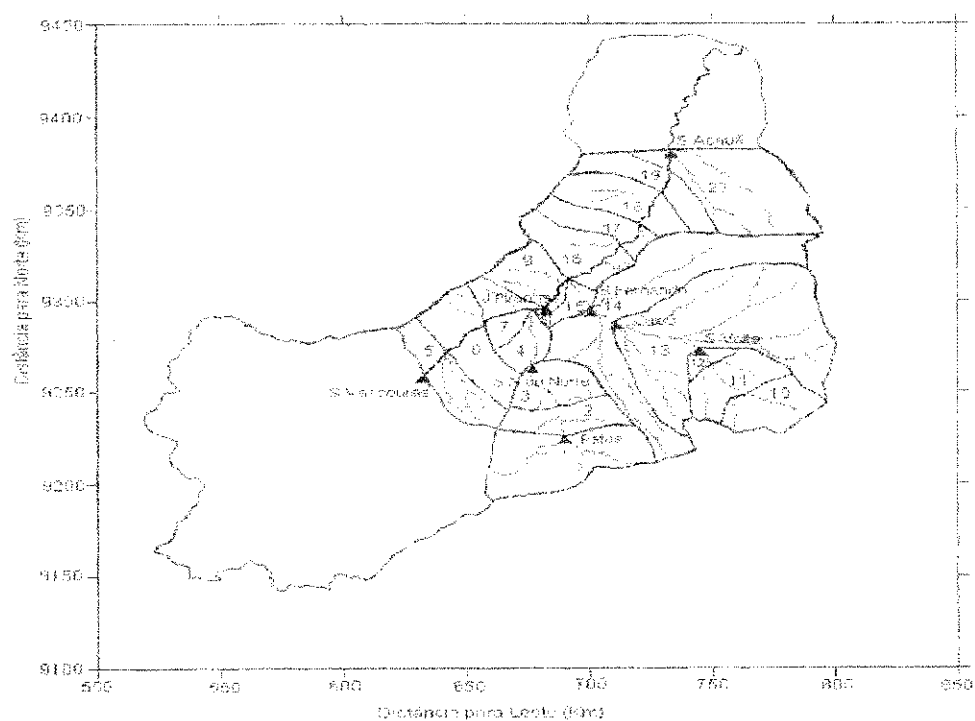


Figura 5.1 – Divisão da bacia Piranhas/PB-Açu/RN em sub-bacias.

Fonte: Costa (2008).

5.2 Modelagem do Escoamento

A modelagem do escoamento foi feita por Costa (2008) nas bacias com dados observados (tabela 4.1) consistindo basicamente da calibragem dos parâmetros mais sensíveis do modelo, comparando-se hidrogramas diários simulados com os observados e vazões máximas e volumes anuais simulados com os observados, para anos secos, com precipitação anual inferior a 600 mm, normais, com precipitação anual entre 600 mm e 800 mm e úmidos, com precipitação anual acima de 800 mm. Estes valores são típicos da região semi-árida e já foram utilizados anteriormente em outros estudos (Figueiredo, 1998; Cadier, 1996) (Figueiredo e Srinivasan, 1999; Braga, 2000; Crispim, 2005), fornecendo bons resultados. Os valores dos parâmetros calibrados (EET, ALFA, CN e QBSP) ano a ano para cada bacia encontram-se em Costa (2008). As figuras 5.2 e 5.3 mostram comparações dos hidrogramas diários simulados e observados em algumas bacias.

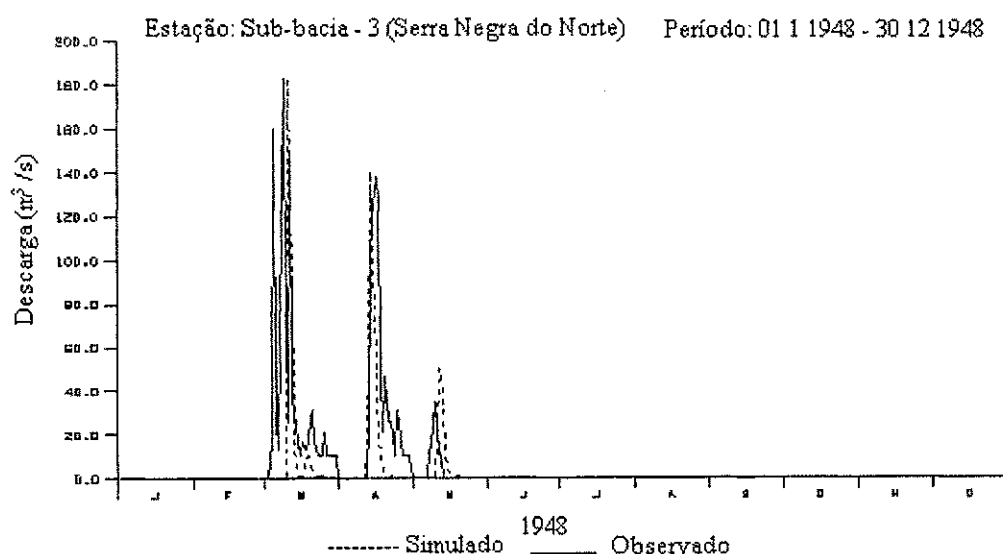


Figura 5.2 - Hidrogramas simulados e observados na bacia de Serra Negra do Norte para o ano de 1948 com parâmetros calibrados pela vazão máxima.

Fonte: Costa (2008).

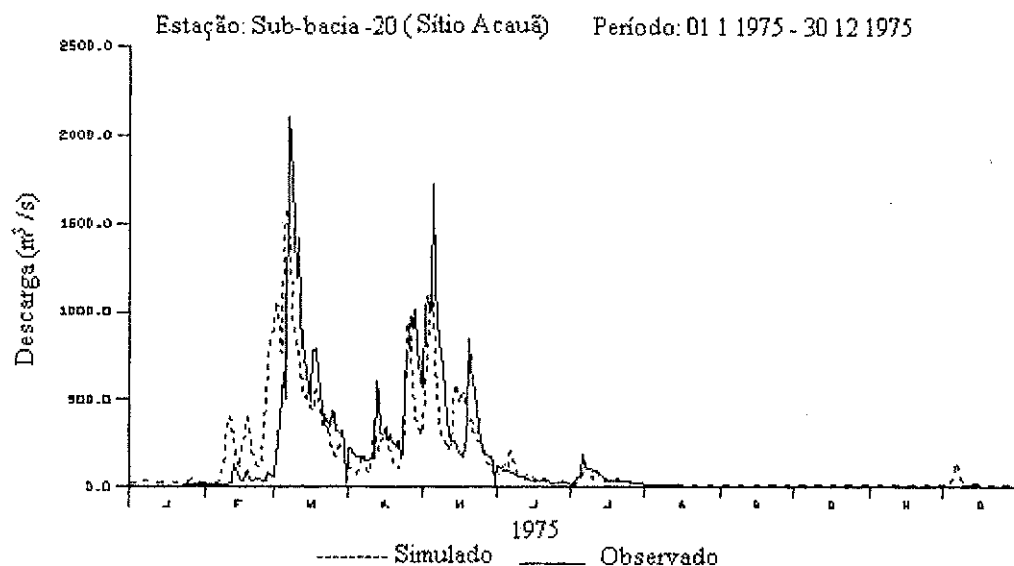


Figura 5.3 - Hidrogramas simulados e observados na bacia de Acauã para o ano de 1975 com parâmetros calibrados pelo volume.

Fonte: Costa (2008).

5.3 Parâmetros utilizados nas simulações

Para a realização das simulações foram considerados dois grupos de parâmetros médios, um com base nos parâmetros calibrados pela vazão máxima (tabela 5.1) e, outro com base nos parâmetros calibrados pelo volume (tabela 5.2).

Tabela 5.1 - Valores médios dos parâmetros calibrados pela vazão máxima.

Ano / Parâmetro	EET	ALFA	CN	QBSP
Úmido	1,525	0,154	55	0,0015
Normal	2,111	0,220	44	0,0015
Seco	5,108	0,483	45	0,0015

Tabela 5.2 - Valores médios dos parâmetros calibrados pelo volume.

Ano / Parâmetro	EET	ALFA	CN	QBSP
Úmido	2,549	0,201	63	0,0019
Normal	2,265	0,302	55	0,0015
Seco	4,080	0,514	44	0,0014

5.4 Escolha do banco de dados para simulações

Os postos pluviométricos escolhidos para as simulações de cada banco de dados (1911 a 1983 com 13 postos, 1962 a 1983 com 63 postos e 1934 a 1991 com 20 postos) foram obtidos com base no período de dados observados de vazão (ver Anexo A). Alguns dos postos escolhidos estão situados fora da bacia hidrografia Piranhas/PB-Açu/RN, haja vista que foi utilizado o método do ponto reticular modificado no cálculo da precipitação de cada sub-bacia, para se evitar dados faltosos em virtude de que não existiam postos em todos os quadrantes em várias sub-bacias, diminuindo, assim, a possibilidade de simulações com alto grau de incerteza.

Como a série de longo período de 1911 a 1983 possui um período maior de dados, todas as análises foram feitas com as séries de 1911 a 1983 (vazões máximas e médias), visto que há grande necessidade de se estender as séries de vazões nas seções fluviométricas monitoradas e de se ter dados de vazões em seções não monitoradas. A Tabela 5.3 mostra os postos pluviométricos utilizados na fase de simulação.

Tabela 5.3 - Postos pluviométricos selecionados para a série de 1911 a 1983.

	Nome dos Postos	Código	Estado	Latitude			Longitude			Altitude (m)
				gg	mm	ss	gg	mm	ss	
1	Aíagoa Nova	735030	PB	7	4	0	35	47	0	500
2	Angicos	536024	RN	5	40	0	36	36	0	109
3	Currais Novos	636025	RN	6	16	0	36	31	0	350
4	Patú	637000	RN	6	6	0	37	38	0	305
5	Pau dos Ferros	638041	RN	6	7	0	38	13	0	175
6	Pedras de Abelhas	537008	RN	5	35	36	37	41	3	70
7	Piancó	737006	PB	7	12	51	37	55	33	250
8	Picuí	636038	PB	6	31	0	36	22	0	450
9	Pombal	637032	PB	6	46	0	37	49	0	178
10	Santana dos Matos	536018	RN	5	58	0	36	39	0	140
11	São João do Sabugi	637014	RN	6	43	0	37	12	0	175
12	São José de Piranhas	738011	PB	7	7	0	38	30	0	300
13	Taperoá	736002	PB	7	12	0	36	50	0	500

Duas séries de longo período (vazões máximas e médias) foram simuladas para cada uma das sub-bacias indicadas na tabela 4.1.

Os valores das vazões máximas, simuladas com valores médios dos parâmetros calibrados pelas vazões máximas, e das vazões médias, que foram transformadas a partir dos volumes anuais simulados com valores médios de parâmetros calibrados pelos volumes, encontram-se tabelados no Anexo B.

5.5 Análise dos resultados da Simulação

Duas séries de longo período (1911 a 1983) foram simuladas para cada uma das sub-bacias indicadas na tabela 4.1, sendo uma de vazões máximas simuladas com valores médios dos parâmetros calibrados pelas vazões máximas (tabela 5.1) e outra, de volumes anuais, simulada com valores médios de parâmetros calibrados pelos volumes (tabela 5.2). As simulações foram feitas com os dados de chuva dos postos indicados na tabela 5.3.

Com o resultado das simulações foram construídos diagramas de barra com o objetivo de comparar as vazões simuladas com as observadas e, assim, analisar a consistência das séries simuladas. Deve-se explicitar que os volumes anuais foram transformados em vazões médias anuais. Os resultados para as séries de 1911 a 1983 são discutidos a seguir com relação à simulação das vazões máximas anuais e vazões médias anuais em cada uma das sub-bacias.

5.5.1 Serra Negra do Norte

Os resultados obtidos para o posto de Serra Negra do Norte encontram-se nas figuras 5.4 e 5.5. As simulações das vazões máximas apresentaram, de modo geral, valores superestimados em relação aos observados embora tenham acompanhado o comportamento da vazão ao longo do tempo dependendo das precipitações. As vazões médias foram melhores simuladas, porém apresentam superestimação em alguns anos.

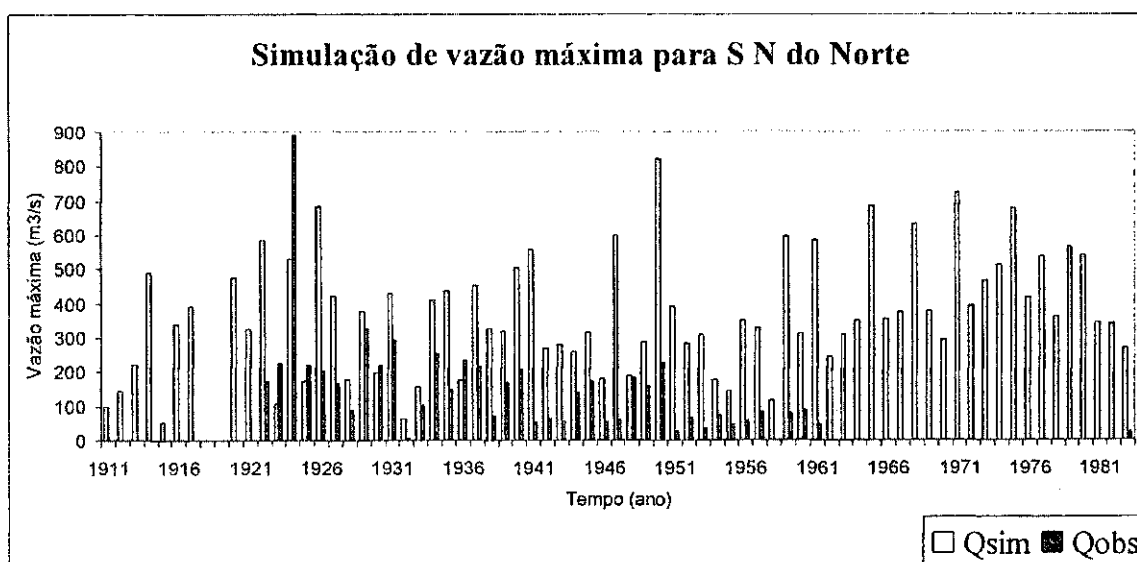


Figura 5.4 - Simulação das vazões máximas em Serra Negra do Norte.

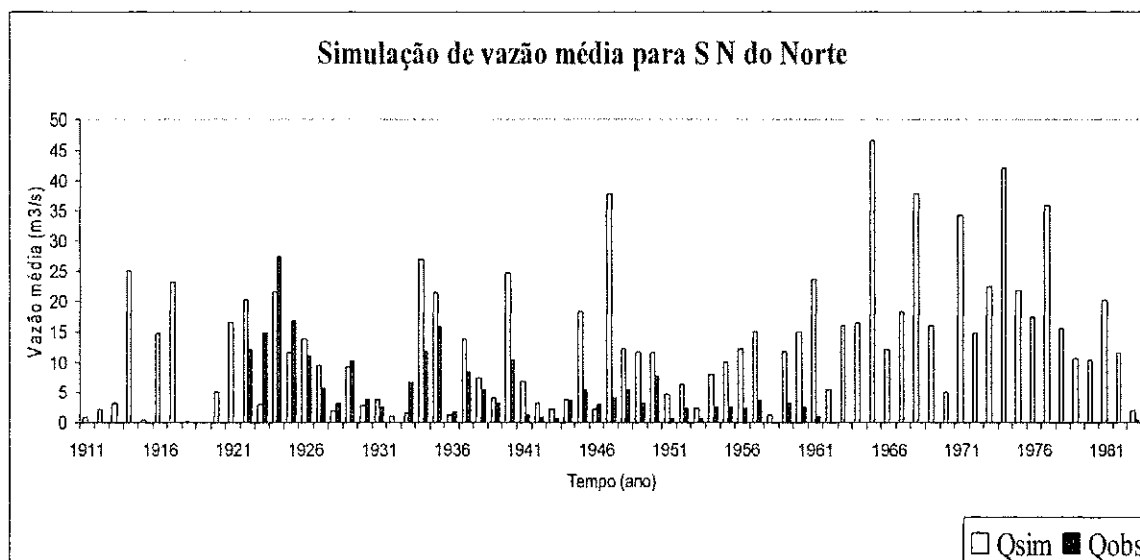


Figura 5.5 - Simulação das vazões médias em Serra Negra do Norte.

5.5.2 Jardim de Piranhas

Os resultados obtidos para o posto de Jardim de Piranhas encontram-se nas figuras 5.6 e 5.7 e mostram que o modelo simulou, de forma razoável, as vazões máximas e médias observadas, porém subestimadas em alguns anos, principalmente nos mais chuvosos.

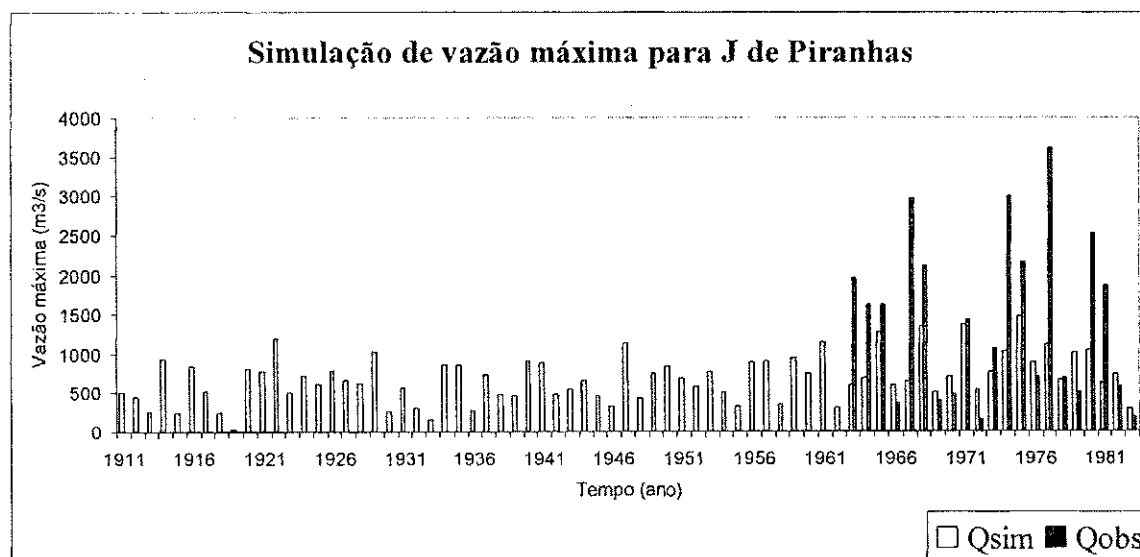


Figura 5.6 - Simulação das vazões máximas em Jardim de Piranhas.

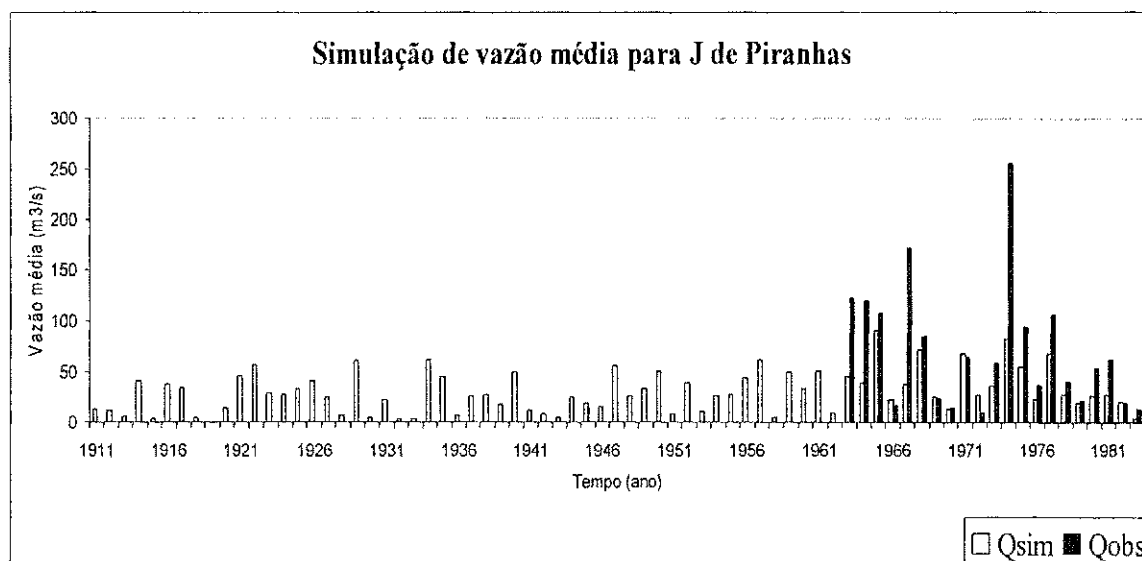


Figura 5.7 - Simulação das vazões médias em Jardim de Piranhas.

5.5.3 Sítio Volta

Os resultados obtidos para a estação de Sítio Volta encontram-se nas figuras 5.8 e 5.9. Apesar de poucos anos com dados observados, podemos observar que as vazões foram razoavelmente simuladas, tanto as máximas quanto as médias. Também é possível observar que nos anos sem observação, o comportamento das vazões, ao longo do tempo, é similar aquele em que há dados de vazão observados.

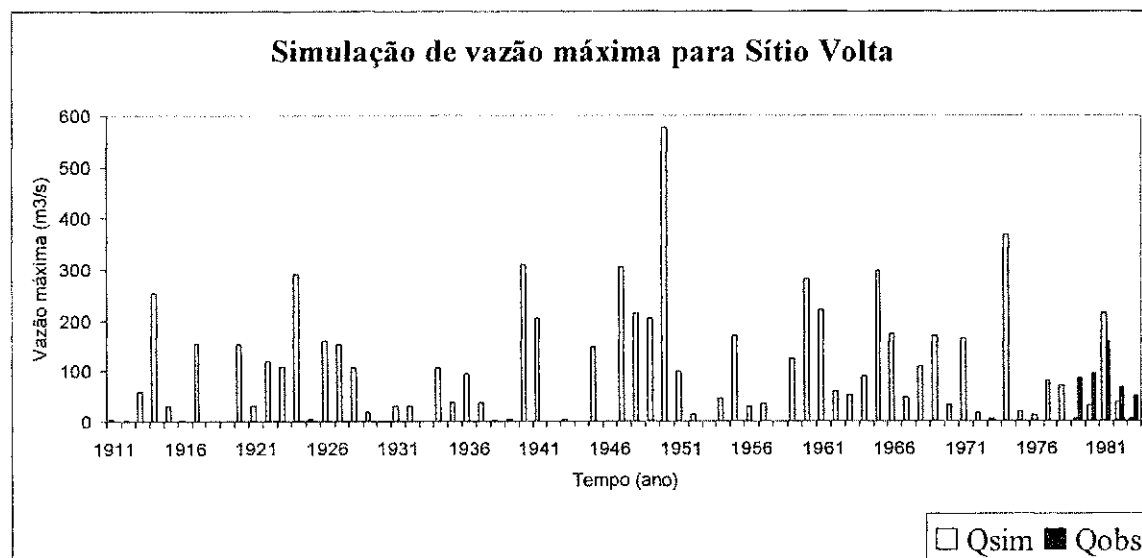


Figura 5.8 - Simulação das vazões máximas em Sítio Volta.

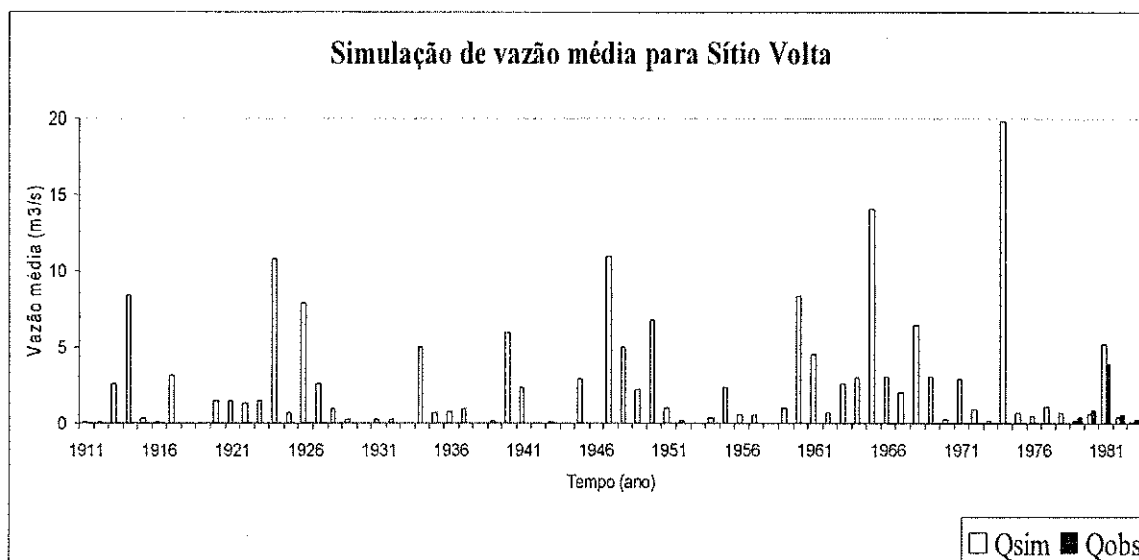


Figura 5.9 - Simulação das vazões médias em Sítio Volta.

5.5.4 São Fernando

Os resultados obtidos para a bacia de São Fernando encontram-se nas figuras 5.10 e 5.11. As simulações das vazões máximas representaram bem os picos observados, mas apresentaram superestimação em alguns anos. As simulações das vazões médias também se aproximaram dos valores observados, porém apresentaram superestimações em alguns anos. Em geral, as vazões máximas e médias simuladas são consistentes quando comparados com os dados observados.

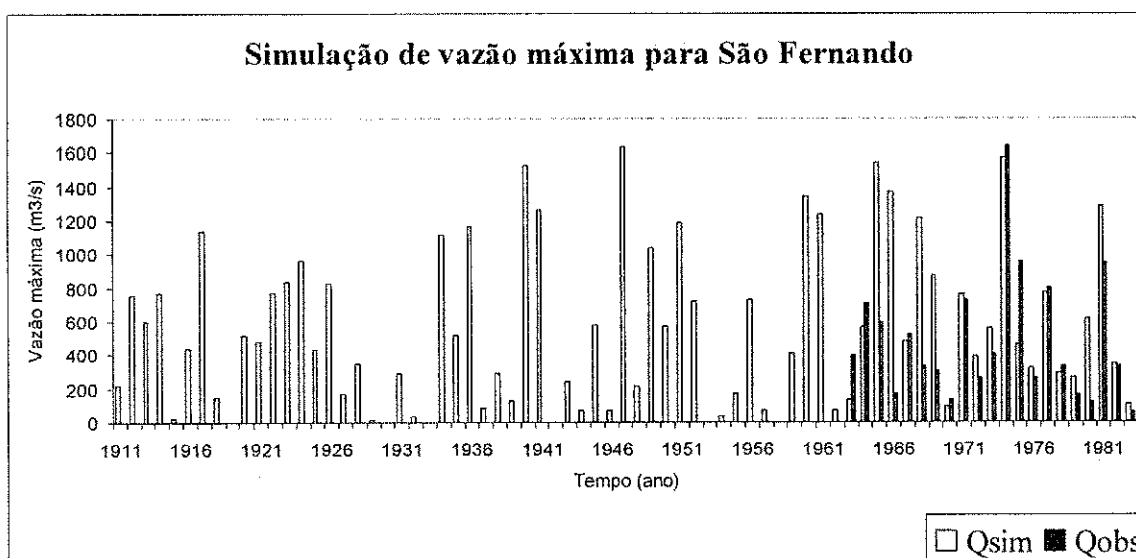


Figura 5.10 - Simulação das vazões máximas em São Fernando.

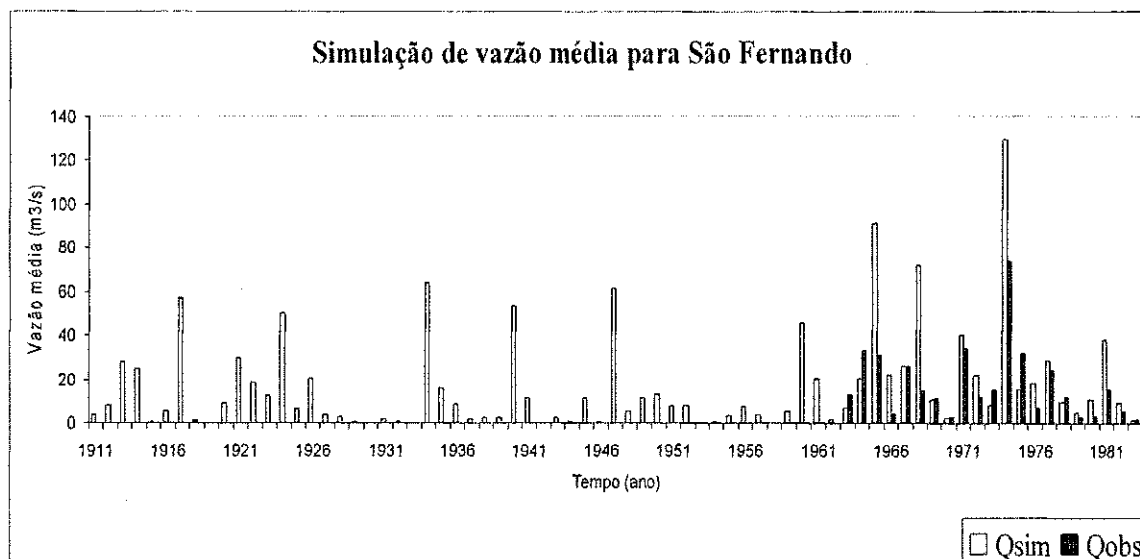


Figura 5.11 - Simulação das vazões médias em São Fernando.

5.5.5 Sítio Acauã

Os resultados obtidos para a bacia de Sítio Acauã são mostrados nas figuras 5.12 e 5.13. Podemos observar que as vazões simuladas se aproximaram das vazões observadas e que, no período sem dados de vazão observada, as simulações apresentaram resultados compatíveis com aqueles com dados observados.

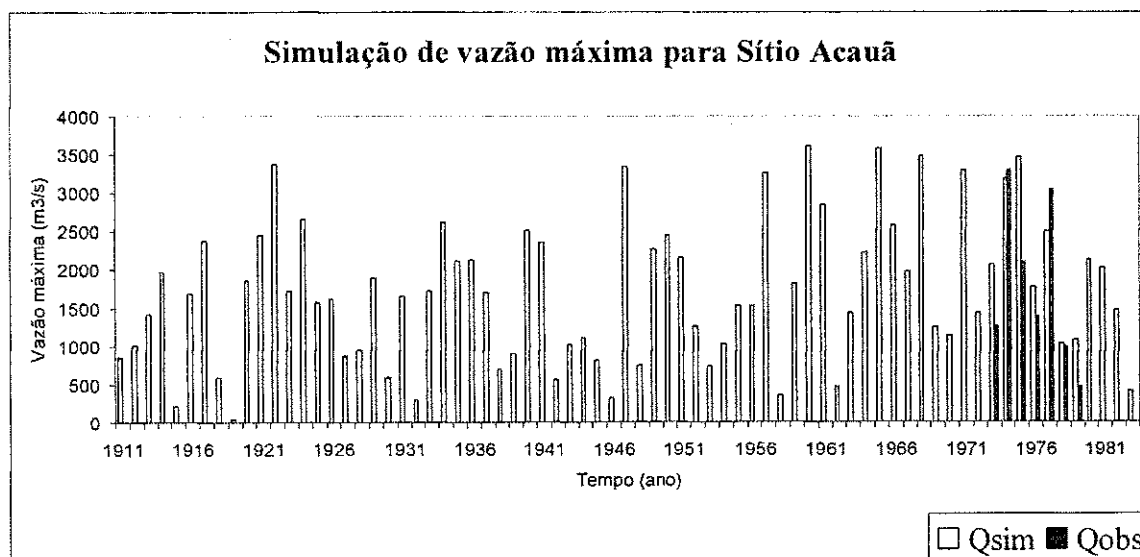


Figura 5.12 - Simulação das vazões máximas em Sítio Acauã.

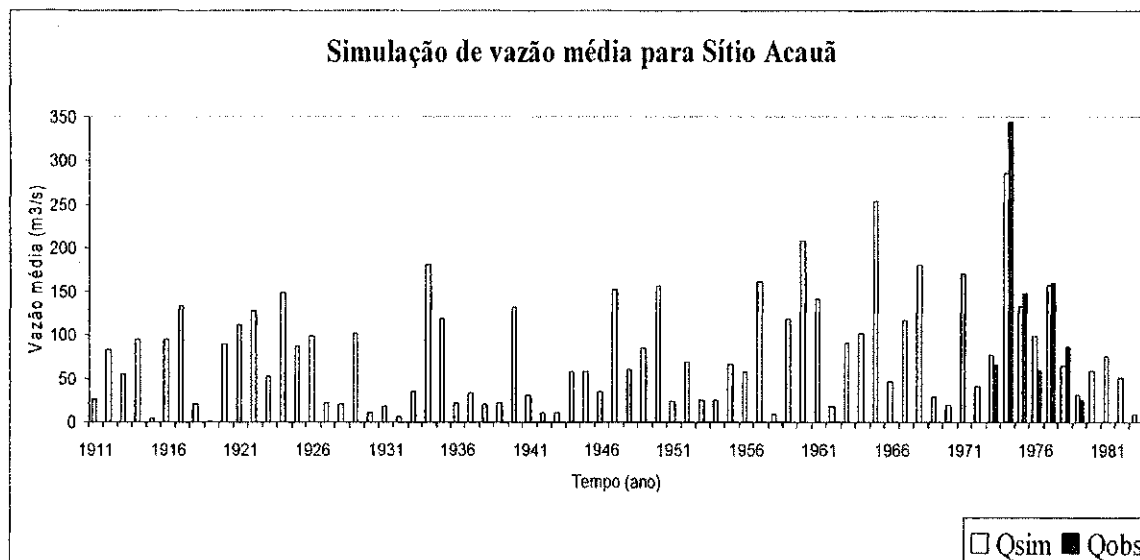


Figura 5.13. Simulação das vazões médias em Sítio Acauã.

5.5.6 Patos

Os resultados das simulações, para vazão máxima e vazão média, realizadas para a bacia de Patos são apresentados nas figuras 5.14 e 5.15. Deve-se notar que conforme a disponibilidade de dados indicada na tabela 4.1, a estação de Patos não tem dados observados dentro do período empregado nas simulações. Desse modo, as figuras mostram apenas gráficos dos valores simulados que, em geral, não apresentam anomalias, exceto em 1950 onde a vazão máxima anual destaca-se das demais.

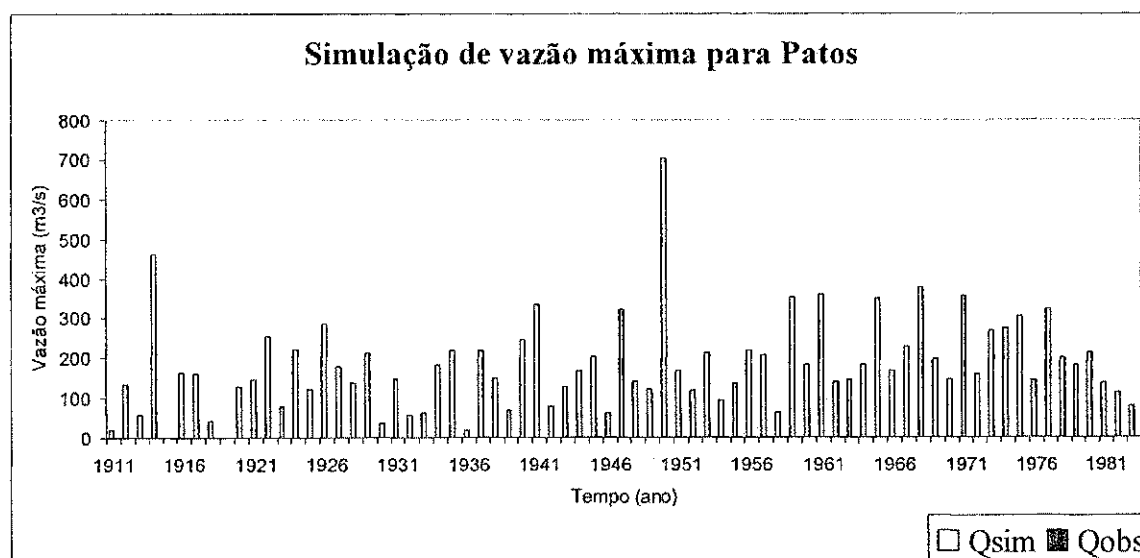


Figura 5.14 - Simulação das vazões máximas em Patos.

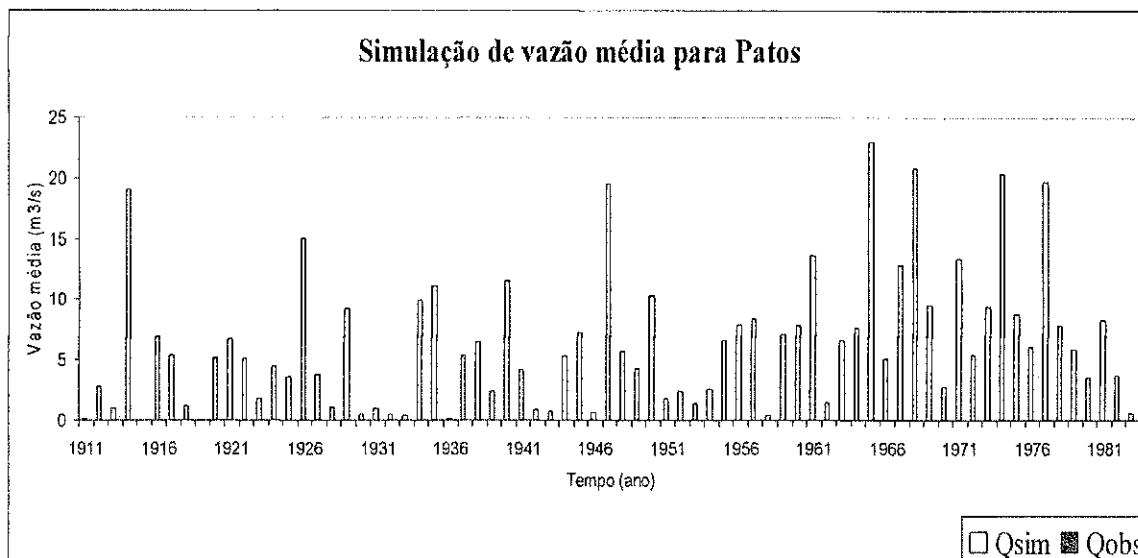


Figura 5.15 - Simulação das vazões médias em Patos.

5.5.7 Caicó

Os resultados das simulações, para vazão máxima e vazão média, realizadas para o posto de Caicó são apresentados nas figuras 5.16 e 5.17. A bacia de Caicó tal como a bacia de Patos, não apresenta dados observados no período da simulação e, assim, não há como comparar os resultados das simulações, os quais apresentam 4 anos com valores destacados dos demais, 1940, 1947, 1965 e 1974 no caso da vazão máxima e 1974 na vazão média.

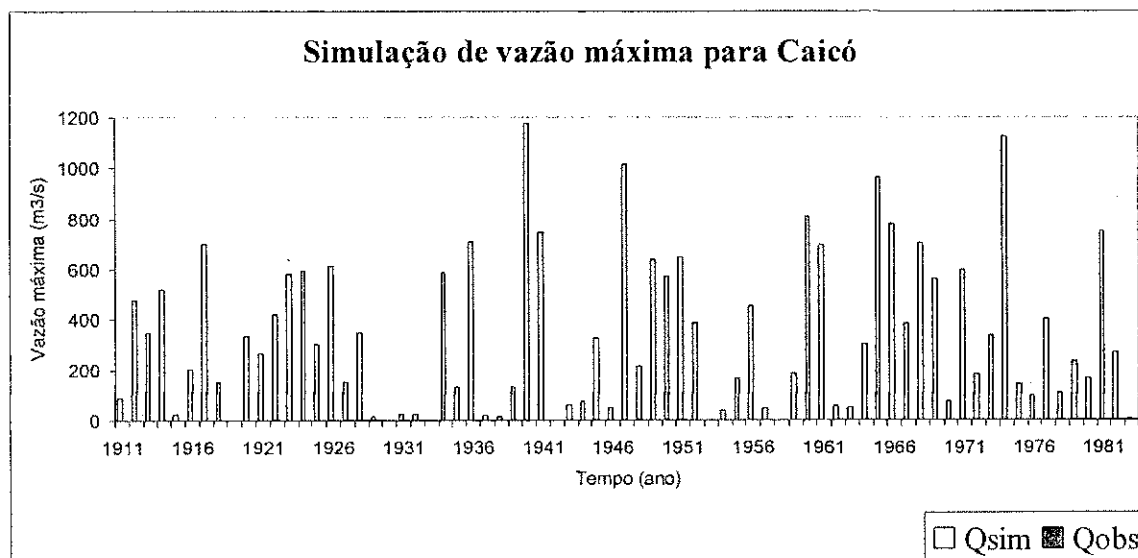


Figura 5.16 - Simulação das vazões máximas em Caicó.

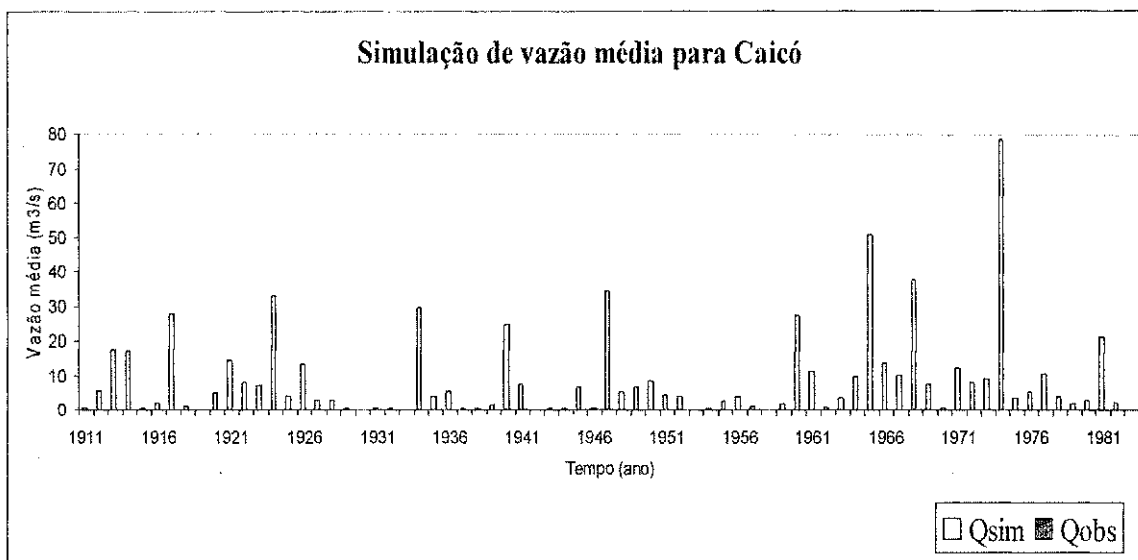


Figura 5.17 - Simulação das vazões médias em Caicó.

5.6 Comparação das séries simuladas com as observadas

As séries simuladas foram comparadas com os valores observados quando disponíveis. A análise de consistência das séries simuladas será apresentada e discutida no Capítulo 6.

Os resultados de algumas bacias não foram analisados (Patos e Caicó), pois não dispunham de dados de vazões observadas para comparação.

5.6.1 Serra Negra do Norte

As figuras 5.18 e 5.19 mostram os resultados obtidos para a bacia de Serra Negra do Norte. De um modo geral, os resultados não foram bons, pois não se tem um bom coeficiente de determinação, tanto para vazões máximas ($R^2 = 0,0886$) quanto para vazões médias ($R^2 = 0,1910$).

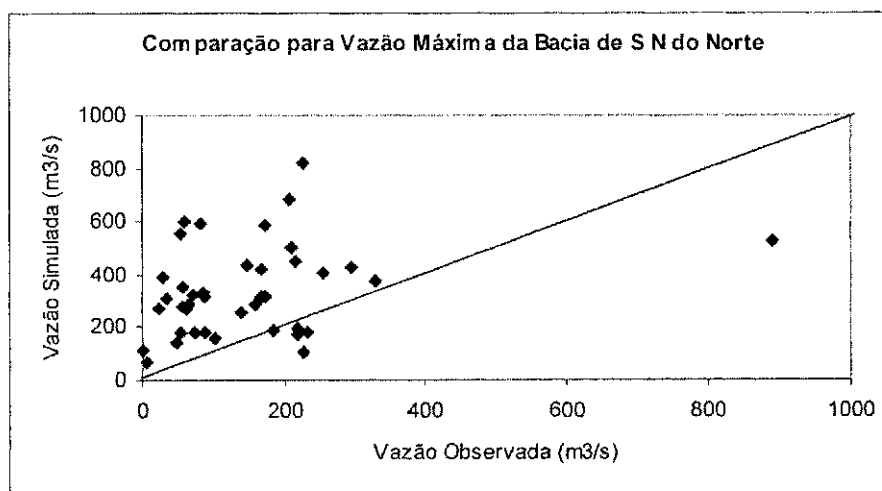


Figura 5.18 - Comparação das Vazões Máximas em Serra Negra do Norte.

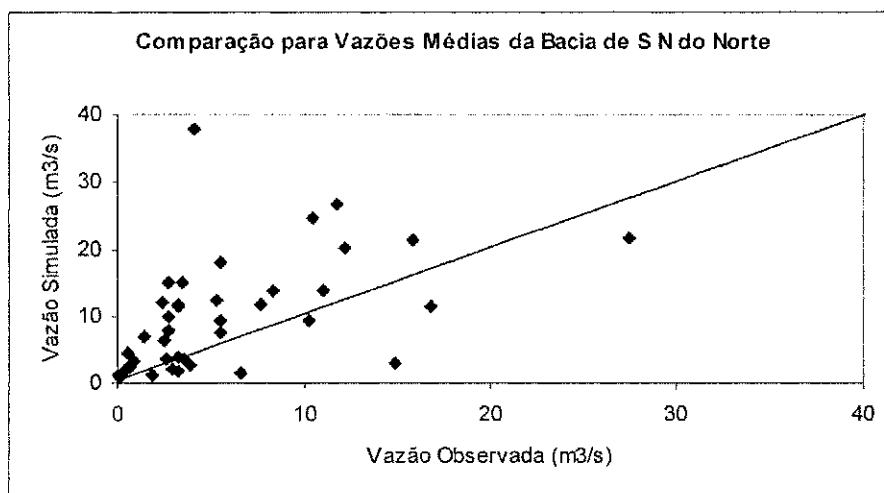


Figura 5.19 - Comparação das Vazões Médias em Serra Negra do Norte

5.6.2 Jardim de Piranhas

Os resultados obtidos para a bacia de Jardim de Piranhas encontram-se nas figuras 5.20 e 5.21. Pode-se observar que, os resultados para vazões médias ($R^2 = 0,4917$) foram melhores do que para vazões máximas ($R^2 = 0,2430$), porém ambos obtiveram baixos coeficientes de determinação.

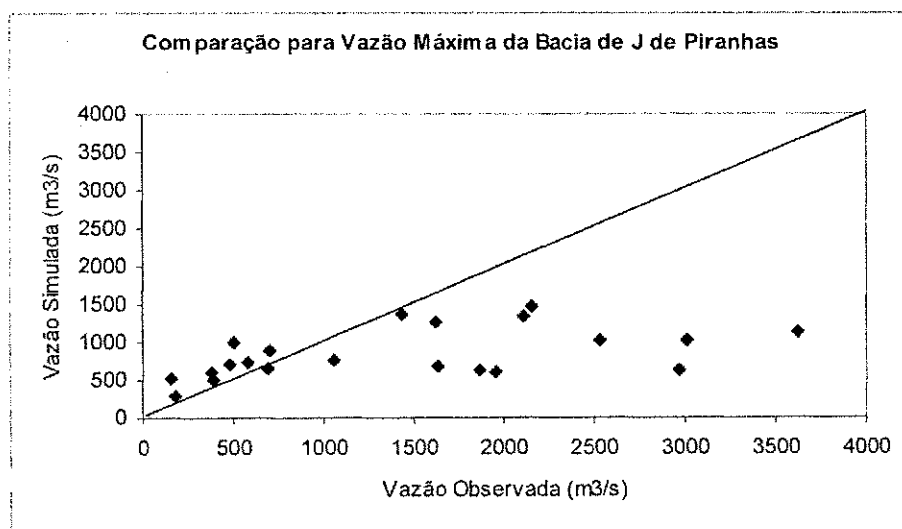


Figura 5.20 - Comparação das Vazões Máximas em Jardim de Piranhas

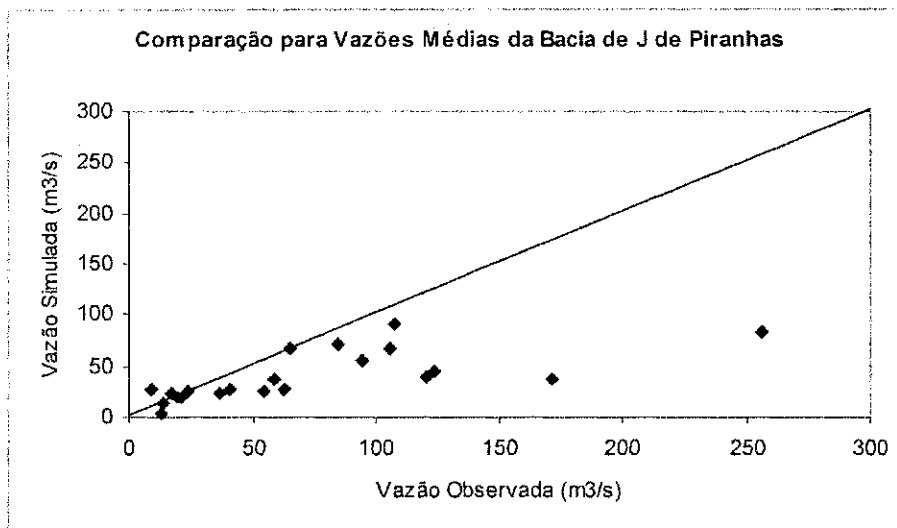


Figura 5.21 - Comparação das Vazões Médias em Jardim de Piranhas.

5.6.3 Sítio Volta

Os resultados apresentados nas figuras 5.22 e 5.23 mostram valores bastante elevados para os coeficientes de determinação, indicando que os resultados das simulações, das vazões máximas ($R^2 = 0,8255$) e médias ($R^2 = 0,9968$), foram razoavelmente bons.

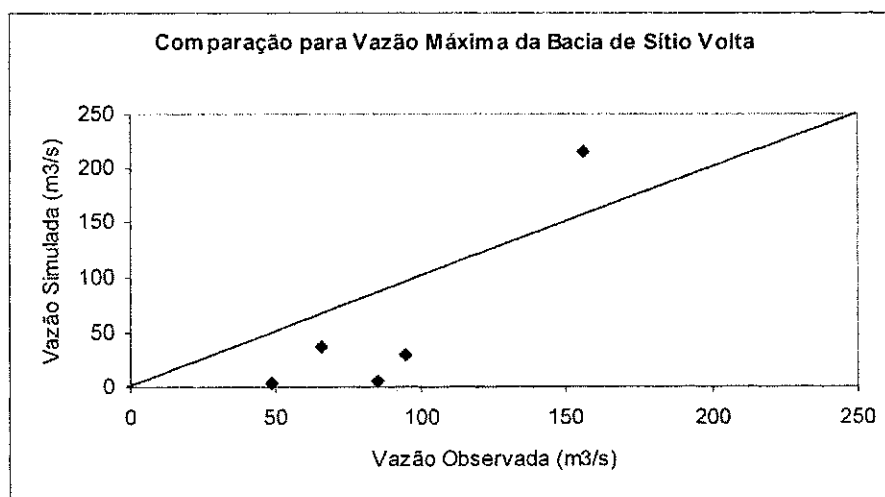


Figura 5.22 - Comparação das Vazões Máximas em Sítio Volta.

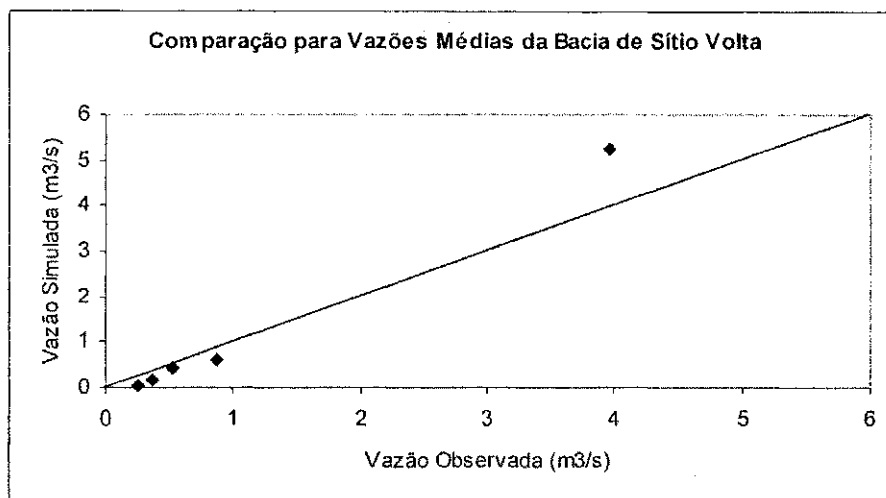


Figura 5.23 - Comparação das Vazões Médias em Sítio Volta.

5.6.4 São Fernando

As figuras 5.24 e 5.25 apresentam os resultados para a bacia de São Fernando. Em geral, os resultados foram bons, pois os valores simulados não diferiram muito dos observados. O coeficiente de determinação para as vazões máximas ($R^2 = 0,2849$) não foi bom, enquanto que para as vazões médias foi melhor ($R^2 = 0,6070$).

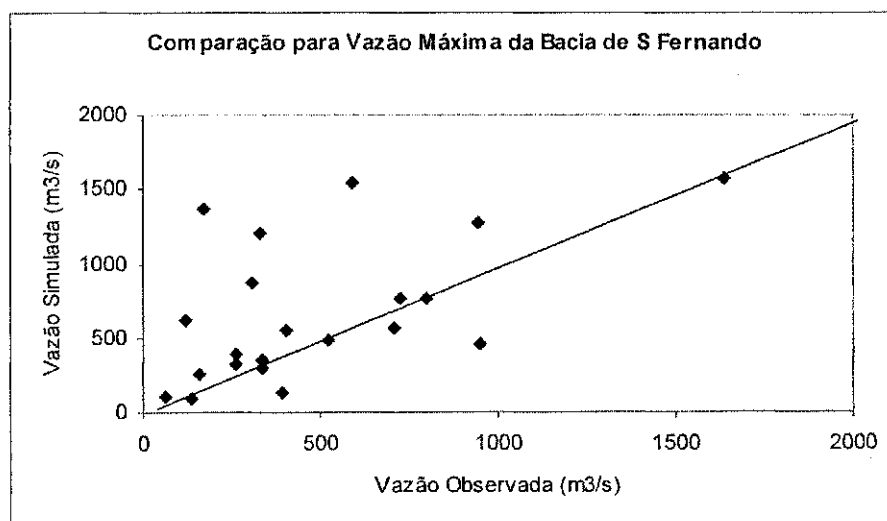


Figura 5.24 - Comparação das Vazões Máximas em São Fernando.

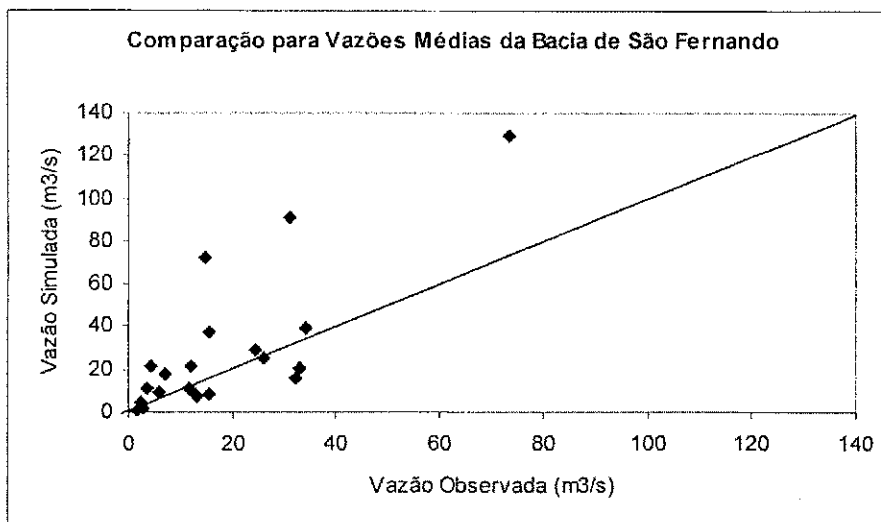


Figura 5.25 - Comparação das Vazões Médias em São Fernando.

5.6.5 Sítio Acauã

Os resultados para Sítio Acauã, apresentados nas figuras 5.26 e 5.27, mostram que as vazões simuladas se aproximam bem das observadas, principalmente para as vazões médias, que obteve valor do coeficiente de determinação muito elevado ($R^2 = 0,9566$). O coeficiente de determinação para vazões máximas também foi bom ($R^2 = 0,6511$).

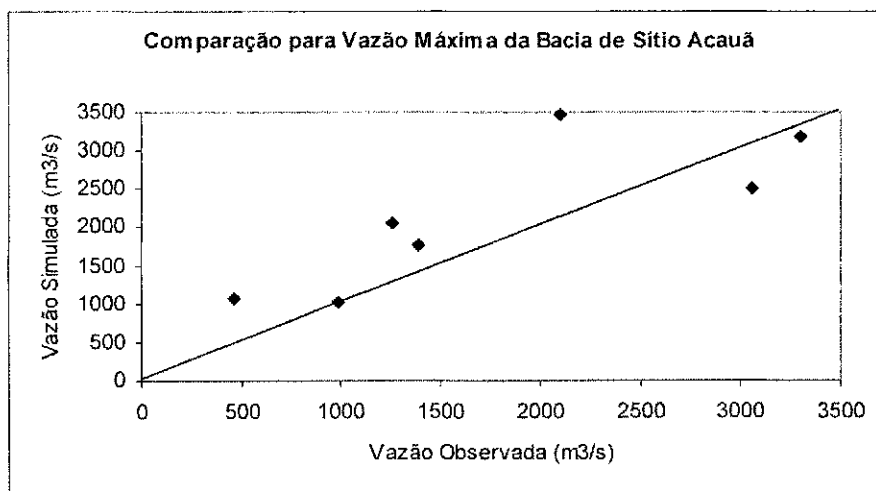


Figura 5.26 - Comparação das Vazões Máximas em Sítio Acauã.

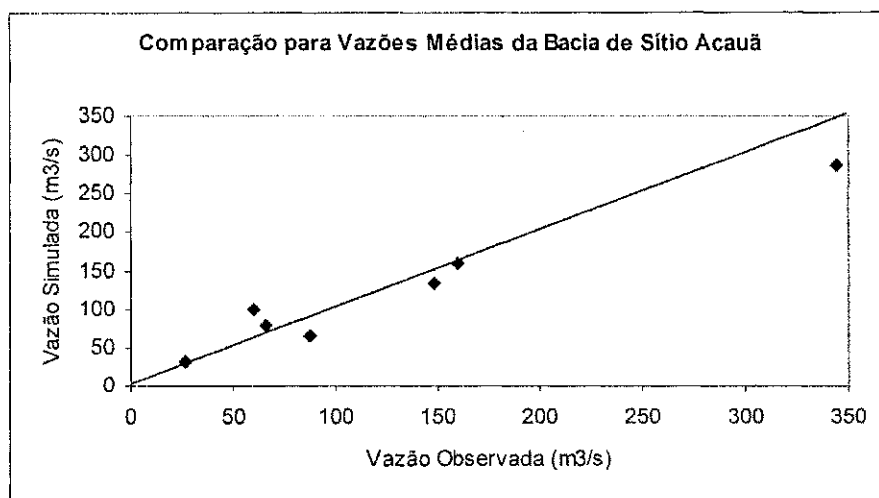


Figura 5.27 - Comparação das Vazões Médias em Sítio Acauã.

5.7 Comentários Finais

Duas séries de longo período foram simuladas, uma de vazões máximas e outra de vazões médias. Nas bacias com dados observados pode-se constatar que os resultados, em geral, foram razoáveis. Porém nas bacias de Serra Negra do Norte e Jardim de Piranhas as simulações não foram boas. A bacia de São Fernando não apresentou bom resultado para as simulações de vazões máximas. Nas bacias sem dados para comparação não se pode fazer uma análise mais profunda, os resultados mostraram alguns poucos valores destacados dos demais, porém a análise de homogeneidade destas séries será apresentada no capítulo 6.

CAPÍTULO 6

6 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Nesta etapa da pesquisa procurou-se relacionar características físicas e climáticas com variáveis hidrológicas típicas (Q_{max} , Q_{mlp} e $Q_{95\%}$) com o objetivo de estimar variáveis hidrológicas em quaisquer lugares da bacia.

6.1 Variáveis Físicas e Climáticas

A tabela 6.1 apresenta as variáveis físicas e climáticas das sub-bacias utilizadas no estudo.

Tabela 6.1 - Variáveis físicas e climáticas das sub-bacias da região

Bacia	A (km ²)	L (km)	S (m/km)	D _d (m/km ²)	P _{med} (mm)	P _{max anual} (mm)	P _{max diária} (mm)
Patos	1850	45,5	14,20	128,6	794,18	2017,33	82,62
Serra Negra do Norte	3330	51,4	6,53	150,6	770,47	1663,93	80,77
Jardim de Piranhas	6500	65,9	3,90	184,9	796,64	1625,67	82,24
Sítio Volta	1890	68,6	3,37	176,9	423,18	1119,80	63,51
Caicó	6280	40,0	3,23	201,7	473,24	1132,05	64,78
São Fernando	9700	12,9	4,44	184,9	526,02	1219,94	69,42
Sítio Acauã	22700	111,4	3,53	183,4	671,48	1461,65	75,48

Onde: A é a área da bacia; L é o comprimento do rio principal; S é a declividade média da bacia; D_d é a densidade de drenagem; P_{med} é a precipitação média anual; P_{max anual} é a precipitação máxima anual média; P_{max diária} é a precipitação máxima diária média.

6.2 Variáveis Hidrológicas: Séries Temporais

A partir das séries simuladas com o modelo NAVMO, foram escolhidas para este estudo séries de vazões anuais máximas (Anexo B.1), de vazões médias de longo período (Anexo B.2) e de vazões com 95% de garantia, que representam as vazões mínimas, estimadas com equações obtidas através de análises de frequência. A tabela 6.2 apresenta equações dos tipos potencial e exponencial que permitem estimar vazões com determinado nível de garantia para cada uma das sub-bacias. As equações exponenciais foram as que melhor representaram as vazões, sendo, portanto, recomendadas para a estimativa das vazões com certa garantia.

Tabela 6.2 - Curvas de Permanência para as sete sub-bacias da região

Bacia	Equação potencial	R ²	Equação exponencial	R ²
Patos	$Q_i = 0,9129 N_g^{-1,2794}$	0,4190	$Q_i = 40,056 e^{-5,0765 N_g}$	0,6517
Serra Negra do Norte	$Q_i = 2,6277 N_g^{-1,0867}$	0,5528	$Q_i = 61,275 e^{-4,1869 N_g}$	0,8108
Jardim de Piranhas	$Q_i = 9,5869 N_g^{-0,833}$	0,5963	$Q_i = 105,4 e^{-3,176 N_g}$	0,8564
Sítio Volta	$Q_i = 0,0832 N_g^{-1,996}$	0,6376	$Q_i = 24,869 e^{-7,5219 N_g}$	0,8946
Caicó	$Q_i = 0,4016 N_g^{-1,8628}$	0,6118	$Q_i = 81,857 e^{-7,0145 N_g}$	0,8571
São Fernando	$Q_i = 0,9428 N_g^{-1,7694}$	0,5827	$Q_i = 150,3 e^{-6,7048 N_g}$	0,8267
Sítio Acauã	$Q_i = 20,236 N_g^{-0,9474}$	0,6551	$Q_i = 297,71 e^{-3,5362 N_g}$	0,9016

Onde: Q_i é a vazão com garantia i (m^3/s) e N_g é o nível de garantia (-).

6.3 Análise de Estacionariedade

Os testes estatísticos mais utilizados para verificar a estacionariedade das séries históricas são os testes paramétricos e os não paramétricos. Segundo Tucci (2002), é necessário que os dados observados sejam independentes entre si e se ajustem à distribuição normal, para a utilização dos testes paramétricos. Esses testes indicam se ocorreram mudanças na média e variância a partir de certo período. O teste de Snedecor, para a variância, e o de Student, para a média, foram os testes utilizados neste estudo.

Para testar as características das séries simuladas foi utilizado um programa desenvolvido pela Superintendência de Usos Múltiplos da ANA (2004). Esse programa divide a série automaticamente em dois períodos, basta informar o ano da divisão. Esse ano é aquele a partir do qual a série começou a apresentar alterações. Para a realização dos testes, as séries foram divididas ao meio.

6.3.1 Testes Paramétricos

Esses testes indicam se ocorreram mudanças na média e variância a partir de certo período. Os resultados para o teste de Snedecor (variância) e o de Student (média) são mostrados a seguir, para 5% de nível de significância.

a) Teste de Snedecor (F)

Os resultados do teste Snedecor se encontram nas tabelas 6.3 e 6.4. O teste de hipótese foi aceito para todas as séries, tanto de vazões máximas quanto de vazões médias, isto é, apresentaram variâncias semelhantes.

Tabela 6.3 - Teste de Snedecor para vazões máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	F _{amostra}	F _{crítico}	Resultado	Ho*
Patos	0,676	1,741	Variâncias são iguais	Aceita
S N do Norte	1,061	1,741	Variâncias são iguais	Aceita
J de Piranhas	0,777	1,752	Variâncias são iguais	Aceita
Sítio Volta	0,589	1,741	Variâncias são iguais	Aceita
Caicó	0,516	1,81	Variâncias são iguais	Aceita
S Fernando	0,721	1,752	Variâncias são iguais	Aceita
Sítio Acauã	0,733	1,757	Variâncias são iguais	Aceita

* Variâncias das séries são iguais; ($\alpha =$ nível de significância).

Tabela 6.4 - Teste de Snedecor para vazões médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	F _{amostra}	F _{crítico}	Resultado	Ho*
Patos	0,568	1,752	Variâncias são iguais	Aceita
S N do Norte	0,561	1,752	Variâncias são iguais	Aceita
J de Piranhas	0,529	1,802	Variâncias são iguais	Aceita
Sítio Volta	0,297	1,802	Variâncias são iguais	Aceita
Caicó	0,209	2,035	Variâncias são iguais	Aceita
S Fernando	0,292	2,035	Variâncias são iguais	Aceita
Sítio Acauã	0,533	2,035	Variâncias são iguais	Aceita

* Variâncias das séries são iguais; ($\alpha =$ nível de significância).

b) Teste de Student (t)

Os resultados do teste de Student são vistos nas tabelas 6.5 e 6.6 e mostram que as médias das séries de vazões máximas diferem para as bacias de Patos, Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas e Sítio Acauã ao nível de significância de 5%. Porém, para vazões médias, as médias das séries só diferem para a bacia de Patos e Serra Negra do Norte.

Tabela 6.5 - Teste de Student para vazões máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	t _{amostra}	t _{crítico}	Resultado	Ho*
Patos	-2,755	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada
S N do Norte	-2,704	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada
J de Piranhas	-3,08	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada
Sítio Volta	-0,771	1,994	Médias são iguais	Aceita
Caicó	-1,599	1,994	Médias são iguais	Aceita
S Fernando	-1,513	1,994	Médias são iguais	Aceita
Sítio Acauã	-2,427	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada

* Médias das séries são iguais; ($\alpha =$ nível de significância).

Tabela 6.6 - Teste de Student para vazões médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	$t_{amostra}$	$t_{crítico}$	Resultado	Ho*
Patos	-2,976	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada
S N do Norte	-3,176	1,994	Médias são diferentes	Rejeitada
J de Piranhas	-1,919	1,994	Médias são iguais	Aceita
Sítio Volta	-0,939	1,994	Médias são iguais	Aceita
Caicó	-0,615	1,994	Médias são iguais	Aceita
S Fernando	-0,901	1,994	Médias são iguais	Aceita
Sítio Acauã	-0,854	1,994	Médias são iguais	Aceita

* Médias das séries são iguais; ($\alpha =$ nível de significância).

6.3.2 Testes não paramétricos

As tabelas 6.7 e 6.8 mostram os resultados obtidos com o teste de Wilcoxon. Pode-se observar nas tabelas que quatro séries de vazões máximas (Patos, Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas e Sítio Acauã) e duas séries de vazões médias (Patos e Serra Negra do Norte) apresentaram resultados em que a hipótese nula foi rejeitada ao nível de significância de 5%.

Tabela 6.7 - Teste de Wilcoxon para vazões máximas ($\alpha = 5\%$)

Bacia	$Z_{amostra}$	$Z_{crítico}$	Resultado	Ho*
Patos	-2,731	1,96	Há tendência	Rejeitada
S N do Norte	-2,4	1,96	Há tendência	Rejeitada
J de Piranhas	-2,714	1,96	Há tendência	Rejeitada
Sítio Volta	-1,006	1,96	Não há tendência	Aceita
Caicó	-1,319	1,96	Não há tendência	Aceita
S Fernando	-1,368	1,96	Não há tendência	Aceita
Sítio Acauã	-2,313	1,96	Há tendência	Rejeitada

* As amostras provêm de um mesmo universo; ($\alpha =$ nível de significância).

Tabela 6.8 - Teste de Wilcoxon para vazões médias ($\alpha = 5\%$)

Bacia	$Z_{amostra}$	$Z_{crítico}$	Resultado	Ho*
Patos	-3,156	1,96	Há tendência	Rejeitada
S N do Norte	-3,045	1,96	Há tendência	Rejeitada
J de Piranhas	-1,571	1,96	Não há tendência	Aceita
Sítio Volta	-1,119	1,96	Não há tendência	Aceita
Caicó	-0,337	1,96	Não há tendência	Aceita
S Fernando	-1,46	1,96	Não há tendência	Aceita
Sítio Acauã	-0,866	1,96	Não há tendência	Aceita

* As amostras provêm de um mesmo universo; ($\alpha =$ nível de significância).

6.3.3 Homogeneidade das Séries

As figuras 6.1 e 6.2 mostram o teste da dupla massa para vazões máximas e médias simuladas, respectivamente. Os resultados mostram que não ocorreram mudanças bruscas nas retas obtidas, comprovando que as séries de vazões simuladas são homogêneas. É possível notar uma pequena mudança de declividade nas retas das séries de vazões médias em São Fernando, Caicó e Serra Negra do Norte, e vazões máximas em São Fernando, mas não comprometem a homogeneidade das séries.

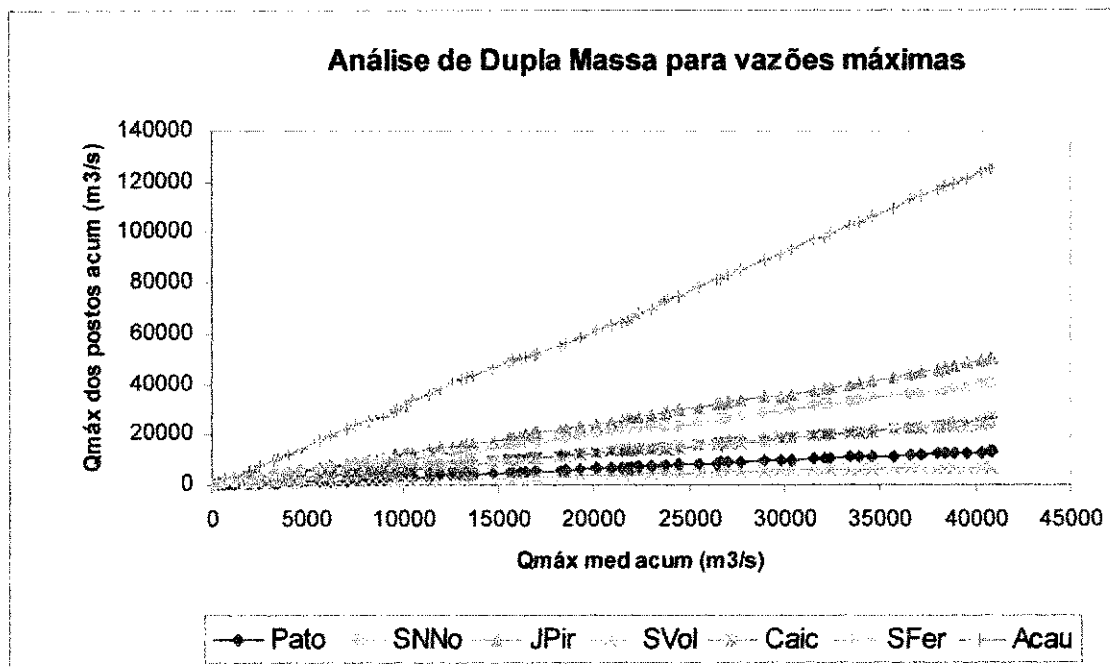


Figura 6.1 - Análise de Dupla Massa das séries de vazões máximas simuladas.

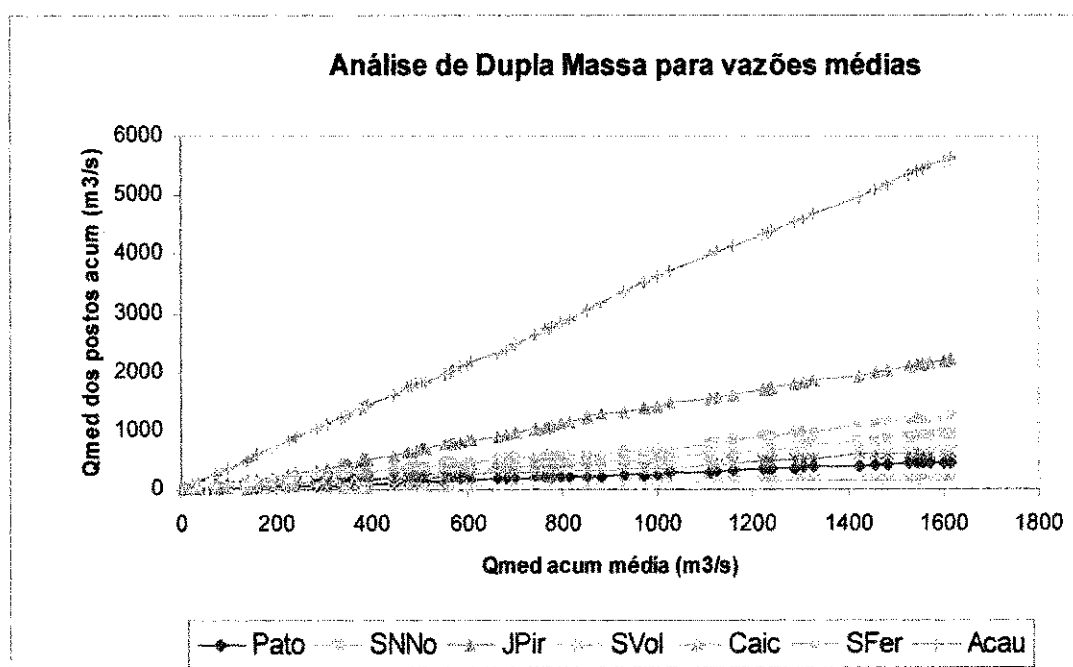


Figura 6.2 - Análise de Dupla Massa das séries de vazões médias simuladas.

6.4 Teste de Ajustamento de Distribuição de Probabilidade

O teste de aderência é usualmente utilizado para verificar qual, ou quais, distribuições de probabilidade se ajustam às frequências dos dados amostrais. A seleção da distribuição de probabilidade foi feita através do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% e os parâmetros das distribuições foram obtidos utilizando o método dos momentos.

As distribuições testadas para as séries de vazões máximas anuais foram as de Pearson III, Gama e Gumbel, enquanto que as testadas para as séries de vazões médias foram as de Pearson III, Gama e Normal.

A planilha eletrônica EXCEL foi utilizada para auxiliar nos cálculos referentes às distribuições de probabilidade e às correlações e regressões entre variáveis hidrológicas e explicativas. Um programa apresentado por Kite (1977) foi utilizado para checar os resultados obtidos para os parâmetros das distribuições.

6.4.1 Teste de Aderência (Teste K-S)

a) Distribuição Normal

A tabela 6.9 apresenta os resultados da distribuição Normal, e mostram que a distribuição foi aceita apenas para a série da bacia de Serra Negra do Norte e que não foi ajustada às frequências dos dados médios para as demais, não podendo assim ser utilizada como modelo probabilístico das séries simuladas.

Tabela 6.9 - Teste K-S para distribuição Normal (Qmed)

	Patos	S N Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
D_{teste}	0,1162	0,1031	0,1151	0,2392	0,2388	0,2206	0,1210
$D_{c,n,5\%}$	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039
Teste Ho	Rejeitada	Aceita	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

d) Distribuição Gumbel

A tabela 6.14 apresenta os resultados da distribuição Gumbel, na qual podemos observar que a distribuição não foi aceita apenas para a bacia de Sítio Volta, porém a diferença entre a variável de teste e a crítica foi insignificante.

Tabela 6.14 - Teste K-S para distribuição Gumbel (Qmax)

	Patos	S N Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
D_{teste}	0,0900	0,0780	0,0693	0,1882	0,1088	0,0857	0,0588
$D_{c,n,5\%}$	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089
Teste Ho	Aceita	Aceita	Aceita	Rejeitada	Aceita	Aceita	Aceita

6.5 Relações entre Vazões, Período de Retorno e Área da Bacia

As tabelas 6.15 a 6.19 mostram as relações, dos tipos potencial e logarítmica, feitas entre vazões e área das sub-bacias para alguns períodos de retorno. Essas relações não foram feitas para a distribuição Normal, visto que não foi aceita no teste de aderência. Pode-se observar que as relações para vazões máximas foram muito boas para as distribuições de Pearson III, Gumbel e Gama com equações potenciais. A distribuição Gama obteve uma melhor relação para vazões médias, porém as relações para a distribuição Pearson III também foram boas. Em geral os melhores resultados foram os obtidos com equações potenciais.

a) Distribuição Pearson III

Tabela 6.15 - Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Pearson III)

P. Retorno	Equação Logarítmica	R ²	Equação Potencial	R ²
2	$Q_2 = 520,54 \ln A - 3930,3$	0,7646	$Q_2 = 0,042 A^{1,0517}$	0,832
5	$Q_5 = 783,15 \ln A - 5870,3$	0,8231	$Q_5 = 0,1712 A^{0,9524}$	0,9311
10	$Q_{10} = 926,85 \ln A - 6917,1$	0,8405	$Q_{10} = 0,3218 A^{0,9058}$	0,9594
50	$Q_{50} = 1048,5 \ln A - 7794,8$	0,8508	$Q_{50} = 0,521 A^{0,8697}$	0,9751
100	$Q_{100} = 1188,5 \ln A - 8794,2$	0,859	$Q_{100} = 0,8636 A^{0,8315}$	0,9858
200	$Q_{200} = 1283,4 \ln A - 9465,7$	0,8627	$Q_{200} = 1,1859 A^{0,8073}$	0,9892
500	$Q_{500} = 1479,3 \ln A - 10834$	0,8665	$Q_{500} = 2,1584 A^{0,7617}$	0,9872

Tabela 6.16 - Regressões entre vazões médias e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Pearson III)

P. Retorno	Equação Logarítmica	R ²	Equação Potencial	R ²
2	$Q_2 = 19,592 \ln A - 150,29$	0,605	$Q_2 = 0,0005 A^{1,1393}$	0,582
5	$Q_5 = 37,642 \ln A - 287,19$	0,6958	$Q_5 = 0,0022 A^{1,071}$	0,7764
10	$Q_{10} = 49,968 \ln A - 380,06$	0,7443	$Q_{10} = 0,0038 A^{1,0508}$	0,8555
50	$Q_{50} = 61,845 \ln A - 469,24$	0,7818	$Q_{50} = 0,0055 A^{1,0374}$	0,9056
100	$Q_{100} = 77,214 \ln A - 584,24$	0,8195	$Q_{100} = 0,0081 A^{1,0249}$	0,9462
200	$Q_{200} = 88,72 \ln A - 670,1$	0,8414	$Q_{200} = 0,0101 A^{1,0176}$	0,965
500	$Q_{500} = 115,34 \ln A - 868,13$	0,8766	$Q_{500} = 0,0154 A^{1,0048}$	0,9864

c) Distribuição Gama

Tabela 6.17 - Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gama)

P. Retorno	Equação Logarítmica	R ²	Equação Potencial	R ²
2	$Q_2 = 479,27 \ln A - 3613,6$	0,7383	$Q_2 = 0,0512 A^{1,0205}$	0,7945
5	$Q_5 = 753,4 \ln A - 5644,6$	0,8077	$Q_5 = 0,1858 A^{0,9388}$	0,9136
10	$Q_{10} = 931,25 \ln A - 6954,1$	0,835	$Q_{10} = 0,3134 A^{0,9085}$	0,9537
50	$Q_{50} = 1097,7 \ln A - 8174,8$	0,8532	$Q_{50} = 0,4576 A^{0,8877}$	0,9762
100	$Q_{100} = 1307,4 \ln A - 9708,4$	0,8692	$Q_{100} = 0,6699 A^{0,8677}$	0,9917
200	$Q_{200} = 1461,1 \ln A - 10829$	0,8776	$Q_{200} = 0,8448 A^{0,856}$	0,9971
500	$Q_{500} = 1808,1 \ln A - 13352$	0,8893	$Q_{500} = 1,2926 A^{0,8354}$	0,9985

Tabela 6.18 - Regressões entre vazões médias e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gama)

P. Retorno	Equação Logarítmica	R ²	Equação Potencial	R ²
2	$Q_2 = 18,61 \ln A - 142,77$	0,6148	$Q_2 = 0,0004 A^{1,1467}$	0,6074
5	$Q_5 = 36,661 \ln A - 279,61$	0,7069	$Q_5 = 0,0020 A^{1,0785}$	0,7951
10	$Q_{10} = 49,733 \ln A - 378,19$	0,7493	$Q_{10} = 0,0036 A^{1,0556}$	0,861
50	$Q_{50} = 62,693 \ln A - 475,66$	0,7801	$Q_{50} = 0,0054 A^{1,0405}$	0,9016
100	$Q_{100} = 79,844 \ln A - 604,34$	0,81	$Q_{100} = 0,0082 A^{1,0265}$	0,9352
200	$Q_{200} = 92,901 \ln A - 702,13$	0,8272	$Q_{200} = 0,0104 A^{1,0184}$	0,9518
500	$Q_{500} = 123,64 \ln A - 931,89$	0,8558	$Q_{500} = 0,0163 A^{1,0046}$	0,9745

d) Distribuição Gumbel

Tabela 6.19 - Regressões entre vazões máximas e área da bacia para alguns períodos de retorno (distribuição Gumbel)

P. Retorno	Equação Logarítmica	R ²	Equação Potencial	R ²
2,33	$Q_{2,33} = 517,18 \ln A - 3884,7$	0,7746	$Q_{2,33} = 0,0966 A^{0,9653}$	0,8649
5	$Q_5 = 770,29 \ln A - 5757,8$	0,8232	$Q_5 = 0,2402 A^{0,9156}$	0,9399
10	$Q_{10} = 958,59 \ln A - 7151,2$	0,8398	$Q_{10} = 0,3535 A^{0,8994}$	0,9617
50	$Q_{50} = 1139,2 \ln A - 8487,8$	0,8496	$Q_{50} = 0,4644 A^{0,8898}$	0,9732
100	$Q_{100} = 1373 \ln A - 10218$	0,8576	$Q_{100} = 0,6098 A^{0,8814}$	0,9817
200	$Q_{200} = 1548,2 \ln A - 11514$	0,8617	$Q_{200} = 0,7197 A^{0,877}$	0,9856
500	$Q_{500} = 1953 \ln A - 14510$	0,8677	$Q_{500} = 0,9752 A^{0,8701}$	0,9909

6.6 Relações entre indicador regional, período de retorno e características da bacia.

As seguintes relações $a_{T_2} = Q_T / Q_2$ e $a_{T_{2,33}} = Q_T / Q_{2,33}$ foram aplicadas nas estimativas de vazões máximas, com período de retorno T, onde a primeira é com base na estimativa da vazão máxima média com 2 anos de recorrência e a segunda com base na estimativa da vazão máxima média da distribuição de Gumbel com 2,33 anos de recorrência.

As etapas de cálculo para os índices de cheia mostrados nas equações 2.6 e 2.7 são descritas a seguir:

- 1º. Correlacionar o índice de cheia (a_T) com o período de retorno e definir uma função de regressão $a_T = f(T)$;
- 2º. Correlacionar Q_2 , $Q_{2,33}$ com as características da bacia (A, L, S, D_d , P) e definir uma função de regressão $Q_i = f(A, L, S, D_d, P)$ onde i indica o índice da vazão;
- 3º. Para a aplicação escolhe-se o período de retorno T desejado e calcula-se o índice a_T ;
- 4º. Para o local sem dados define-se as características da bacia e calcula-se Q_2 , $Q_{2,33}$ com as funções de regressão;
- 5º. Em seguida determina-se $Q_T = a_T \cdot Q_2$, $Q_T = a_T \cdot Q_{2,33}$.

A tabela 6.20 mostra os indicadores de regionalização (Q_{mlp} e $Q_{95\%}$) e vazões (Q_2 e $Q_{2,33}$) utilizados nesta pesquisa. Essas vazões foram estimadas pelas respectivas distribuições de probabilidade.

Tabela 6.20 - Indicadores regionais e vazões das distribuições para a regionalização

Bacia	A (km ²)	Q _{mlp} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Vazões máximas (m ³ /s)			Vazões médias (m ³ /s)	
				Pearson III (Q ₂)	Gama (Q ₂)	Gumbel (Q _{2,33})	Pearson III (Q ₂)	Gama (Q ₂)
Patos	1850	6,36	0,32	151,98	158,54	175,70	5,15	4,84
S N do Norte	3330	12,90	1,14	350,26	329,21	348,74	10,78	10,11
J de Piranhas	6500	30,25	5,15	668,22	642,97	670,75	27,60	25,71
Sítio Volta	1890	2,40	0,02	64,24	59,18	90,00	1,04	1,01
Caicó	6280	8,86	0,10	287,31	248,93	317,23	3,57	3,74
São Fernando	9700	17,03	0,25	492,16	427,62	525,23	8,30	8,35
Sítio Acauã	22700	77,23	10,34	1660,60	1552,69	1665,19	65,28	61,78

Onde, A é a área da bacia; Q_{mlp} é vazão média de longo período; Q_{95%} é a vazão com 95% de garantia; Q₂ é a vazão com 2 anos de período de retorno; Q_{2,33} é a vazão com 2,33 anos de período de retorno.

6.6.1 Regionalização para o índice de cheia (a_T) com regressão simples

A tabela 6.21 mostra os resultados obtidos para a vazão máxima, considerando regressões simples. As equações potenciais foram as melhores para todas as distribuições, porém as equações logarítmicas também apresentaram bons resultados.

Tabela 6.21 - Equações de Regressões Simples para a_T (Q_{max})

Distribuição	Equação Logarítma	R ²	Equação Potencial	R ²
Pearson III	a _T = 0,623 ln T + 0,5944	0,9571	a _T = 1,2452 ln T ^{0,2125}	0,9838
Gama	a _T = 0,545 ln T + 0,7076	0,9502	a _T = 1,252 ln T ^{0,1965}	0,9815
Gumbel	a _T = 0,521 ln T + 0,6280	0,9462	a _T = 1,1584 ln T ^{0,1997}	0,9810

6.6.2 Regionalização para Q_{mlp} com regressões múltiplas

As equações obtidas para a estimativa de Q_{mlp} são apresentadas na tabela 6.22. Em geral, os melhores resultados foram para as equações lineares e as variáveis que mais explicaram a vazão foram a área da bacia e a precipitação média. Entretanto, as equações, lineares e potenciais, apresentaram um aumento no coeficiente de determinação com 5 variáveis.

Tabela 6.22 - Equações de regressões múltiplas para Q_{mlp} .

Equações Potenciais	R ²	Equações Lineares	R ²
$Q_{mlp} = 4,431 \times 10^{-10} A^{1,121} L^{0,076} S^{-0,9} D_d^{-1,958} P^{3,871}$	0,9994	$Q_{mlp} = 2,75 \times 10^{-3} A + 0,196L - 0,457S + 0,024D_d + 0,041P - 37,353$	0,9978
$Q_{mlp} = 2,257 \times 10^{-7} A^{1,666} L^{0,721} S^{1,311} D_d^{-0,404}$	0,8453	$Q_{mlp} = 2,95 \times 10^{-3} A + 0,231L - 0,107S - 0,117D_d + 7,923$	0,9631
$Q_{mlp} = 2,436 \times 10^{-8} A^{1,656} L^{0,739} S^{1,417}$	0,8452	$Q_{mlp} = 2,87 \times 10^{-3} A + 0,255L + 0,54S - 16,697$	0,9615
$Q_{mlp} = 1,622 \times 10^{-5} A^{1,223} L^{0,594}$	0,6588	$Q_{mlp} = 2,75 \times 10^{-3} A + 0,255L - 12,796$	0,9558
$Q_{mlp} = 1,019 \times 10^6 A^{1,708} D_d^{-5,343}$	0,7806	$Q_{mlp} = 3,59 \times 10^{-3} A - 0,16D_d + 23,001$	0,9145
$Q_{mlp} = 3,877 \times 10^{-14} A^{1,2} P^{3,478}$	0,9806	$Q_{mlp} = 3,35 \times 10^{-3} A + 0,04P - 28,447$	0,9570
$Q_{mlp} = 7,364 \times 10^{-7} A^{1,623} S^{1,25}$	0,7335	$Q_{mlp} = 3,48 \times 10^{-3} A + 0,539S - 6,83$	0,9009

Onde Q_{mlp} é vazão média de longo período em m³/s; A é a área da bacia em km²; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km; D_d é a densidade de drenagem em m/km²; P é a precipitação média anual em mm.

6.6.3 Regionalização para $Q_{95\%}$ com regressões múltiplas

A tabela 6.23 mostra os resultados obtidos para $Q_{95\%}$. As variáveis que melhor representaram a vazão foram a área e a precipitação média da bacia. De um modo geral, as melhores equações foram as lineares.

Tabela 6.23 - Equações de regressões múltiplas para $Q_{95\%}$.

Equações Potenciais	R ²	Equações Lineares	R ²
$Q_{95\%} = 1,875 \times 10^{-16} A^{1,287} L^{0,128} S^{-1,786} D_d^{-3,548} P^{6,959}$	0,9991	$Q_{95\%} = 2,66 \times 10^{-4} A + 0,057L - 0,01S + 0,036D_d + 0,01P - 15,136$	0,9908
$Q_{95\%} = 1,381 \times 10^{-11} A^{2,267} L^{1,389} S^{2,189} D_d^{-4,755}$	0,7761	$Q_{95\%} = 3,15 \times 10^{-4} A + 0,065L + 0,075S + 0,002D_d - 4,331$	0,9046
$Q_{95\%} = 2,16 \times 10^{-13} A^{2,248} L^{1,421} S^{2,387}$	0,7760	$Q_{95\%} = 3,17 \times 10^{-4} A + 0,065L + 0,062S - 3,909$	0,9045
$Q_{95\%} = 1,233 \times 10^{-8} A^{1,518} L^{1,177}$	0,5392	$Q_{95\%} = 3,03 \times 10^{-4} A + 0,065L - 3,458$	0,9012
$Q_{95\%} = 5,384 \times 10^{10} A^{2,501} D_d^{-9,092}$	0,6629	$Q_{95\%} = 4,95 \times 10^{-4} A - 0,025D_d + 3,091$	0,7500
$Q_{95\%} = 1,419 \times 10^{-23} A^{1,48} P^{6,113}$	0,9562	$Q_{95\%} = 4,57 \times 10^{-4} A + 0,009P - 6,341$	0,8503
$Q_{95\%} = 1,524 \times 10^{-10} A^{2,184} S^{2,067}$	0,5909	$Q_{95\%} = 4,72 \times 10^{-4} A + 0,062S - 1,396$	0,7329

Onde, $Q_{95\%}$ é vazão com 95% de garantia em m³/s; A é a área da bacia em km²; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km; D_d é a densidade de drenagem em m/km²; P é a precipitação média anual em mm.

6.6.4 Regressões entre vazões das distribuições e características das bacias

a) Distribuição Pearson III

As tabelas 6.24 e 6.25 apresentam as equações obtidas através de regressões múltiplas, que podem ser utilizadas para a estimativa das vazões com período de retorno de 2 anos. A área e a precipitação máxima média diária foram as variáveis mais explicativas para a vazão máxima e, área e precipitação média anual para vazão média, porém as equações com 5 variáveis elevaram os valores de R^2 . Em geral, os melhores resultados foram obtidos para as equações lineares.

**Tabela 6.24 - Equações de Regressões Múltiplas para Q_2
(Distribuição Pearson III – Q_{max})**

Equações Potenciais	R^2	Equações Lineares	R^2
$Q_2 = 4,948 \times 10^{-21} A^{1,275} L^{-0,248} S^{-3,171} D_d^{-3,624} P_a^{9,562}$	0,9974	$Q_2 = 0,063A + 1,468L - 46,535S - 0,475D_d + 0,679P_a - 682,099$	0,9998
$Q_2 = 1,199 \times 10^{-25} A^{1,252} L^{0,402} S^{-0,496} D_d^{-0,207} P_a^{11,95}$	0,9993	$Q_2 = 0,061A + 2,556L - 15,893S + 0,351D_d + 17,81P_a - 1369,347$	0,9999
$Q_2 = 4,685 \times 10^{-10} A^{1,927} L^{1,129} S^{2,021} D_d^{0,362}$	0,81652	$Q_2 = 0,066A + 3,073L - 10,006S - 3,223D_d + 469,16$	0,9628
$Q_2 = 3,434 \times 10^{-9} A^{1,936} L^{1,114} S^{1,93}$	0,81648	$Q_2 = 0,064A + 3,729L + 7,779S - 207,503$	0,9599
$Q_2 = 2,407 \times 10^{-5} A^{1,346} L^{0,917}$	0,5881	$Q_2 = 0,062A + 3,729L - 151,306$	0,9572
$Q_2 = 1,793 \times 10^{10} A^{2,131} D_d^{-2,274}$	0,7114	$Q_2 = 0,075A - 2,56D_d + 408,016$	0,9388
$Q_2 = 6,992 \times 10^{-25} A^{1,391} P_a^{11,496}$	0,9608	$Q_2 = 0,071A + 14,343P_a - 1071,221$	0,9752
$Q_2 = 5,864 \times 10^{-7} A^{1,886} S^{1,679}$	0,6488	$Q_2 = 0,073A + 7,77S - 63,387$	0,9302
$Q_2 = 1,651 \times 10^{-22} A^{1,658} P_a^{5,559}$	0,9207	$Q_2 = 0,074A + 0,3P_a - 462,521$	0,9605

Onde, Q_2 é vazão com 2 anos de período de retorno em m^3/s ; A é a área da bacia em km^2 ; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km ; D_d é a densidade de drenagem em m/km^2 ; P_a é a precipitação máxima média anual em mm. P_d é a precipitação máxima média diária em mm.

**Tabela 6.25 - Equações de Regressões Múltiplas para Q_2
(Distribuição Pearson III – Q_{med})**

Equações Potenciais	R^2	Equações Lineares	R^2
$Q_2 = 1,867 \times 10^{-8} A^{1,147} L^{0,094} S^{-1,585} D_d^{-3,218} P_a^{4,356}$	0,9994	$Q_2 = 0,0021A + 0,247L - 0,410S + 0,042D_d + 0,046P_a - 46,353$	0,9966
$Q_2 = 2,075 \times 10^{-5} A^{1,761} L^{0,821} S^{0,903} D_d^{-1,47}$	0,8317	$Q_2 = 0,0023A + 0,286L - 0,021S - 0,115D_d + 4,015$	0,9415
$Q_2 = 6,329 \times 10^{-9} A^{1,724} L^{0,884} S^{1,288}$	0,8309	$Q_2 = 0,0022A + 0,309L + 0,613S - 20,099$	0,9395
$Q_2 = 2,339 \times 10^{-6} A^{1,331} L^{0,752}$	0,6984	$Q_2 = 0,0021A + 0,309L - 15,673$	0,9300
$Q_2 = 6,953 \times 10^4 A^{1,876} D_d^{-5,03}$	0,7457	$Q_2 = 0,0031A - 0,183D_d + 26,022$	0,8484
$Q_2 = 5,996 \times 10^{-15} A^{1,309} P_a^{3,559}$	0,9526	$Q_2 = 0,0028A + 0,046P_a - 32,708$	0,9183
$Q_2 = 3,733 \times 10^{-7} A^{1,684} S^{1,089}$	0,6935	$Q_2 = 0,0030A + 0,612S - 8,145$	0,8252

Onde, Q_2 é vazão com 2 anos de período de retorno em m^3/s ; A é a área da bacia em km^2 ; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km ; D_d é a densidade de drenagem em m/km^2 ; P é a precipitação média anual em mm.

b) Distribuição Gama

As equações potenciais e lineares, obtidas através de regressões múltiplas, que relacionam a vazão máxima e média, com período de retorno de 2 anos, com as características da bacia são mostradas nas tabelas 6.26 e 6.27. Para a vazão máxima a área e a precipitação máxima média diária foram as variáveis mais explicativas e para a vazão média, a área e precipitação média anual, entretanto as equações com 5 variáveis aumentaram o valor do coeficiente de determinação. Os melhores resultados foram, na maioria, obtidos com as equações lineares.

**Tabela 6.26 - Equações de Regressões Múltiplas para Q_2
(Distribuição Gama – Q_{max})**

Equações Potenciais	R ²	Equações Lineares	R ²
$Q_2 = 6,66 \times 10^{-21} A^{1,234} L^{-0,322} S^{-2,204} D_d^{-2,157} P_a^{7,806}$	0,9917	$Q_2 = 0,058A + 1,84L - 43,49S - 0,126D_d + 0,685P_a - 782,36$	0,9996
$Q_2 = 4,083 \times 10^{-23} A^{1,212} L^{0,205} S^{-0,031} D_d^{0,63} P_a^{9,815}$	0,9953	$Q_2 = 0,056A + 2,937L - 12,586S + 0,711D_d + 17,982P_a - 1477,274$	0,9998
$Q_2 = 2,613 \times 10^{-19} A^{1,766} L^{0,802} S^{2,039} D_d^{1,097}$	0,8350	$Q_2 = 0,061A + 3,458L - 6,641S - 2,897D_d + 378,965$	0,9567
$Q_2 = 1,097 \times 10^{-7} A^{1,793} L^{0,755} S^{1,752}$	0,8346	$Q_2 = 0,058A + 4,05L + 9,348S - 229,355$	0,9540
$Q_2 = 3,397 \times 10^{-4} A^{1,258} L^{0,576}$	0,5899	$Q_2 = 0,056A + 4,049L - 161,83$	0,9496
$Q_2 = 2,027 \times 10^9 A^{1,946} D_d^{-6,431}$	0,7737	$Q_2 = 0,070A - 2,813D_d + 450,851$	0,9253
$Q_2 = 4,741 \times 10^{-21} A^{1,293} P_a^{9,477}$	0,9856	$Q_2 = 0,066A + 14,996P_a - 1117,811$	0,9691
$Q_2 = 3,579 \times 10^{-6} A^{1,799} S^{1,582}$	0,7343	$Q_2 = 0,068A + 9,338S - 72,865$	0,9141
$Q_2 = 3,886 \times 10^{-19} A^{1,519} P_a^{4,734}$	0,9534	$Q_2 = 0,069A + 0,321P_a - 492,366$	0,9527

Onde, Q_2 é vazão com 2 anos de período de retorno em m³/s; A é a área da bacia em km²; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km; D_d é a densidade de drenagem em m/km²; P_a é a precipitação máxima média anual em mm. P_d é a precipitação máxima média diária em mm.

**Tabela 6.27 - Equações de Regressões Múltiplas para Q_2
(Distribuição Gama – Q_{med})**

Equações Potenciais	R ²	Equações Lineares	R ²
$Q_2 = 1,013 \times 10^{-10} A^{1,154} L^{0,074} S^{-1,003} D_d^{-2,153} P^{1,218}$	0,9996	$Q_2 = 0,0020A + 0,226L - 0,371S + 0,037D_d + 0,042P - 42,344$	0,9969
$Q_2 = 9,034 \times 10^{-8} A^{1,749} L^{0,778} S^{1,407} D_d^{-0,46}$	0,83584	$Q_2 = 0,0022A + 0,262L - 0,016S - 0,106D_d + 3,656$	0,9452
$Q_2 = 7,158 \times 10^{-9} A^{1,737} L^{0,798} S^{1,527}$	0,83576	$Q_2 = 0,0021A + 0,284L + 0,568S - 18,574$	0,9432
$Q_2 = 7,921 \times 10^{-6} A^{1,271} L^{0,642}$	0,6419	$Q_2 = 0,0020A + 0,284L - 14,468$	0,9340
$Q_2 = 3,522 \times 10^6 A^{1,89} D_d^{-5,763}$	0,7684	$Q_2 = 0,0029A - 0,167D_d + 23,935$	0,8571
$Q_2 = 3,671 \times 10^{-15} A^{1,245} P^{3,765}$	0,9795	$Q_2 = 0,0027A + 0,042P - 30,094$	0,9230
$Q_2 = 2,842 \times 10^{-7} A^{1,701} S^{1,348}$	0,7192	$Q_2 = 0,0028A + 0,568S - 7,612$	0,8350

Onde, Q_2 é vazão com 2 anos de período de retorno em m³/s; A é a área da bacia em km²; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km; D_d é a densidade de drenagem em m/km²; P é a precipitação média anual em mm.

c) Distribuição Gumbel

A tabela 6.28 mostra as equações obtidas para estimar as vazões com 2,33 anos de período de retorno. A área e a precipitação máxima média diária foram as variáveis mais explicativas, mas houve uma melhor correlação com 5 variáveis. Todas as correlações foram boas, porém as melhores foram para as equações lineares.

**Tabela 6.28 - Equações de Regressões Múltiplas para $Q_{2,33}$
(Distribuição Gumbel – Qmax)**

Equações Potenciais	R ²	Equações Lineares	R ²
$Q_{2,33} = 3,207 \times 10^{-19} A^{1,183} L^{-0,29} S^{-2,086} D_d^{-2,042} P_a^{7,217}$	0,9931	$Q_{2,33} = 0,063A + 1,423L - 39,766S - 0,052D_d + 0,619P_a - 685,262$	0,9997
$Q_{2,33} = 2,954 \times 10^{-21} A^{1,163} L^{0,197} S^{-0,075} D_d^{0,535} P_d^{9,067}$	0,9962	$Q_{2,33} = 0,062A + 2,413L - 11,864S + 0,706D_d + 16,245P_d - 1313,567$	0,9998
$Q_{2,33} = 1,996 \times 10^{-9} A^{1,675} L^{0,749} S^{1,837} D_d^{0,966}$	0,8423	$Q_{2,33} = 0,066A + 2,885L - 6,494S - 2,555D_d + 363,336$	0,9681
$Q_{2,33} = 4,083 \times 10^{-7} A^{1,699} L^{0,708} S^{1,583}$	0,8419	$Q_{2,33} = 0,064A + 3,405L + 7,602S - 172,987$	0,9663
$Q_{2,33} = 5,843 \times 10^{-4} A^{1,315} L^{0,546}$	0,6169	$Q_{2,33} = 0,063A + 3,405L - 118,07$	0,9636
$Q_{2,33} = 2,401 \times 10^8 A^{1,839} D_d^{-5,827}$	0,7815	$Q_{2,33} = 0,074A - 2,347D_d + 394,18$	0,9480
$Q_{2,33} = 2,435 \times 10^{-19} A^{1,246} P_d^{8,665}$	0,9851	$Q_{2,33} = 0,071A + 13,134P_d - 960,815$	0,9792
$Q_{2,33} = 1,069 \times 10^{-5} A^{1,667} S^{1,424}$	0,7428	$Q_{2,33} = 0,072A + 7,594S - 41,4$	0,9408
$Q_{2,33} = 1,452 \times 10^{-17} A^{1,454} P_a^{4,32}$	0,9533	$Q_{2,33} = 0,073A + 0,277P_a - 407,004$	0,9671

Onde, $Q_{2,33}$ é vazão com 2,33 anos de período de retorno em m³/s; A é a área da bacia em km²; L é o comprimento do rio principal em km; S é a declividade média da bacia em m/km; D_d é a densidade de drenagem em m/km²; P_a é a precipitação máxima média anual em mm. P_d é a precipitação máxima média diária em mm.

6.7 Regionalização de Parâmetros

Foram construídas isolinhas para os parâmetros α , β e γ da distribuição Pearson III dada pela equação 2.25, regionalmente aceita em toda a bacia do rio Piranhas/PB-Açu/RN.

Para a regionalização da curva de permanência foram construídos mapas de isolinhas dos parâmetros a e b da equação potencial (do tipo $Q_t = a \cdot N_C^b$) a partir dos resultados desta pesquisa e dos resultados obtidos por Crispim (2005) para a parte alta do rio Piranhas/PB, permitindo a determinação da vazão com dado nível de garantia em qualquer local da região do rio Piranhas/PB-Açu/RN.

As tabelas 6.29 e 6.30 mostram os parâmetros utilizados para a construção dos mapas de isolinhas para a bacia do rio Piranhas/PB-Açu/RN e os mapas obtidos para os parâmetros a , b , α , β e γ encontram-se nas figuras 6.3 a 6.7.

De posse dos resultados obtidos nas pesquisas de Nunes (2005), para o alto rio Paraíba/PB, Almeida (2008), para o médio e baixo rio Paraíba/PB, Crispim (2005), para o alto rio Piranhas e, na presente pesquisa, para o baixo e médio rio Piranhas (ver Anexos B.1 a

B.8), foi possível construir isolinhas dos parâmetros da distribuição de Pearson III para todo o estado da Paraíba, bem como da curva de permanência. As tabelas 6.31 e 6.32 mostram os parâmetros utilizados para a construção das isolinhas para o Estado da Paraíba e os mapas obtidos para os parâmetros a , b , α , β e γ encontram-se nas figuras 6.8 a 6.12.

Tabela 6.29 - Parâmetros a e b da curva de permanência $Q_i = aN_G^b$

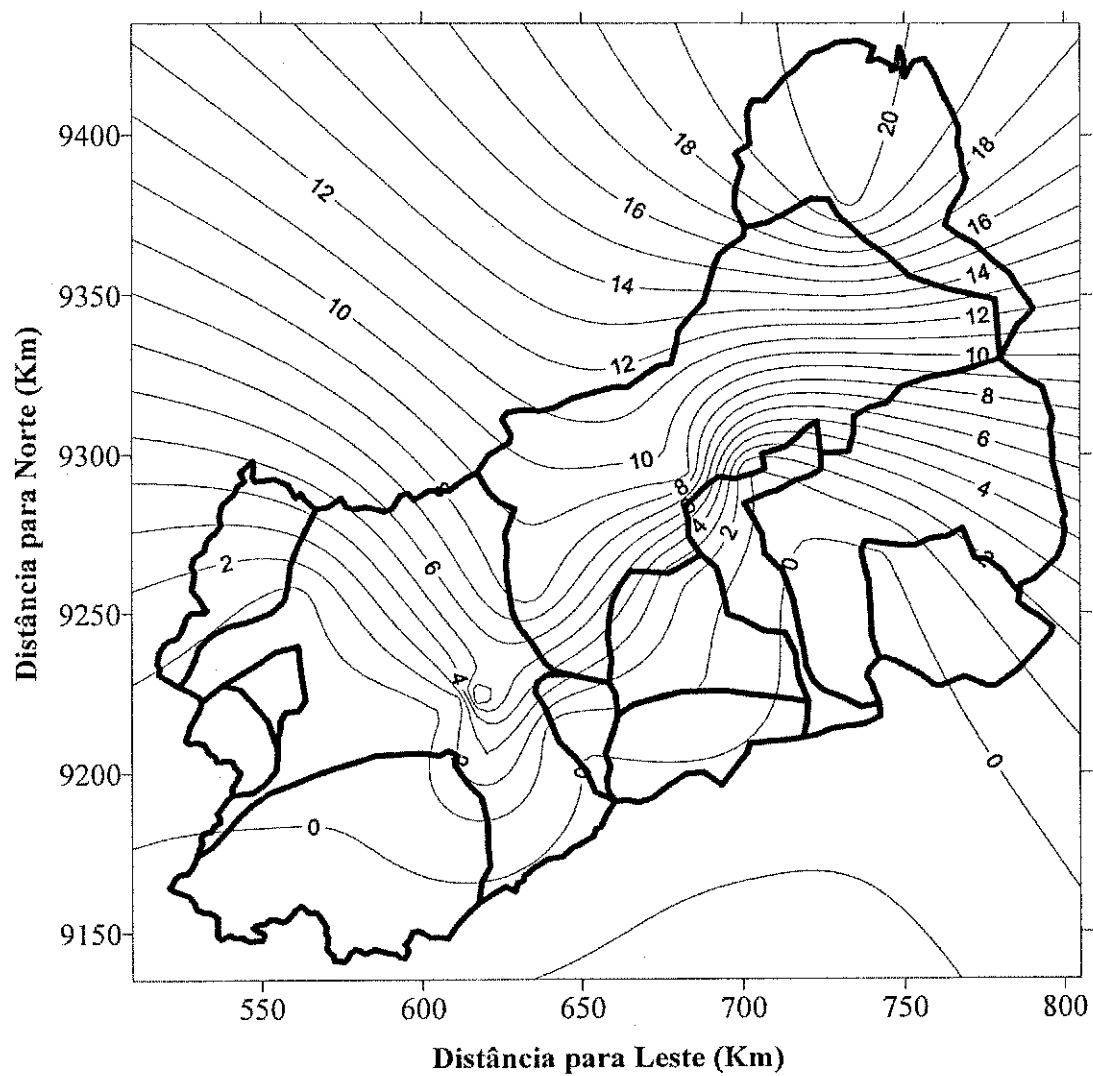
Estação	X (km)	Y (km)	a	b
Piancó ¹	618,91	9203,51	3,0053	-0,897
Emas ¹	642,81	9213,84	0,0596	-1,7637
S R Coremas ¹	616,50	9224,17	7,8075	-0,7746
Aguiar ¹	592,67	9215,00	0,2076	-0,7549
B M D'Água ¹	612,83	9222,33	1,3279	-1,0775
P Ferrado ¹	619,34	9229,76	5,0904	-0,7551
S J Piranhas ¹	556,00	9213,17	0,7315	-1,0177
A Navarro ¹	561,50	9255,33	0,624	-0,9508
S Vassouras ¹	633,00	9257,17	8,7346	-0,8498
Patos ²	691,30	9223,49	0,9129	-1,2794
S N Norte ²	676,85	9262,79	2,6277	-1,0867
J Piranhas ²	682,23	9294,41	9,5869	-0,833
S Volta ²	744,65	9270,70	0,0832	-1,996
Caicó ²	711,04	9286,38	0,4016	-1,8628
S Fernando ²	701,17	9295,27	0,9428	-1,7694
S Acauã ²	732,98	9378,20	20,236	-0,9474

(1) Crispim (2005); (2) Presente estudo; X, Y = coordenadas das estações;
 Q_i = Vazão com garantia i (m^3/s); N_G = nível de garantia (-).

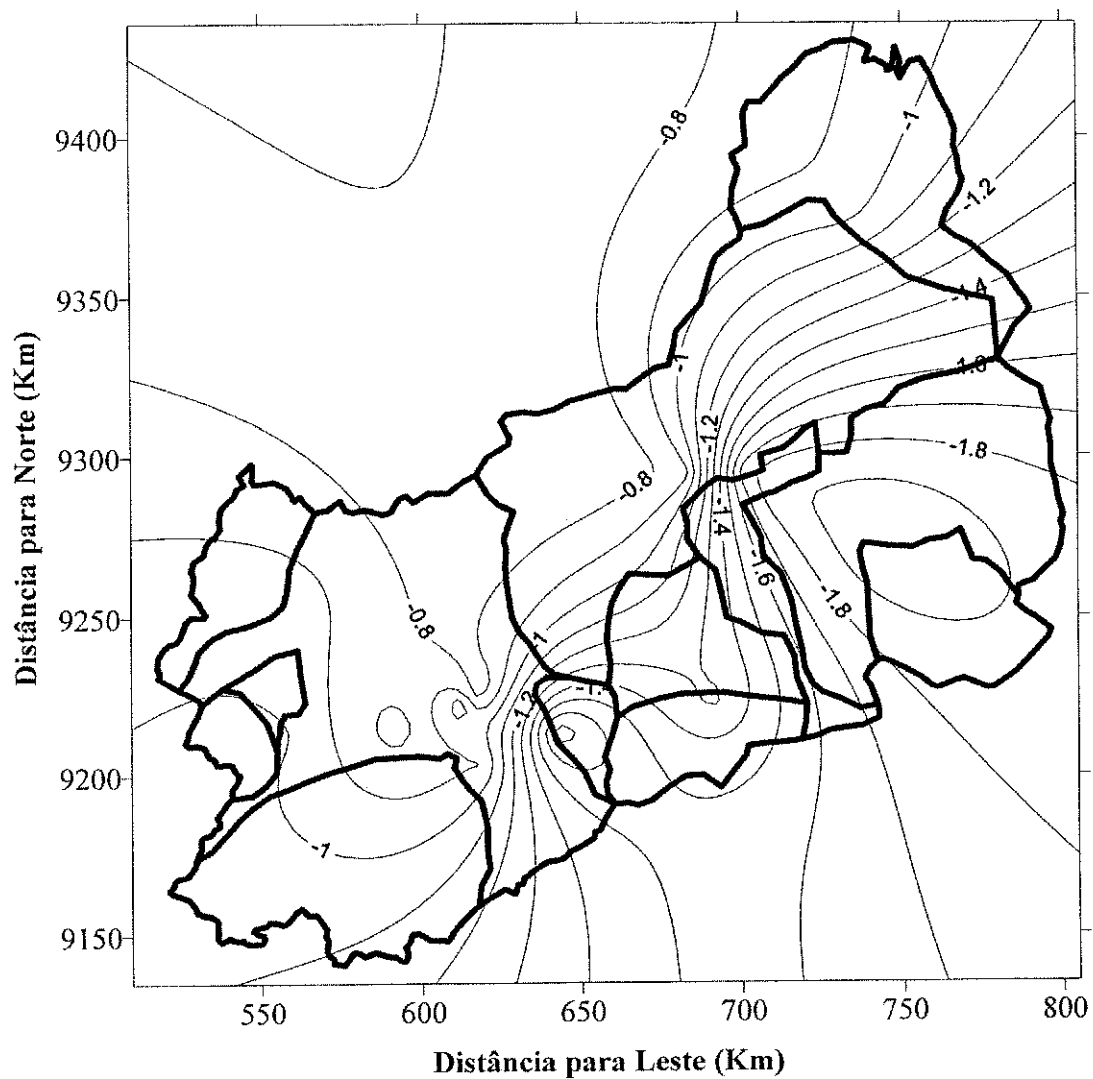
Tabela 6.30 - Parâmetros da distribuição de Pearson III (Q_{max})

Estação	X (km)	Y (km)	α	β	γ
Piancó ¹	618,91	9203,51	114,53	3,01	-62,14
Emas ¹	642,81	9213,84	45,86	1,12	-1,45
S R Coremas ¹	616,50	9224,17	162,36	1,98	94,35
Aguiar ¹	592,67	9215,00	14,90	1,76	-0,76
B M D'Água ¹	612,83	9222,33	76,45	3,48	-72,33
P Ferrado ¹	619,34	9229,76	84,49	3,88	-76,10
S J Piranhas ¹	556,00	9213,17	28,32	6,07	-43,54
A Navarro ¹	561,50	9255,33	33,74	3,35	-21,90
S Vassouras ¹	633,00	9257,17	274,28	1,80	-33,45
Patos ²	691,30	9223,49	97,38	1,41	44,67
S N Norte ²	676,85	9262,79	24,67	53,17	-953,28
J Piranhas ²	682,23	9294,41	57,41	28,34	-939,73
S Volta ²	744,65	9270,70	105,55	1,11	-21,10
Caicó ²	711,04	9286,38	142,80	4,58	-320,03
S Fernando ²	701,17	9295,27	178,25	6,94	-686,56
S Acauã ²	732,98	9378,20	165,37	31,67	-3521,47

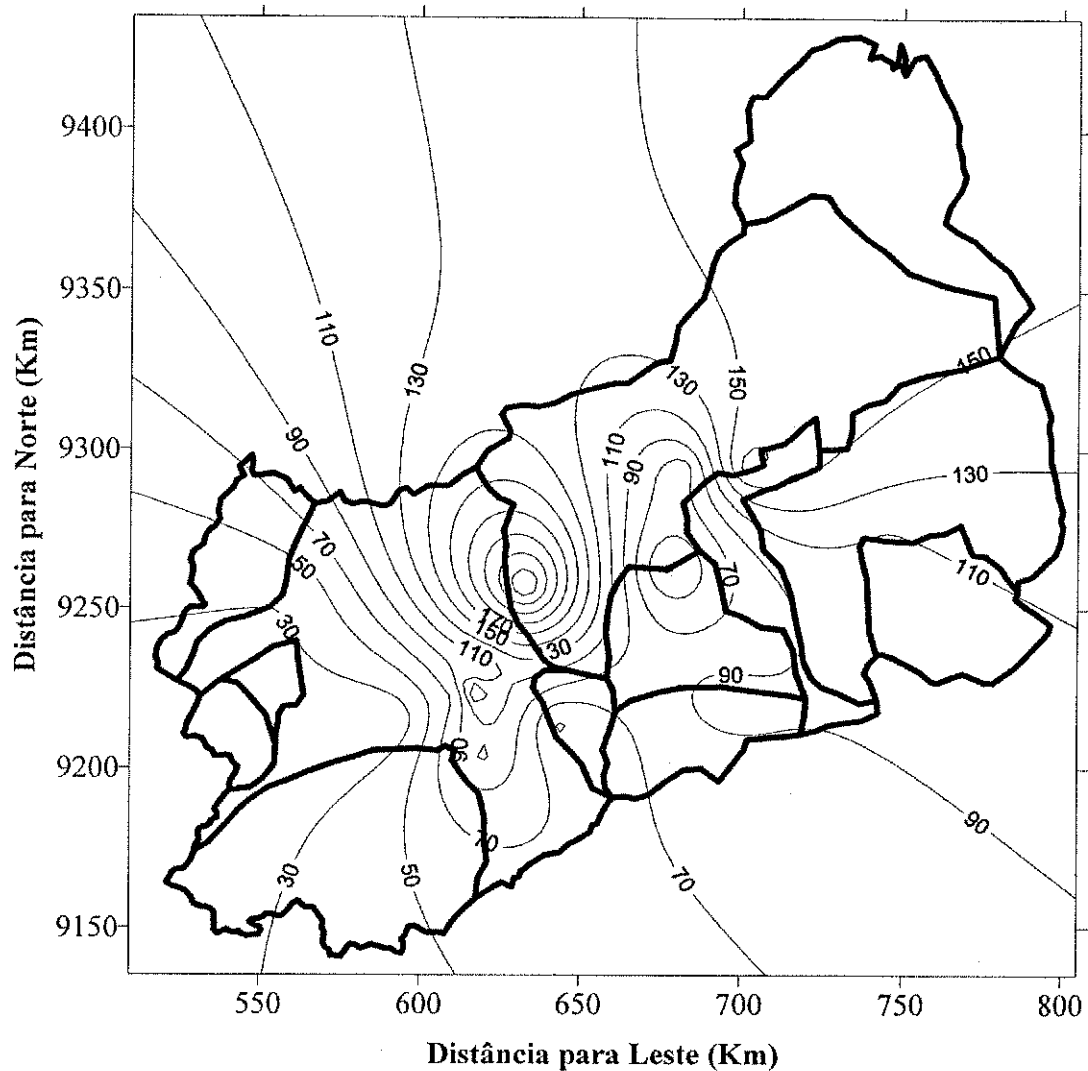
(1) Crispim (2005); (2) Presente estudo; X, Y = coordenadas das estações;



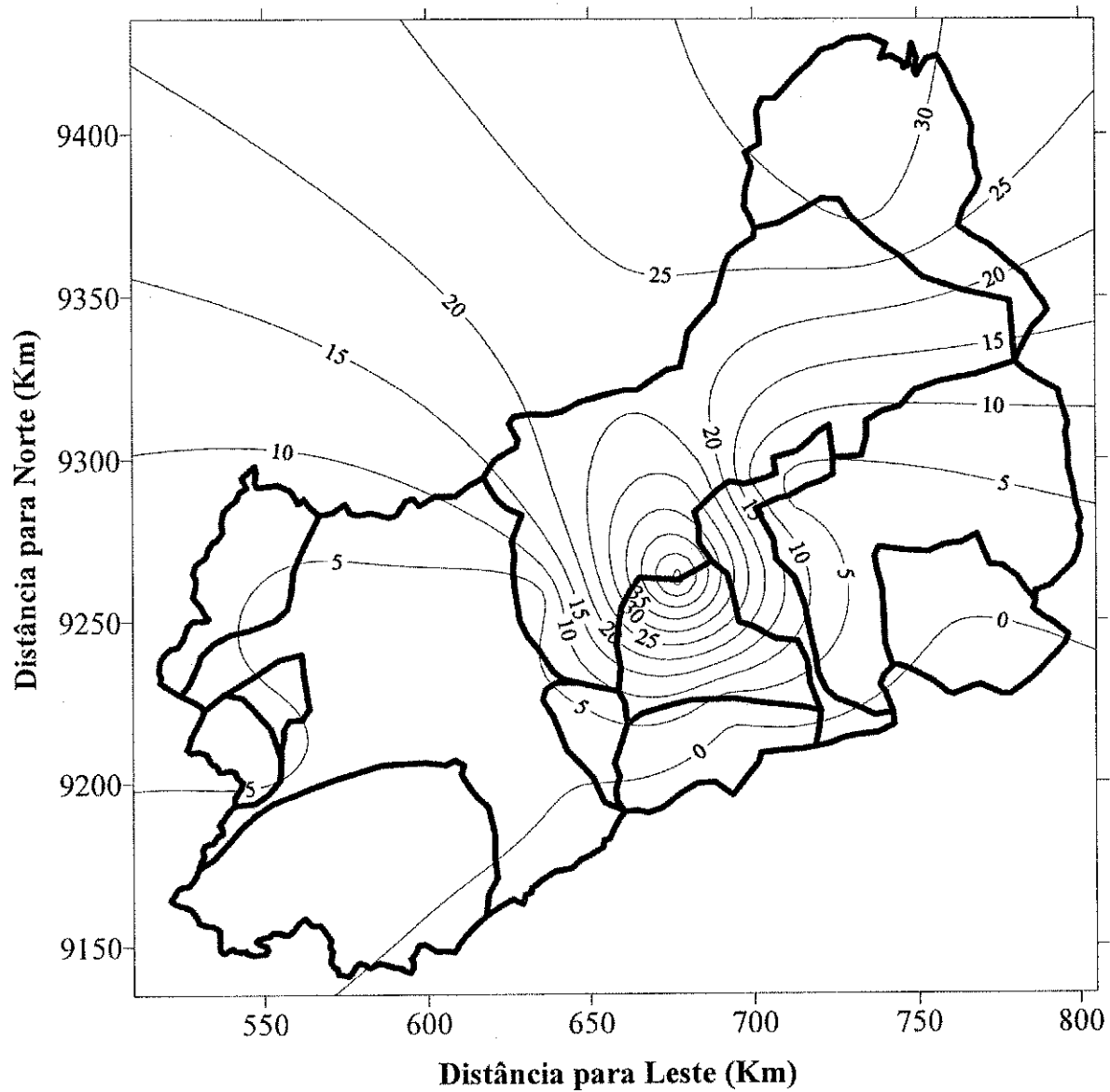
**Figura 6.3 - Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro a
(Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN)**



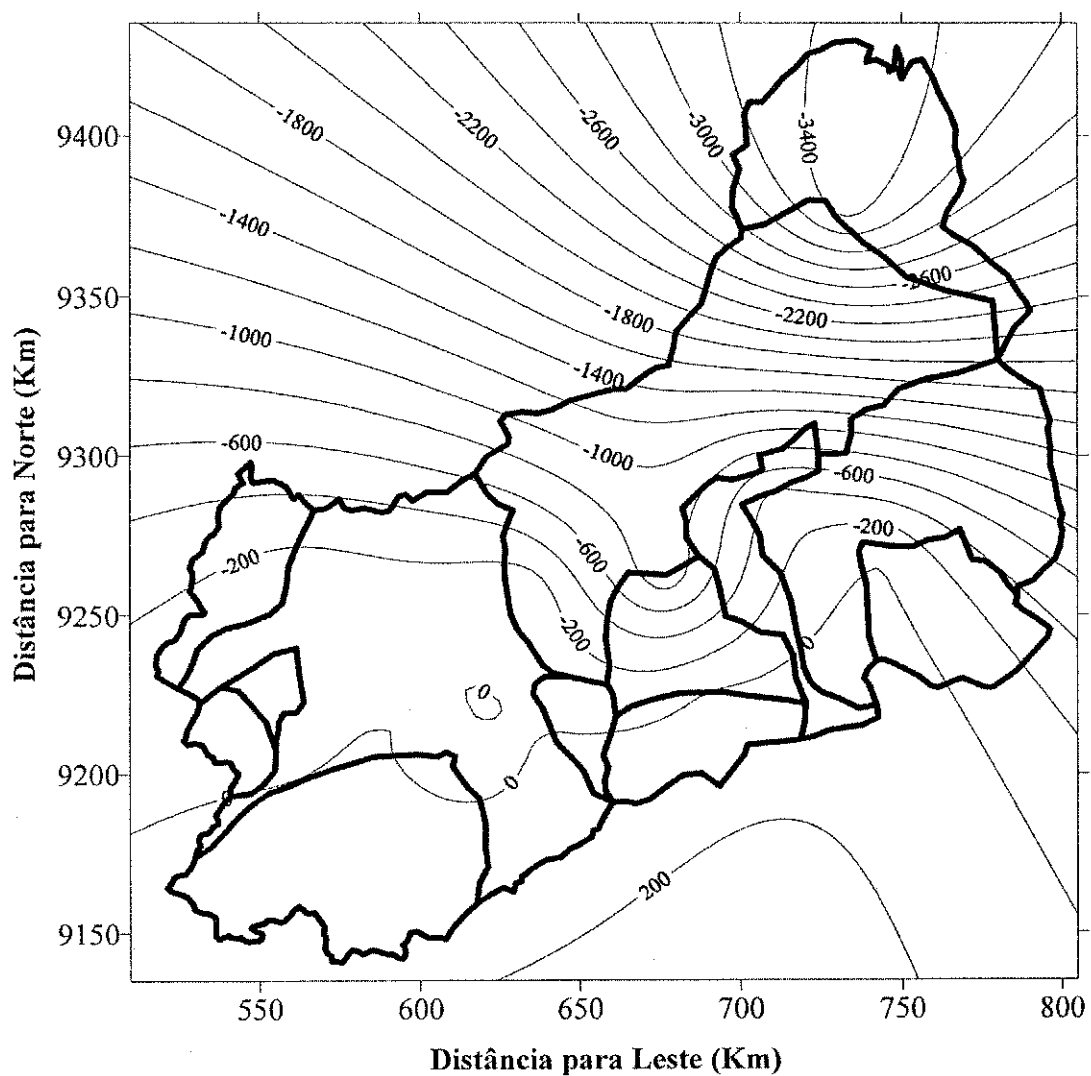
**Figura 6.4 - Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro b
(Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN)**



**Figura 6.5 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro α
(Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN)**



**Figura 6.6 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro β
(Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN)**



**Figura 6.7 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro γ
(Bacia Hidrográfica Piranhas/PB-Açu/RN)**

Tabela 6.31 - Parâmetros a e b da curva de permanência $Q_i = aN_G^b$ para a Paraíba

Estação	X (km)	Y (km)	a	b
Piancó ¹	618,91	9203,51	3,0053	-0,897
Emas ¹	642,81	9213,84	0,0596	-1,7637
S R Coremas ¹	616,50	9224,17	7,8075	-0,7746
Aguiar ¹	592,67	9215,00	0,2076	-0,7549
B M D'Água ¹	612,83	9222,33	1,3279	-1,0775
P Ferrado ¹	619,34	9229,76	5,0904	-0,7551
S J Piranhas	556,00	9213,17	0,7315	-1,0177
A Navarro ¹	561,50	9255,33	0,624	-0,9508
S Vassouras ¹	633,00	9257,17	8,7346	-0,8498
Patos ²	691,30	9223,49	0,9129	-1,2794
S N Norte ²	676,85	9262,79	2,6277	-1,0867
J Piranhas ²	682,23	9294,41	9,5869	-0,833
S Volta ²	744,65	9270,70	0,0832	-1,996
Caicó ²	711,04	9286,38	0,4016	-1,8628
S Fernando ²	701,17	9295,27	0,9428	-1,7694
S Acauã ²	732,98	9378,20	20,236	-0,9474
Caraúbas ³	775,73	9145,88	0,3676	-1,2346
Taperoá ³	743,00	9204,00	0,1591	-0,9546
Poço de Pedras ³	783,30	9182,21	0,5668	-1,041
Boqueirão ³	816,33	9172,83	1,3098	-1,0336
BS5 ³	741,74	9113,05	0,0636	-1,4341
BS9 ³	739,70	9123,05	0,0543	-1,421
BS14 ³	752,73	9146,52	0,0874	-1,3313
BS25 ³	806,02	9162,84	0,4962	-1,1634
BS35 ³	766,27	9185,23	0,3372	-1,0498
Acauã ⁴	865,00	9180,00	5,0088	-0,8948
Guarita ⁴	892,48	9183,47	5,9989	-0,8366
SBBA ⁴	921,70	9202,43	7,7972	-0,7838
SBBB ⁴	892,54	9207,86	1,1895	-0,6408
SBBC ⁴	919,52	9209,17	2,3569	-0,6244
Ponte da Batalha ⁴	933,29	9208,82	12,515	-0,7226
Foz alto Paraíba ⁴	955,99	9222,92	15,502	-0,6935

(1) Crispim (2005); (2) Presente estudo; (3) Nunes (2005); (4) Almeida (2008);
X,Y=coordenadas das estações; Q_i = Vazão com garantia i (m³/s); N_G = nível de garantia (-).

Tabela 6.32 - Parâmetros da distribuição de Pearson III (Q_{max}) para a Paraíba

Estação	X (km)	Y (km)	α	β	γ
Piancó ¹	618,91	9203,51	114,53	3,01	-62,14
Emas ¹	642,81	9213,84	45,86	1,12	-1,45
S R Coremas ¹	616,50	9224,17	162,36	1,98	94,35
Aguiar ¹	592,67	9215,00	14,90	1,76	-0,76
B M D'Água ¹	612,83	9222,33	76,45	3,48	-72,33
P Ferrado ¹	619,34	9229,76	84,49	3,88	-76,10
S J Piranhas ¹	556,00	9213,17	28,32	6,07	-43,54
A Navarro ¹	561,50	9255,33	33,74	3,35	-21,90
S Vassouras ¹	633,00	9257,17	274,28	1,80	-33,45
Patos ²	691,30	9223,49	97,38	1,41	44,67
S N Norte ²	676,85	9262,79	24,67	53,17	-953,28
J Piranhas ²	682,23	9294,41	57,41	28,34	-939,73
S Volta ²	744,65	9270,70	105,55	1,11	-21,10
Caicó ²	711,04	9286,38	142,80	4,58	-320,03
S Fernando ²	701,17	9295,27	178,25	6,94	-686,56
S Acauã ²	732,98	9378,20	165,37	31,67	-3521,47
Caraúbas ³	775,73	9145,88	31,32	4,56	-49,19
Taperoá ³	743,00	9204,00	6,95	7,70	-24,60
Poço de Pedras ³	783,30	9182,21	90,86	0,73	26,40
Boqueirão ³	816,33	9172,83	58,27	5,20	-102,37
BS5 ³	741,74	9113,05	26,22	0,92	6,65
BS9 ³	739,70	9123,05	8,74	5,41	-21,65
BS14 ³	752,73	9146,52	12,74	4,95	-27,90
BS25 ³	806,02	9162,84	35,84	5,71	-80,54
BS35 ³	766,27	9185,23	63,55	0,80	12,18
Acauã ⁴	865,00	9180,00	176,24	2,43	-0,43
Guarita ⁴	892,48	9183,47	169,74	3,16	-71,74
SBBA ⁴	921,70	9202,43	157,20	4,39	-174,80
SBBB ⁴	892,54	9207,86	23,20	4,31	-18,87
SBBC ⁴	919,52	9209,17	39,49	4,34	-34,17
Ponte da Batalha ⁴	933,29	9208,82	193,70	4,73	-229,75
Foz alto Paraíba ⁴	955,99	9222,92	214,21	4,29	-170,54

(1) Crispim (2005); (2) Presente estudo; (3) Nunes (2005); (4) Almeida (2008);
X, Y=coordenadas das estações

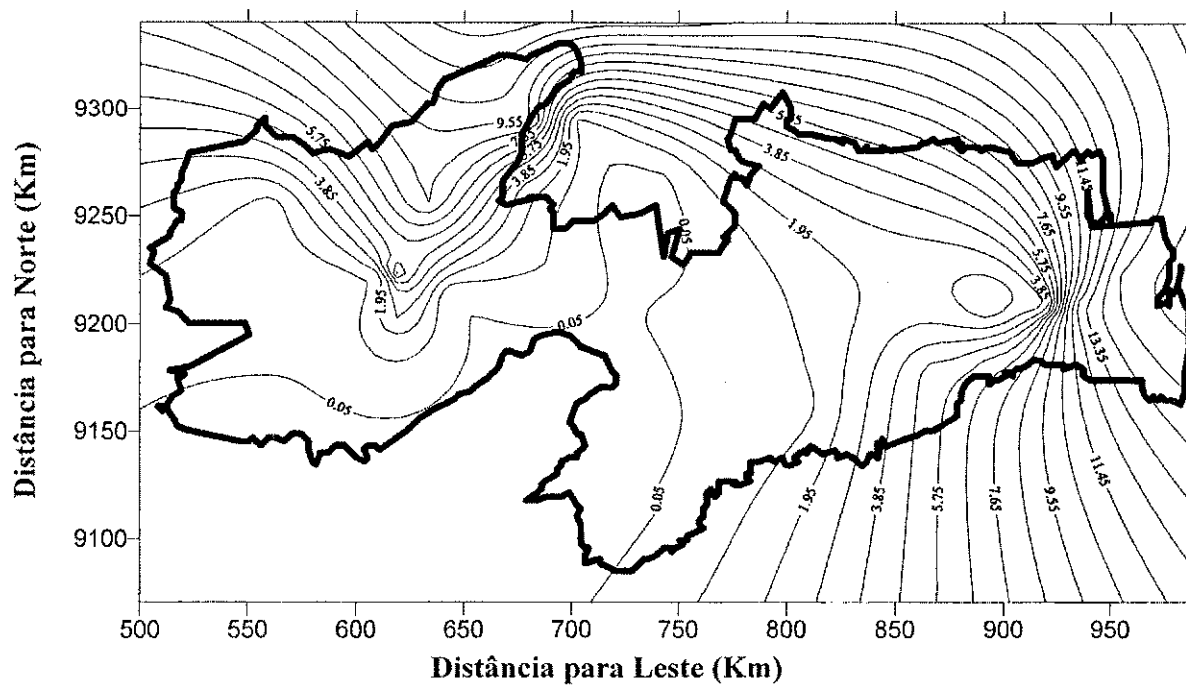


Figura 6.8 - Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro *a* (Estado da Paraíba)

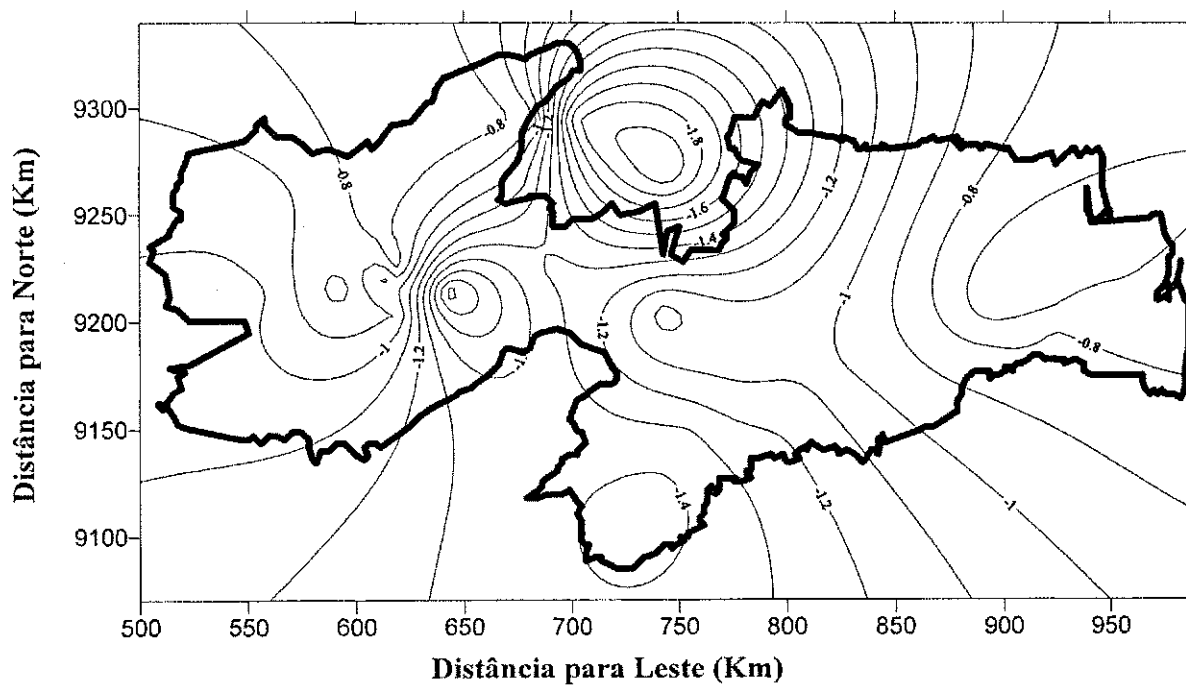


Figura 6.9 - Isolinhas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro *b* (Estado da Paraíba)

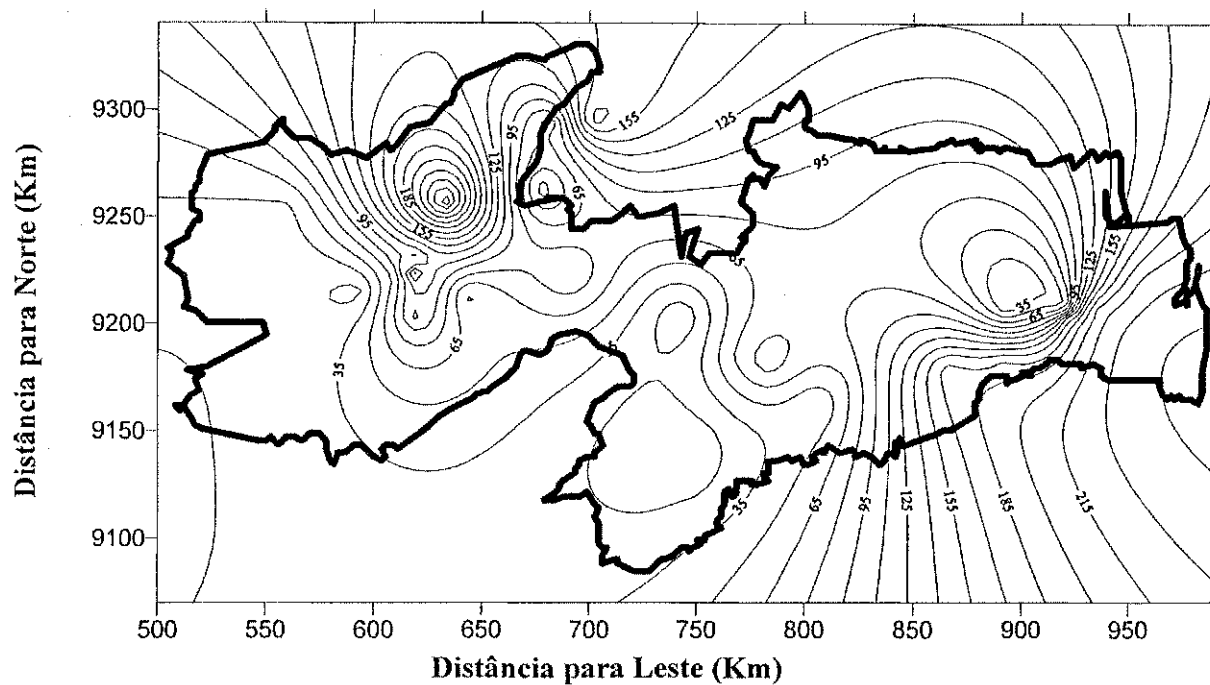


Figura 6.10 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro α (Estado da Paraíba)

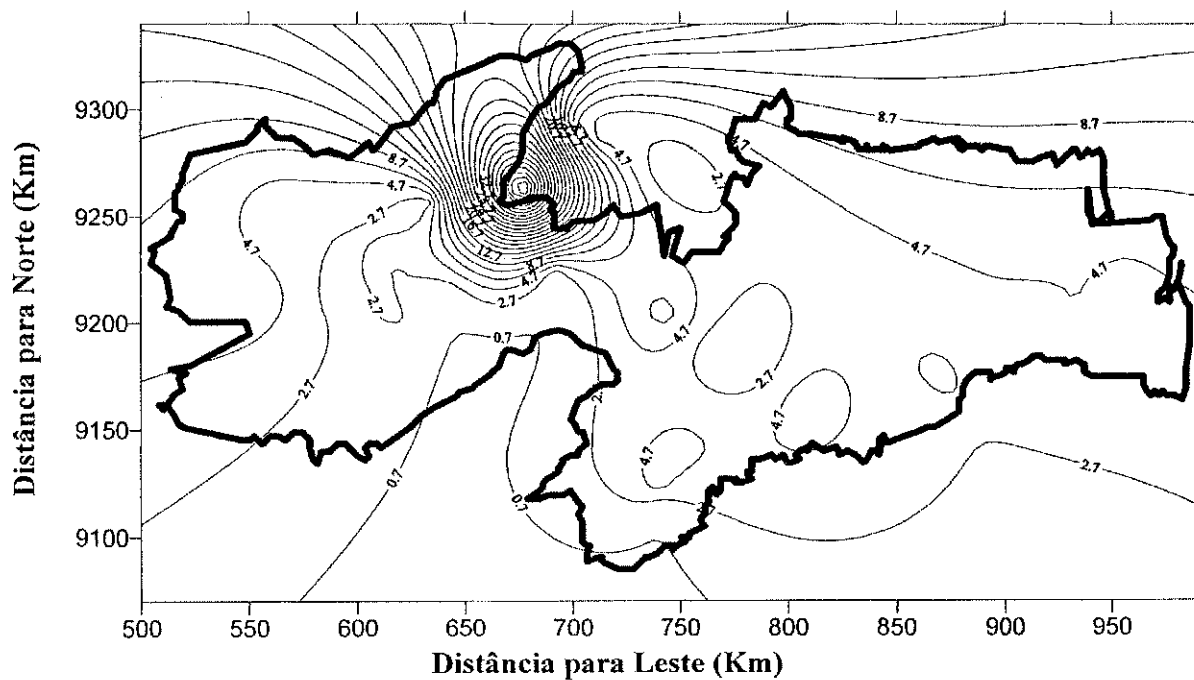


Figura 6.11 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro β (Estado da Paraíba)

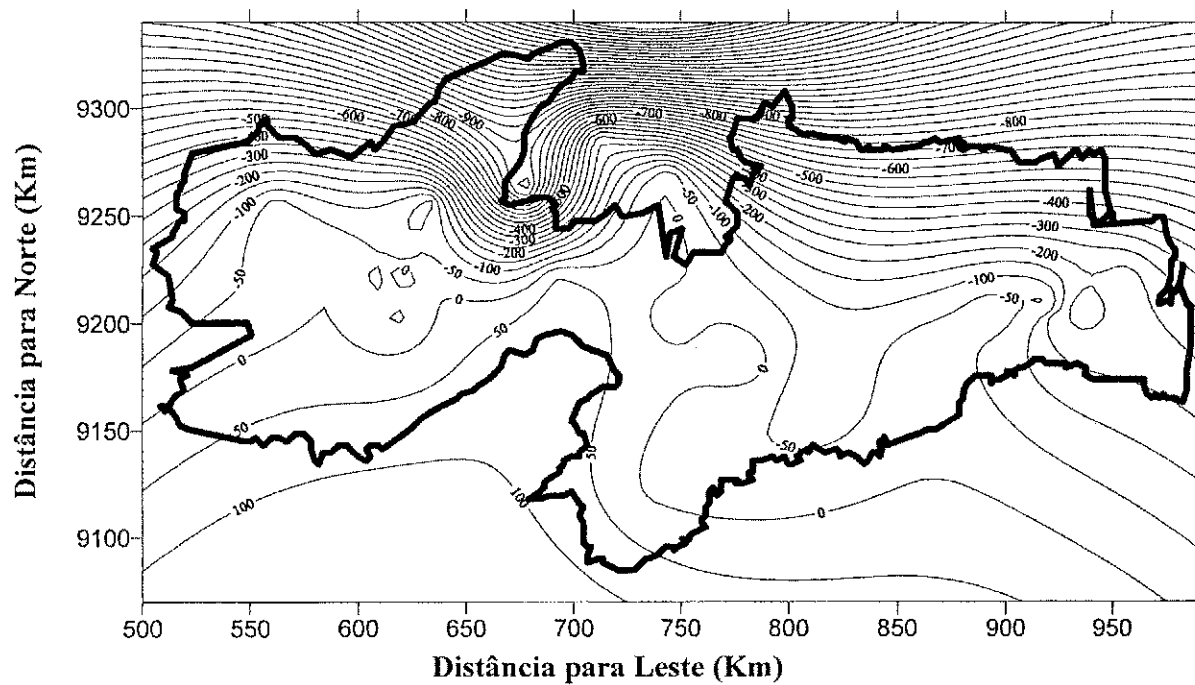


Figura 6.12 - Isolinhas dos parâmetros da Distribuição Pearson III – Parâmetro γ (Estado da Paraíba)

CAPÍTULO 7

7 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos na pesquisa pode-se fazer as seguintes análises:

O modelo foi calibrado satisfatoriamente por Costa (2008), para as bacias com dados na região, conforme resultados comparativos dos hidrogramas diários e vazões anuais, máximas e médias, simulados com os observados. No caso das vazões anuais, o coeficiente de determinação (R^2) médio ficou acima de 0,81. Já as simulações apresentaram resultados com qualidade inferior quando foram comparados com os valores observados ($0,26 < R^2 < 0,91$).

Com base nos parâmetros calibrados por Costa (2008), valores médios foram determinados e utilizados juntamente com um banco de dados de precipitação, compreendendo um período longo (1911-1983), para simular séries de longo período, as quais serviram, tanto para a verificação da validade dos parâmetros calibrados quanto para a sua utilização em estudos de regionalização hidrológica. A verificação da validade das séries de longo período (máximas e médias), simuladas com o modelo NAVMO, foi feita comparando-se valores simulados com observados, em períodos onde estes eram disponíveis, bem como através da verificação da homogeneidade das séries com testes estatísticos. As séries simuladas mostraram resultados compatíveis com os valores observados (ver figuras 5.4 a 5.13), além do que as séries apresentaram-se homogêneas em relação ao teste de dupla massa. Esses resultados seguiram um padrão semelhante aos obtidos em estudos semelhantes realizados por Crispim (2005) na parte alta da bacia em consideração, permitindo uma análise regional mais ampla na região do Piranhas/PB-Açu/RN.

Ainda como verificação da qualidade dos resultados, os testes paramétricos e não paramétricos mostraram que, em algumas sub-bacias da região de estudo (Patos, Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas e Sítio Acauã para vazão máxima e, Patos e Serra Negra do Norte para vazão média), as médias e as variâncias das séries simuladas diferiram ao nível de significância de 5%, entretanto a diferença entre as variáveis críticas e as de teste foram mínimas (diferença $< 1,1$);

Em termos do teste de ajustamento de uma distribuição de probabilidade, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov mostrou que para vazões máximas a distribuição regionalmente aceita foi a de Pearson III e para as vazões médias foi a distribuição Gama. No entanto, ocorreram algumas rejeições para as demais distribuições (Normal e Pearson III para vazão média e, Gama e Gumbel para vazão máxima), porém com diferenças pequenas

($D_{\text{teste}} - D_{c,n,5\%} < 0,08$) entre as variáveis críticas e as de teste. Os resultados mostram que tanto a distribuição Gama quanto a de Gumbel pode ser utilizada para a estimativa das vazões máximas. Já a distribuição de Pearson III pode ser utilizada em geral (vazões anuais máximas e médias) haja vista as poucas rejeições e com pequenas diferenças no teste de aderência. Esses resultados estão em pleno acordo com aqueles obtidos por Crispim (2005) que mostrou a distribuição Pearson III como a distribuição ajustada na região do alto rio Piranhas.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível estabelecer equações regionais de vazões anuais (extraídas das distribuições) em função de variáveis físicas e climáticas, através de regressões simples (equações potenciais e logarítmicas) e múltiplas (equações potenciais e lineares), para diferentes períodos de retorno. Os melhores resultados obtidos para regressões simples foram com funções potenciais em geral. Para regressões múltiplas, as funções lineares foram melhores em geral. Em geral os valores de R^2 são maiores que 0,9. Os resultados das regressões mostraram que as variáveis que melhor explicaram as vazões máximas foram área da bacia e precipitação máxima diária média e, para as vazões médias, foram área da bacia e precipitação média anual, haja vista que o aumento do número de variáveis explicativas não melhorou muito os valores do coeficiente de determinação (incremento $< 0,04$).

As simulações de vazões médias de longo período permitiram a sua análise de frequência em cada sub-bacia da região, através das quais foi possível testar equações dos tipos exponencial e potencial para estabelecer a vazão com dada garantia na seção da sub-bacia. Os resultados das equações potenciais ($R^2 > 0,42$) foram utilizados juntamente com aqueles obtidos por Crispim (2005) para a regionalização dos parâmetros, embora os resultados das equações exponenciais tenham sido ligeiramente melhores ($R^2 > 0,65$).

Os resultados desta pesquisa juntamente com aqueles obtidos por Crispim (2005) permitiu a regionalização dos parâmetros tanto da distribuição Pearson III quanto dos parâmetros da curva de permanência, feitas através de mapas de isolinhas, permitindo, assim, estimar tanto a vazão máxima com dado período de retorno, quanto a vazão média com qualquer nível de garantia em qualquer local da região do estudo.

CAPÍTULO 8

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos na pesquisa pode-se concluir que:

1) O modelo NAVMO, calibrado por Costa (2008) para várias sub-bacias da região do estudo, permitiu a simulação de longo período (1911-1983) do escoamento nas várias sub-bacias com resultados comparáveis com os valores observados (onde eles existiam), tendo as vazões anuais médias sido melhores simuladas ($R^2_{\text{médio}} = 0,54$) do que as máximas ($R^2_{\text{médio}} = 0,53$);

2) A verificação do modelo NAVMO e seus parâmetros, bem como da validade das séries de longo período (máximas e médias), foi evidenciada pela análise de homogeneidade das séries, verificada através do teste de dupla massa que mostrou linearidade entre os valores acumulados das vazões de cada sub-bacia investigada e os valores acumulados médios da região;

3) Os testes paramétricos e não paramétricos mostraram que as características (média e variância) das séries diferiram ao nível de significância de 5%, em algumas bacias (Patos, Serra Negra do Norte, Jardim de Piranhas e Sítio Acauã para vazão máxima e, Patos e Serra Negra do Norte para vazão média), porém com uma diferença pequena entre as variáveis de teste e as críticas (diferença $< 1,1$);

4) Os resultados do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov sugerem que, em geral, a distribuição de probabilidade mais adequada para a região é a de Pearson III;

5) As equações regionais de vazões estabelecidas em função de variáveis físicas e climáticas, com base em vazões para diferentes períodos de retorno extraídas das distribuições, mostraram que os melhores resultados obtidos para regressões simples foram, em geral com funções potenciais. Para regressões múltiplas as funções lineares foram, em geral, melhores. De um modo geral, os valores de $R^2 > 0,9$;

6) As variáveis que melhor explicaram as vazões máximas foram a área da bacia e a precipitação máxima média diária; para as vazões médias, as variáveis explicativas foram área e precipitação média anual. As equações com um maior número de variáveis explicativas (cino no máximo) não melhoraram muito os resultados do coeficiente de determinação (incremento $< 0,04$).

Algumas recomendações são citadas abaixo:

- ✓ Com o objetivo de validar esta pesquisa, pode-se comparar a metodologia apresentada com análise de frequência regional clássica, isto é, sem o uso de modelagem hidrológica, desde que haja disponibilidade de dados observados para comparação para uma divisão da amostra, sendo uma para a regionalização e outra para verificação;
- ✓ Fazer uma análise de incerteza na regionalização, através da comparação entre valores estimados com as equações estabelecidas e observados nas séries não utilizadas na regionalização.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, A. M. B.; et al. Regionalização de parâmetros de modelos hidrológicos. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa-PB. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, T. S. **Regionalização Hidrológica nas regiões do médio e baixo rio Paraíba/PB utilizando vazões simuladas com o modelo distribuído NAVMO.** 2008. Dissertação de mestrado, UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB.

ANA **Relatório de Gestão 2003.** 1 CD-ROM. Brasília. 2004.

ARAGÃO, R. et al. Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. In: V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1998. **Anais...** Vol. 2, Sessão II, Art. 018, p. 74-85. 1 CD-ROM.

BATISTA, M. S. **Análise de Incertezas no Escoamento Simulado com o Modelo Distribuído NAVMO.** 2006. Dissertação de mestrado, UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB.

BELKE, D. Tabellen des Kolmogorov-Smirnow-Anpassungstests für Vollständig und Unvollständig Spezifizierte Nullhypothesen. In: __. **Analyse und Berechnung oberirdischer Abflüsse**, Heft 46. Verlag Paul Parey. 1980.

BRAGA, A. C. F. M. **Efeitos de Fatores Climáticos e Uso do Solo sobre o Escoamento em uma Região Semi-Árida da Paraíba.** 2001. Dissertação de Mestrado, Depto. Enga. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

BURROUGH, P. Dynamic modelling and geocomputation. In: LONGLEY, P.A. et al. **Geocomputation: a primer.** Chichester, John Wiley. 1998.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, Ciência e Aplicação.** Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. p 485-525.

COSTA, D. C. **Modelagem do Escoamento no Sistema Piranhas-Açu utilizando o modelo NAVMO.** 2008. Dissertação de mestrado, UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB

CRISPIM, A. M. C. **Regionalização Hidrológica na região do alto Rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com modelo distribuído**. 2005. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

DINIZ, L. S. **Calibração Automática de modelos Chuva-Vazão usando um algoritmo genético**. 1994. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande –PB.

ELETOBRÁS Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para Regionalização de Vazões**. Rio de Janeiro, 1985.

FIGUEIREDO, E. E., OVERLAND, H., KLEEGERG, H. B. O Modelo NAVMO de Simulação do Escoamento Superficial. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** p 337-346.

FIGUEIREDO, E. E., SRINIVASAN, V. S., BARROS, M. G. Análise do Problema de Enchimento do Açude Público Sumé através do modelo NAVMO. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REC. HÍDRICOS, 1993, Gramado-RS. **Anais...** Gramado-RS, p 226-235.

FIGUEIREDO, E. E. **Scale Effects and Land Use Change Impacts in Sediment Yield Modelling in a Semi-arid Region of Brazil**. 1998. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK.

FIGUEIREDO, E. E. SRINIVASAN, V. S. Avaliação dos impactos do uso do solo e da influência dos açudes sobre o escoamento para o açude sumé – PB. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte – MG. **Anais...** Belo Horizonte – MG. 1 CD-ROM.

FIGUEIREDO, E. E.; BRAGA, A. C. F. M. **Modelling the rainfall-runoff relationship for the Piranhas river basin in the semiarid region the Brazil**. In: Flood Defence, 2002, Wu et al. (eds) © 2002 SciencePress, New York Ltd., 2:1129-1136.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística Aplicada**. Editora Atlas S. A. – São Paulo – 2ª edição, 1978. 273 p.

FREAD, D. L. Channel Routing. In: ANDERSON, M. G.; BURTS, T. P. **Hydrological Forecasting**. (editors). John Willey e Sons. Londres. U. K. 1985.

FURTUNATO, O. M. **Simulação hidrológica na bacia do alto Paraíba-PB com efeito da variabilidade do clima**. 2004. Dissertação de mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande-PB, 140 p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª ed. Editora Edgard Blücher –SP, 1988.

IBGE. Anuário Estatístico do Brasil. Brasília. 1995.

KLEEBERG, H. B., OVERLAND, H. e Paus, B. **NAVMO**, Version 1.1, Niedeschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation. Universität de Bundeswehr München, Alemanha. 1989.

KOCH, U.; REGO, J. C. Aplicação de Testes não Paramétricos para verificar a Homogeneidade de Séries Hidrometeorológicas. In: **Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos**. 1985. Rio de Janeiro, 3 (1): 47-67.

LANNA, A. E. et al. **Estudos de disponibilidades de águas fluviais e solo na região Sul do Brasil**. 1989. IPH/UFRS. 2v. (Relatório final).

LACERDA Jr., H. B. **Um Estudo dos Efeitos de Escala e Uso do Solo na Parametrização do Modelo NAVMO com dados de bacias do Cariri Paraibano**. 2002. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB. Campina Grande-PB.

LIMA, K. A. **Modelagem do Escoamento no baixo rio Paraíba/PB e Mamanguape para fins de regionalização hidrológica**. 2008. Dissertação de mestrado, UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB.

LOPES, W. T. A. **Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-árida da Paraíba**. 2003. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB. Campina Grande-PB.

LUDWIG, K. **The program System FGMOD for calculation of Runoff Processes in River Basins**. International Symposium On Rainfall-Runoff-Modeling; Mississipi. 1981.

MAIDMENT, D.R. GIS and hydrologic modeling. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T.; ed. **Environmental modeling with GIS**. New York, Oxford University Pres. 1993. Cap. 14, p. 147-167.

MCCUEN, R.H. **A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods**. Univ. of Maryland, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 1982.

MELCHING, C. S. Reliability Estimation. In.: SINGH, V. P. **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publications, Colorado, USA, 1995.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. **Escalas Hidrológicas**. I. Conceitos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. v. 2, n. 1, p. 59-79, jan/jun.

NUNES, A. S. O. **Regionalização Hidrológica na Região do Alto Rio Paraíba-PB Utilizando dados Simulados com Modelo Distribuído**. 2005. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG.

REGO, J. C.,; FIGUEIREDO, E. E.; KOCH, U. Regionalização de cheias numa bacia do Nordeste do Brasil. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 1989. **Anais...** Vol.1, p. 621-632.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Rio de Janeiro, nov. 2003. **Anais...** Rio de Janeiro.

SAMPER, J. et al. Aplicação do modelo hidrológico VISUAL BALAN V2.0 em duas bacias hidrográficas Espanholas: Estudos de caso e desenvolvimentos. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa-PB. 1 CD-ROM.

SANTOS, C. A. G., SILVA, R. M., NITÃO, I. A. Modelagem do escoamento superficial numa bacia periurbana no Nordeste do Brasil. In: VII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2004, São Luis-MA. **Anais...** São Luis-MA. 1 CD-ROM.

SCHULZ, E. F. "**Problems in Applied Hydrology**". Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA. 1973. 501 p.

SILVA Jr., O. B.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de Indicadores Hidrológicos para as sub-bacias do rio São Francisco. In: VI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2002, Maceió-AL. **Anais...** Maceió-AL. 1 CD-ROM.

SIMANTON, J. R., et al. **Runoff Curve Number Variation with Drainage Área, Walnut Gulch, Arizona**. Transactions on the ASAE, 1996, vol 39(4): 1391-1394.

TUCCI, E. C. M. Ciclo Hidrológico. In: _____ **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1993. p 35-40.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 1998. 668p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Ed. da UFRGS/ABRH. 1ª Edição, RS. 2002.

WILLIAMS, J. R. **Flood Routing with Variable Travel Time on Variable Storage Coefficients**. Transactions of the ASAE. 1969. Vol. 12, p. 100-103.

AESA. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/index.php>>. Acesso em: 18 mar. 2008.

ANA. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 25 fev. 2008.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=138>>. Acesso em: 19 mar. 2008.

Marca d'água. Disponível em: <<http://www.marcadagua.org.br/bacia2.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2008.

ANEXOS

Anexo A: Diagrama de barras dos dados dos 79 postos pluviométricos.

Anexo B: Séries de vazões anuais, máximas e médias, simuladas nas bacias.

Anexo B

Anexo B.1 - Séries de vazões máximas anuais simuladas (m³/s)

	Patos	SN Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
1911	22,12	97,07	504,86	5,01	90,01	220,16	861,59
1912	132,45	143,02	438,51	3,05	476,89	753,55	1021,94
1913	56,97	223,28	265,97	58,75	351,66	600,54	1428,83
1914	461,69	491,44	931,25	252,47	518,4	772,15	1969,92
1915	0	53,45	239,98	29,89	23,39	23,19	221,15
1916	164,83	338,85	847,58	1,32	201,39	434,95	1683,27
1917	160,81	390,42	523,72	153,95	698,76	1139,72	2377,32
1918	41,34	0,07	249,87	0,9	149,92	146,48	590,79
1919	0	0,02	27,81	0	0,02	0,05	47,4
1920	129	476,76	811,62	151,73	336,64	518,67	1855,71
1921	147,31	323,77	781,29	29,81	263,92	482,63	2459,72
1922	255,76	585,79	1189,51	118,41	418,39	772,29	3372,86
1923	78,59	105,11	505,33	108,13	582,4	832,82	1716,08
1924	220,56	529,85	718,47	290,02	596,9	961,84	2660,51
1925	122,66	173,95	616,23	5,52	301,79	428,87	1580,35
1926	286,59	683,26	781,57	160,43	613,07	825,07	1628,61
1927	178,16	424,56	653,89	151,9	150,32	169,53	875,73
1928	138,11	176,94	626,28	104,72	348,29	347,35	956,96
1929	213,76	376,8	1023,4	18,66	15,78	15,44	1884,86
1930	37,21	196,7	256,38	0	0	0,98	595,11
1931	149,93	430,07	562,71	30,41	23,87	291,16	1649,72
1932	57,84	65,28	303,12	31,62	24,81	36,32	298,97
1933	63,92	155,34	148,04	0,04	0,01	0,01	1713,41
1934	182,78	409,59	855,28	106,52	585,57	1112,39	2617,25
1935	218,92	437,46	861,13	38,45	132,49	515,12	2103,96
1936	17,46	177,3	280,08	93,87	710,29	1166,82	2120,19
1937	218,99	453,06	732,28	37,12	21,25	85,83	1702,29
1938	150,26	323,49	480,42	2,63	16,01	291,03	703,53
1939	71,18	317,18	465,91	3,71	131,77	128,24	911,54
1940	245,66	504,3	905,3	308,24	1176,4	1523,26	2522,44
1941	335,45	556,57	895,17	202,99	744,94	1264,81	2356,3
1942	79,61	269,15	468,42	0	0,07	0,09	560,97
1943	126,63	280,29	545,98	3,54	62,8	238,23	1009,49
1944	167,06	258,25	661,5	0	75,69	72,14	1112,56
1945	205,01	315,19	464,18	147,37	324,47	580,9	818,87
1946	59,63	180,25	321,76	0	46,9	68,63	334,11

Continua

Anexo B.1 - Séries de vazões máximas anuais simuladas (m³/s) - Continuação

	Patos	SN Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
1947	322,17	599,79	1133,33	304,91	1016,6	1628,83	3345,95
1948	139,9	187,79	431,06	212,71	212,54	212,45	757,14
1949	120,93	284,65	756,53	203,04	636	1037,72	2269,08
1950	703,15	822,85	848,34	576,6	571,59	569,01	2446,14
1951	166,98	392,38	691,87	98,43	646,23	1184,33	2161,61
1952	118,72	283,77	581,63	14,72	387,53	719,33	1272,94
1953	211,84	305,46	764,9	0	0	0	732,11
1954	95,26	176,96	503,98	44,1	37,36	33,95	1030,98
1955	138,05	146,37	315,48	169,4	167,7	166,72	1537,52
1956	220,44	350,72	884,45	26,96	454	729,02	1533,2
1957	205,85	328,86	896,93	35,37	47,48	69,58	3270,79
1958	62,93	114,95	356,37	0	0	0	353,71
1959	353,34	595,45	944,46	123,08	185,93	408,64	1810,1
1960	182,88	312,22	756,09	281,67	808,82	1343,27	3602,6
1961	359,34	587,02	1155,49	219,8	695,27	1233,83	2845,96
1962	140,44	244,07	310,76	58,43	56,98	68,41	469,68
1963	144,87	308,09	597,93	51,54	50,5	134,98	1441,56
1964	182,21	350,38	696,53	88,97	302,13	566,98	2214,42
1965	350,3	686,08	1271,47	296,86	962,52	1540,05	3580,2
1966	166,04	351,32	593,1	173,8	780,36	1366,46	2572,66
1967	227,27	374,88	637,6	46,61	384,42	477,58	1969,21
1968	376,71	630,6	1346,12	106,99	703,75	1212,73	3476,92
1969	198,09	376,06	512,23	168,7	564,47	867,31	1257,79
1970	145,66	294,19	699,62	33,19	77,8	92,2	1139,56
1971	356,9	725,22	1368,03	163,81	593,2	759,03	3289,35
1972	157,56	392,02	538,47	16,57	179,67	389,46	1430,99
1973	267,66	466,83	767,72	4,24	336,36	556,02	2056,23
1974	273,66	513,28	1022,64	366,92	1125,35	1566,17	3185,08
1975	305,11	677,1	1470,56	18,5	139,87	457,93	3474,86
1976	143,8	415,41	893,93	11,74	97,99	316,02	1770,24
1977	322,17	537,99	1124,28	78,85	401,96	769,99	2502,69
1978	200,48	361,58	664,01	70,88	107,37	292,58	1030,35
1979	183,65	563,05	1005,17	5,43	230,15	257,79	1071,04
1980	212,61	539,24	1035,39	29,57	163,95	614,4	2123,26
1981	136,18	340,63	621,14	214,33	750,26	1281,46	2014,59
1982	113,48	338,01	736,91	37,37	270,3	343,41	1461,14
1983	78,19	269,58	292,4	4,1	3,17	107,36	407,8

Anexo B.2 - Séries de vazões médias anuais simuladas (m³/s)

	Patos	SN Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
1911	0,14	0,71	12,52	0,05	0,66	3,98	25,52
1912	2,78	2,23	11,33	0,09	5,49	8,49	82,68
1913	0,97	3,23	6,08	2,62	17,53	28,08	55,05
1914	19,1	25	42,04	8,4	17,05	24,59	94,86
1915	0	0,41	3,83	0,28	0,32	0,41	4,64
1916	6,9	14,85	38,44	0,12	2	5,61	94,62
1917	5,44	23,25	34,67	3,18	27,8	57,15	132,99
1918	1,19	0,18	4,53	0,02	1,05	1,21	20,89
1919	0	0,03	0,42	0	0,03	0,07	1,09
1920	5,25	4,94	13,9	1,52	5,08	9,21	89,64
1921	6,75	16,69	46,58	1,47	14,41	29,42	111,76
1922	5,1	20,16	56,57	1,38	7,99	18,54	128,19
1923	1,79	3,01	28,69	1,54	7,12	12,58	52,42
1924	4,51	21,52	27,61	10,76	33	50,11	147,95
1925	3,66	11,56	33,26	0,71	3,69	6,74	87,02
1926	15,04	13,83	41,39	7,83	13,16	20,54	98,39
1927	3,79	9,45	25,18	2,63	2,68	3,74	21,5
1928	1,12	1,95	6,55	0,96	2,81	2,83	20,25
1929	9,22	9,3	60,3	0,22	0,26	0,28	101,53
1930	0,51	2,81	4,33	0,01	0,01	0,06	10,11
1931	1	3,76	22,39	0,24	0,28	1,85	18,3
1932	0,51	1,01	3,59	0,21	0,25	0,48	4,96
1933	0,43	1,52	3,09	0	0	0	34,18
1934	9,93	26,76	62,22	5,04	29,46	63,84	181,21
1935	11,18	21,4	44,65	0,71	3,98	16,13	117,73
1936	0,11	1,14	7,52	0,81	5,35	8,89	21,66
1937	5,41	13,73	26,77	0,97	0,51	1,56	33,49
1938	6,52	7,49	27,03	0,04	0,23	2,13	20,84
1939	2,43	3,96	17,91	0,14	1,44	2,15	21,38
1940	11,52	24,62	49,94	5,94	24,49	53,21	131,81
1941	4,17	6,9	11,89	2,35	7,39	11,71	30
1942	0,88	3,16	8,71	0,03	0,09	0,26	10,16
1943	0,81	2,28	4,64	0,05	0,45	2,22	9,43
1944	5,29	3,76	25,07	0,02	0,49	0,59	57,9
1945	7,2	18,13	18,82	2,97	6,73	11,73	58,33
1946	0,71	2,18	15,51	0	0,42	0,6	34,14
1947	19,59	37,78	55,7	10,92	34,54	61,76	152,51

Continua

Anexo B.2 - Séries de vazões médias anuais simuladas (m³/s) - Continuação

	Patos	SN Norte	J Piranhas	S Volta	Caicó	S Fernando	S Acauã
1948	5,74	12,21	26,49	4,98	5,13	5,6	60,1
1949	4,35	11,52	32,88	2,18	6,56	11,48	84,86
1950	10,31	11,7	51,62	6,75	8,52	13,44	156,98
1951	1,84	4,52	8,69	1,03	4,23	7,7	23,4
1952	2,38	6,4	39,29	0,2	3,99	8,01	68,12
1953	1,44	2,48	10,85	0,01	0,03	0,03	25,21
1954	2,62	7,9	25,82	0,34	0,39	0,41	24,17
1955	6,64	10,03	27,44	2,37	2,52	3,15	65,8
1956	7,9	12,15	43,79	0,54	3,86	7,64	57,9
1957	8,39	14,99	61,71	0,56	1,01	3,75	161,29
1958	0,37	1,1	4,97	0,01	0,02	0,05	8,38
1959	7,15	11,84	50	1,04	1,78	5,29	118,01
1960	7,95	14,98	33,74	8,3	27,37	45,42	208,13
1961	13,69	23,59	50,75	4,56	11,23	20,54	141,86
1962	1,47	5,32	9,23	0,69	0,78	1,84	18,37
1963	6,63	15,96	44,68	2,61	3,37	7,08	90,83
1964	7,63	16,3	38,7	2,99	9,7	20,29	101,95
1965	22,95	46,61	90,29	14,03	50,72	91,1	253,91
1966	5,1	12,12	22,86	3,07	13,54	21,85	46,14
1967	12,88	18,12	37,88	2,02	10,03	25,58	116,73
1968	20,86	37,72	71,17	6,42	37,49	72,18	181,74
1969	9,55	16,02	24,72	3,07	7,23	10,95	28,77
1970	2,78	4,92	13,1	0,24	0,7	2,06	18,88
1971	13,34	34,15	67,79	2,96	12,39	39,87	171,62
1972	5,45	14,81	26,94	0,95	8	21,93	40,96
1973	9,39	22,36	37,29	0,2	9,1	8,16	77,25
1974	20,41	41,92	82,63	19,85	78,69	129,36	287,34
1975	8,81	21,7	55,3	0,71	3,62	15,57	132,79
1976	6,07	17,36	22,95	0,49	5,3	18,15	98,73
1977	19,71	35,78	67,48	1,15	10,43	28,73	158,3
1978	7,92	15,56	27,77	0,71	3,75	9,67	64,39
1979	5,96	10,69	18,77	0,16	1,61	4,68	31,85
1980	3,6	10,48	25,67	0,61	2,8	11,14	59,23
1981	8,37	20,29	27,59	5,23	21,05	37,67	75,23
1982	3,79	11,62	20,65	0,42	2,11	9,3	51,12
1983	0,56	1,96	3,66	0,06	0,12	1,08	8,83

Anexo B.3 - Séries de vazões máximas anuais simuladas em m³/s (Crispim, 2005).

	Pianco	Emas	SRCurema	Aguiar	BMDagua	Pferrado	SJPiranhas	Anavarro	Svass
1913	197,87	2,30	142,12	9,16	133,77	41,08	231,20	55,21	203,14
1914	350,87	33,65	379,41	13,55	214,46	130,15	40,11	37,79	409,44
1915	166,89	63,28	327,17	22,35	32,75	192,45	123,11	200,74	188,14
1916	615,43	18,05	635,55	14,57	174,19	440,39	133,71	56,02	680,24
1917	731,26	4,68	720,79	22,64	321,55	594,16	183,15	305,10	940,59
1918	180,25	14,53	154,10	5,84	180,05	40,01	87,85	29,45	111,81
1919	412,46	21,16	522,86	28,06	46,53	421,79	53,76	76,63	377,92
1920	623,21	15,19	670,22	19,83	360,77	478,72	168,49	133,18	745,16
1921	370,16	23,94	348,22	16,73	319,98	200,37	80,14	43,83	364,88
1922	256,48	28,94	304,64	13,19	257,47	68,28	139,28	44,03	306,12
1923	138,69	16,93	261,07	15,07	184,49	186,84	64,65	28,50	136,77
1924	672,91	12,99	441,38	84,11	587,00	396,14	377,31	70,82	1228,82
1925	244,27	17,67	264,97	41,72	369,27	99,11	202,72	97,54	481,37
1926	325,67	45,79	461,95	36,40	528,14	195,44	170,67	114,08	515,88
1927	137,42	12,18	330,85	26,07	113,27	213,93	131,31	80,73	322,58
1928	256,92	20,51	458,29	23,50	218,10	361,62	98,82	93,42	422,59
1929	262,05	137,71	401,18	11,25	335,59	245,06	245,75	37,70	541,44
1930	35,82	24,71	201,56	26,33	128,21	79,02	24,15	151,94	77,13
1931	47,37	64,89	250,81	47,10	37,28	130,62	54,34	160,47	190,65
1932	207,26	74,43	271,57	86,96	17,38	414,07	36,93	79,58	170,57
1933	162,74	3,83	257,09	4,70	50,15	148,51	205,87	81,56	142,08
1934	186,92	28,23	456,06	14,28	260,82	55,63	163,42	53,88	410,35
1935	624,83	19,87	453,57	80,39	587,81	301,14	256,59	178,89	847,04
1936	51,68	55,44	633,26	51,99	186,98	116,28	34,67	210,65	234,37
1937	303,50	11,56	584,52	34,64	247,01	453,59	131,44	68,55	283,38
1938	173,36	18,43	234,10	2,13	34,70	171,94	66,93	124,03	228,02
1939	305,78	23,78	476,93	22,92	53,38	390,30	151,64	63,84	497,14
1940	514,81	11,23	508,08	45,21	346,82	187,54	170,02	144,39	769,30
1941	266,41	16,73	455,34	27,90	483,24	387,86	136,35	74,96	444,80
1942	49,28	109,08	298,94	57,68	96,39	190,09	53,77	144,18	100,95
1943	131,43	17,87	181,55	11,15	116,37	157,66	126,08	0,00	110,54
1944	119,85	55,93	670,31	15,84	166,05	579,94	95,59	0,00	529,74
1945	167,21	16,95	192,09	11,51	222,36	59,86	57,93	0,00	208,68
1946	98,47	20,48	113,53	7,29	45,96	80,06	54,52	32,34	82,75
1947	261,60	112,14	437,01	40,05	504,19	151,71	123,83	59,04	488,37
1948	310,37	20,91	390,76	23,05	154,31	311,94	152,78	37,85	252,90
1949	160,14	14,26	187,11	28,47	150,53	185,72	151,89	59,52	144,87

Continua

Anexo B.3 - Séries de vazões máximas anuais simuladas em m³/s (Crispim, 2005) –
Continuação

	Pianco	Emas	SRCurema	Aguiar	BMDagua	Pferrado	SJPiranhas	Anavarro	Svass
1950	213,29	184,48	389,71	45,81	148,82	378,45	110,36	66,09	366,23
1951	62,63	73,92	241,99	38,31	67,65	140,08	25,19	210,52	115,00
1952	227,57	13,39	296,37	20,94	150,34	232,00	119,02	109,61	390,44
1953	141,44	64,45	269,26	32,20	63,47	145,84	44,13	138,50	77,85
1954	171,08	29,93	155,42	15,16	311,35	50,21	124,62	61,35	177,66
1955	108,73	18,30	314,34	16,94	128,13	270,23	79,90	61,74	228,52
1956	150,22	14,70	214,46	17,13	293,92	80,45	93,68	127,35	381,98
1957	178,14	24,44	330,70	8,81	72,41	264,67	102,25	180,28	387,41
1958	81,38	70,72	192,86	56,38	62,47	112,65	73,76	144,53	104,99
1959	70,39	5,33	92,17	8,04	21,39	51,93	38,68	30,93	53,58
1960	415,78	31,96	653,12	35,97	141,95	558,37	35,33	27,16	521,21
1961	339,60	21,03	607,32	25,94	372,49	269,92	40,20	100,97	703,95
1962	64,63	40,31	100,17	1,24	34,97	24,33	102,46	78,74	117,25
1963	211,39	27,03	300,33	61,28	431,04	66,95	235,85	233,10	720,62
1964	672,41	123,07	1120,38	2,99	108,50	787,67	74,49	8,44	1056,25
1965	97,41	114,95	346,29	5,29	168,34	185,20	117,96	103,83	426,86
1966	206,30	80,26	501,11	9,49	14,25	305,28	50,30	155,57	209,95
1967	642,77	116,77	1240,92	13,75	311,45	680,00	197,51	179,29	1575,03
1968	685,77	102,36	953,09	14,02	314,81	333,62	205,90	144,52	1206,19
1969	179,03	110,42	562,03	11,27	95,49	453,86	185,05	114,92	350,15
1970	275,34	58,54	269,69	10,28	266,89	78,34	110,35	34,04	227,25
1971	483,51	79,87	842,92	8,11	198,04	271,64	105,54	26,79	619,04
1972	107,00	51,57	371,47	7,37	60,79	281,50	193,70	14,74	97,90
1973	534,46	240,64	842,91	58,81	372,91	487,92	138,07	55,70	948,51
1974	846,42	117,29	452,47	10,03	264,46	266,63	163,66	54,11	1505,38
1975	342,79	186,96	538,21	23,98	180,39	258,10	213,59	92,69	667,00
1976	180,36	41,39	402,56	21,31	151,39	299,99	191,76	60,70	324,09
1977	605,22	105,80	549,76	11,03	176,88	281,74	120,71	66,10	1360,75
1978	88,84	0,15	89,94	8,65	28,71	64,84	191,75	98,67	501,80
1979	301,27	10,29	247,34	13,95	72,75	172,44	143,85	46,24	341,16
1980	641,84	24,44	600,93	26,14	88,97	460,36	257,66	72,89	1208,63
1981	221,84	28,78	587,90	15,92	54,05	434,84	243,36	68,20	566,15
1982	61,14	114,50	314,37	54,70	75,03	232,57	42,05	182,55	174,99
1983	266,91	21,42	384,31	26,03	119,24	294,85	141,78	50,55	115,99
1984	256,19	49,34	269,89	17,40	153,34	87,11	99,81	53,98	323,99
1985	410,76	44,55	572,24	60,57	308,42	174,87	181,11	170,77	1190,55

Anexo B.4 - Séries de vazões médias anuais simuladas em m³/s (Crispim, 2005).

	Pianco	Emas	SRCurema	Aguiar	BMDagua	Pferrado	SJPIranhas	Anavarro	Svass
1913	8,11	0,00	11,80	0,14	3,54	3,78	2,43	1,67	12,58
1914	8,87	0,10	14,10	0,22	6,62	5,69	0,66	0,95	15,10
1915	2,48	0,50	6,83	0,26	0,32	4,83	0,72	3,09	8,17
1916	31,27	0,08	42,24	0,27	7,68	25,55	7,27	1,93	45,55
1917	51,32	0,00	59,75	0,30	8,76	46,48	11,38	14,12	83,76
1918	7,73	0,02	11,33	0,11	6,11	4,67	3,01	1,33	12,46
1919	13,47	0,07	18,39	0,23	0,38	17,31	0,51	0,51	18,40
1920	48,12	0,05	58,45	0,37	7,77	39,78	10,83	3,73	62,88
1921	28,37	0,48	40,39	0,37	12,31	21,97	3,61	1,68	43,87
1922	9,89	0,14	20,26	0,44	15,87	7,25	2,43	1,24	21,18
1923	5,84	0,18	12,21	0,43	2,98	9,96	2,70	0,46	10,51
1924	23,52	0,04	57,17	2,01	46,18	19,47	17,49	1,86	61,01
1925	9,77	0,06	19,49	0,60	9,58	6,29	7,68	3,77	24,84
1926	8,62	1,20	19,27	0,47	14,90	7,75	2,34	4,56	27,47
1927	3,69	0,12	12,77	0,32	4,91	7,05	3,41	1,77	15,66
1928	7,71	0,19	12,06	0,65	1,63	14,85	1,54	4,62	19,95
1929	8,56	5,69	22,23	0,34	6,08	15,72	3,52	1,82	39,17
1930	0,65	0,23	2,65	0,27	0,94	2,19	0,21	0,92	4,11
1931	0,97	1,18	6,11	0,52	0,99	4,41	0,63	2,25	8,79
1932	2,77	0,63	1,26	0,46	0,10	6,73	0,46	0,28	6,64
1933	4,00	0,01	10,77	0,14	5,64	5,13	6,45	1,65	9,47
1934	6,29	0,61	20,36	0,30	8,11	4,43	7,98	3,47	25,43
1935	20,53	0,13	29,17	2,41	11,41	11,24	6,08	7,89	5,61
1936	1,59	1,18	17,13	0,74	2,81	5,73	0,53	3,83	11,60
1937	10,15	0,09	19,86	0,59	4,14	15,03	4,72	2,75	17,38
1938	4,55	0,15	9,89	0,08	0,79	7,72	1,94	4,63	12,64
1939	7,81	0,16	13,36	0,46	1,30	11,16	3,74	1,57	18,88
1940	27,01	0,07	41,21	1,32	3,58	14,58	8,30	7,39	58,29
1941	7,91	0,20	16,02	0,54	3,64	13,27	2,95	1,66	21,18
1942	1,01	0,70	3,66	0,61	1,11	3,65	0,48	0,80	5,17
1943	4,70	0,13	8,21	0,49	1,56	7,50	1,70	0,00	7,10
1944	4,98	0,36	24,30	0,35	2,36	20,14	2,47	0,00	18,56
1945	5,92	0,13	18,44	0,23	4,30	7,01	1,09	0,00	15,89
1946	4,76	0,12	9,32	0,31	0,59	7,71	1,96	0,46	8,65
1947	8,63	4,63	34,49	0,58	17,71	7,91	2,69	2,56	35,82
1948	7,19	0,34	12,53	0,60	4,16	11,42	3,89	0,22	12,87
1949	4,54	0,19	8,68	0,58	2,99	7,75	3,05	0,60	12,05

Continua

Anexo B.4 - Séries de vazões médias anuais simuladas em m³/s (Crispim, 2005) –
Continuação

	Pianco	Emas	SRCurema	Aguiar	BMDagua	Pferrado	SJPiranhas	Anavarro	Svass
1950	4,40	8,68	25,55	1,40	3,82	24,24	3,61	1,66	28,47
1951	1,64	1,22	5,34	0,49	0,94	4,81	0,14	1,36	7,63
1952	7,81	0,10	13,60	0,58	3,31	11,83	3,19	3,06	19,63
1953	3,33	0,64	7,45	0,51	0,91	6,39	0,44	0,65	7,69
1954	6,25	0,06	12,18	0,47	12,40	5,61	3,47	1,13	15,94
1955	4,79	0,48	13,17	0,52	4,32	12,20	2,34	0,75	15,84
1956	6,30	0,09	12,01	0,33	8,11	4,48	3,00	3,45	22,57
1957	6,65	0,25	21,36	0,45	3,04	17,37	2,63	5,45	24,77
1958	1,60	0,53	5,83	0,69	1,08	5,18	0,33	1,57	7,48
1959	2,13	0,02	3,31	0,25	0,82	2,88	0,52	0,28	4,44
1960	15,51	0,18	26,54	1,39	7,22	27,01	0,45	0,69	28,55
1961	9,32	0,15	27,49	0,46	11,32	13,05	0,41	1,94	29,70
1962	2,90	0,68	6,46	0,04	1,58	2,26	2,54	2,15	8,81
1963	11,59	0,16	23,41	2,34	17,35	7,08	13,69	13,69	47,26
1964	12,67	4,03	84,24	0,07	4,25	55,08	1,78	0,23	82,75
1965	4,13	4,35	34,93	0,24	8,59	17,51	0,85	2,55	37,99
1966	25,00	0,90	8,71	0,20	0,47	7,13	1,57	1,57	9,02
1967	10,24	5,41	8,95	0,38	14,52	44,04	3,62	7,29	95,09
1968	26,78	3,50	54,13	0,27	8,80	20,08	1,57	2,51	54,31
1969	9,39	1,41	27,41	0,45	4,08	24,02	6,50	2,72	14,54
1970	8,66	0,35	16,54	0,35	7,34	6,01	6,08	0,54	8,74
1971	18,10	2,17	51,96	0,25	8,34	17,81	1,04	0,58	50,96
1972	2,82	0,33	18,47	0,34	1,86	14,58	1,51	0,39	11,78
1973	11,55	10,58	45,26	1,80	15,94	22,57	1,28	1,28	40,36
1974	34,14	8,12	63,02	0,33	14,42	52,40	2,10	2,10	161,31
1975	10,76	10,81	44,55	0,81	8,32	31,57	3,13	3,13	47,10
1976	8,40	0,88	14,78	0,38	2,64	12,50	0,88	0,88	19,94
1977	12,90	2,69	38,37	0,27	8,46	18,31	1,63	1,63	59,63
1978	5,30	0,07	8,99	0,30	1,34	7,36	1,24	1,24	25,33
1979	10,25	0,09	12,98	0,68	3,64	10,81	0,55	0,55	15,78
1980	10,16	0,27	19,71	0,93	3,68	17,12	1,49	1,49	35,69
1981	7,16	0,27	20,31	0,51	2,35	17,01	1,48	1,48	30,59
1982	1,01	2,83	10,21	0,69	1,18	9,24	1,87	1,87	11,97
1983	4,46	0,24	12,85	0,57	3,29	10,91	0,62	0,62	8,45
1984	9,79	0,79	15,14	0,67	9,29	4,42	1,16	1,16	16,86
1985	30,03	0,79	48,69	2,71	27,09	18,35	10,25	10,25	109,72

Anexo B.5 – Série de vazões máximas simuladas em m³/s (Almeida, 2008).

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1911	146,08	87,22	85,26	25,70	25,32	126,97	205,97
1912	290,66	290,84	289,58	72,38	88,40	370,31	449,73
1913	161,47	170,93	166,01	52,79	51,40	213,70	246,09
1914	381,01	393,89	416,79	69,86	83,83	526,67	625,92
1915	126,70	128,68	129,39	39,64	38,93	180,17	203,77
1916	147,70	178,92	182,08	32,57	34,18	223,56	279,82
1917	288,77	301,39	297,49	66,46	66,69	358,34	407,37
1918	142,52	176,70	384,22	93,99	243,00	683,97	689,97
1919	212,15	256,79	305,35	63,30	102,31	434,34	464,67
1920	281,06	285,22	290,39	64,01	110,48	414,30	470,75
1921	142,22	175,76	202,60	50,95	111,48	341,35	442,18
1922	362,49	399,77	421,70	77,73	144,94	571,93	643,38
1923	164,02	190,59	216,90	44,50	94,91	331,76	388,85
1924	571,13	679,38	771,02	221,14	293,44	1115,68	1187,55
1925	110,79	155,84	210,69	60,60	103,42	341,68	372,12
1926	556,98	685,41	817,36	143,41	252,21	1127,81	1201,95
1927	304,85	407,39	506,27	90,90	172,19	727,31	840,18
1928	540,22	633,77	730,89	114,84	193,38	970,11	1018,31
1929	273,24	355,87	417,40	79,36	126,36	570,86	625,50
1930	504,51	519,87	522,30	18,25	16,64	526,54	517,15
1931	787,22	946,39	1092,55	156,30	270,36	1445,72	1565,98
1932	325,96	325,74	352,35	46,23	128,02	526,59	576,79
1933	259,41	284,62	308,38	53,53	118,90	475,19	610,15
1934	343,21	242,02	245,34	70,50	112,15	488,91	576,96
1935	653,59	672,06	750,34	116,93	209,37	1020,33	1121,07
1936	1139,37	1051,02	1178,05	178,00	321,72	1865,93	2069,31
1937	372,31	404,05	514,13	95,64	191,12	771,75	840,42
1938	72,72	112,71	157,51	14,48	57,67	260,42	335,33
1939	693,08	900,94	974,35	167,91	223,31	1121,50	1125,40
1940	696,27	790,05	876,12	106,42	204,16	1125,60	1228,50
1941	1025,70	1179,03	1309,67	153,81	252,88	1607,50	1623,99
1942	240,21	306,09	356,48	52,08	101,97	488,51	515,71
1943	527,80	526,42	573,20	99,78	149,02	734,32	731,71
1944	338,87	338,36	337,40	29,26	72,00	350,41	392,19
1945	961,83	1066,65	1147,41	162,66	237,58	1442,32	1544,57
1946	238,05	237,92	242,04	30,19	42,55	248,34	256,33
1947	613,55	408,65	404,04	26,92	75,36	453,54	528,39

Continua

Anexo B.5 – Série de vazões máximas simuladas em m³/s (Almeida, 2008) – Continuação

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1948	557,27	574,23	588,55	80,28	106,46	680,01	755,24
1949	508,70	552,14	604,23	60,98	95,42	723,94	771,11
1950	321,45	383,84	441,86	79,73	123,38	591,42	686,08
1951	721,26	774,62	828,50	56,55	105,72	860,93	926,27
1952	202,54	209,54	225,19	68,66	67,04	253,01	284,29
1953	530,29	535,96	547,35	45,07	43,47	590,00	640,98
1954	286,83	338,13	364,93	69,68	101,43	495,37	529,58
1955	102,66	101,98	103,02	12,17	48,70	135,51	193,06
1956	473,45	515,54	580,06	90,13	149,62	799,34	941,19
1957	157,19	156,51	155,43	22,92	57,29	194,40	256,59
1958	66,78	66,57	71,63	19,45	42,48	119,74	117,93
1959	309,01	308,43	309,42	86,80	152,55	482,91	499,03
1960	506,10	559,57	558,14	108,28	118,39	637,57	635,26
1961	1376,55	1410,34	1411,34	95,83	135,46	1520,08	1548,05
1962	190,71	199,41	218,17	28,03	53,14	271,53	310,12
1963	189,87	189,33	186,23	50,08	79,77	216,48	235,54
1964	1034,50	1123,75	1188,84	142,29	228,55	1475,81	1568,67
1965	329,29	328,89	331,78	20,93	31,87	378,22	404,35
1966	368,95	434,32	531,24	69,05	146,58	766,67	823,19
1967	161,36	161,28	181,07	58,37	85,91	443,97	497,36
1968	166,35	166,19	166,91	57,38	115,91	328,78	391,78
1969	578,88	705,70	887,43	161,92	321,66	1324,72	1481,71
1970	528,36	614,08	840,27	195,88	375,81	1346,67	1524,08
1971	139,71	198,16	303,03	106,74	179,92	525,60	553,68
1972	480,44	497,93	604,96	127,14	231,86	949,33	1054,90
1973	312,26	236,04	287,80	55,60	109,35	550,53	595,22
1974	613,49	676,65	740,07	80,18	140,02	931,47	1037,11
1975	721,48	792,19	866,99	85,47	170,11	1296,70	1443,63
1976	509,59	638,52	746,57	134,14	216,76	1004,23	1041,27
1977	890,41	1015,71	1043,45	67,64	149,78	1110,80	1131,66
1978	630,80	803,86	993,15	175,88	327,41	1430,34	1570,07
1979	373,03	372,48	376,61	56,01	101,39	508,35	547,16
1980	473,69	488,87	499,84	87,28	174,21	651,84	750,03
1981	852,69	939,07	986,36	153,47	188,28	1186,07	1183,88
1982	320,28	347,53	376,67	26,51	53,86	442,12	480,70
1983	261,44	260,76	255,74	37,84	50,22	269,01	276,54

Anexo B.6 – Série de vazões médias simuladas em m³/s (Almeida, 2008)

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1911	14,12	9,81	10,89	1,63	2,45	14,31	16,44
1912	16,17	16,98	18,48	2,52	3,65	25,60	36,54
1913	5,96	6,41	7,09	1,85	2,33	11,26	17,72
1914	30,74	31,79	34,23	6,25	7,91	47,73	62,97
1915	3,39	3,52	3,65	0,86	0,91	4,93	6,00
1916	7,74	7,95	8,51	1,24	1,64	11,85	17,52
1917	12,19	12,52	13,33	2,01	2,54	17,87	24,10
1918	3,01	6,69	12,25	2,85	6,73	21,79	26,14
1919	6,11	8,13	11,10	2,34	4,73	17,90	20,89
1920	11,15	14,28	18,30	3,98	7,19	28,55	34,29
1921	5,69	8,87	14,75	3,31	8,21	27,90	39,44
1922	13,44	19,16	28,03	6,16	1,31	48,74	60,03
1923	5,19	6,47	8,95	1,65	3,78	15,36	21,69
1924	25,11	34,89	45,68	13,07	21,83	74,12	85,41
1925	4,20	6,60	10,43	2,52	5,46	18,38	22,32
1926	23,23	28,67	35,67	6,69	12,30	52,24	58,41
1927	10,14	13,51	18,32	3,51	7,30	28,68	33,48
1928	19,99	24,14	29,30	3,85	7,84	40,04	44,27
1929	13,16	16,60	21,76	3,16	7,15	32,99	41,99
1930	6,18	6,70	7,94	0,27	0,48	5,58	6,19
1931	43,35	50,87	59,95	8,47	15,63	81,72	93,40
1932	14,41	17,04	21,41	1,80	5,43	30,18	36,80
1933	6,09	9,14	14,22	2,19	6,28	23,97	30,87
1934	19,97	10,50	13,16	4,39	8,91	40,73	48,98
1935	34,50	17,20	21,52	6,87	13,80	69,41	80,24
1936	52,56	28,23	32,44	7,84	14,90	87,88	102,91
1937	7,58	8,99	10,93	1,46	2,98	15,59	18,81
1938	1,64	2,47	3,61	0,46	1,16	5,58	7,09
1939	13,95	11,98	14,20	3,39	6,42	31,56	36,83
1940	36,53	43,23	52,71	5,61	13,41	73,07	86,83
1941	12,48	15,11	18,68	2,53	5,17	25,91	29,00
1942	8,38	10,70	13,85	1,31	3,51	19,63	23,87
1943	9,72	11,77	14,61	1,73	3,70	19,89	22,48
1944	9,42	10,83	13,13	1,13	2,58	16,88	19,30
1945	36,82	40,89	45,44	5,33	9,12	58,26	66,10
1946	6,37	6,97	8,24	0,43	1,19	9,97	10,64
1947	43,59	21,65	23,29	0,45	1,58	26,02	28,27

Continua

Anexo B.6 – Série de vazões médias simuladas em m³/s (Almeida, 2008) – Continuação

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1948	39,56	42,48	45,94	3,03	6,09	55,70	64,37
1949	30,82	33,64	37,76	2,55	6,14	47,93	56,56
1950	6,49	8,05	10,50	1,37	3,17	15,54	20,66
1951	46,31	50,33	56,58	1,04	3,54	36,43	45,75
1952	3,84	4,00	4,76	0,64	0,99	6,92	9,96
1953	14,31	14,61	15,42	0,99	1,43	17,76	20,10
1954	6,52	7,39	8,61	1,23	2,29	12,16	14,54
1955	2,36	3,17	4,82	0,46	1,58	7,74	10,61
1956	9,96	11,60	14,32	2,33	4,36	21,01	26,47
1957	2,63	3,08	4,34	0,67	1,52	7,06	9,50
1958	1,18	1,91	2,89	0,56	1,15	4,51	5,43
1959	4,80	6,62	10,04	1,79	4,07	15,70	17,58
1960	9,01	10,33	12,05	1,27	2,28	15,26	17,05
1961	56,89	59,31	67,55	6,17	12,19	86,02	98,28
1962	3,85	4,39	6,22	0,82	1,92	9,85	13,83
1963	9,34	10,19	11,90	1,26	2,38	15,58	18,58
1964	78,48	91,82	106,01	15,05	28,01	145,13	164,97
1965	13,65	13,99	14,53	0,93	1,39	16,97	20,02
1966	8,67	10,45	14,42	3,19	8,92	44,44	54,87
1967	12,91	13,79	15,38	4,28	7,86	49,52	58,40
1968	8,81	10,18	12,63	1,53	3,17	17,06	18,68
1969	39,20	46,04	54,74	8,54	16,28	77,28	88,34
1970	12,21	16,16	21,63	3,70	7,87	33,23	39,57
1971	6,81	8,39	11,63	2,05	4,38	18,11	22,34
1972	17,00	19,04	22,70	6,33	12,89	62,07	72,87
1973	18,07	12,10	15,89	3,26	8,61	42,58	52,23
1974	54,65	59,90	67,67	7,25	14,36	88,75	107,24
1975	13,91	15,71	18,62	3,89	8,20	53,27	63,49
1976	11,28	13,70	16,68	2,11	4,19	22,47	25,04
1977	56,52	64,75	69,82	4,45	8,89	82,86	91,43
1978	16,92	45,04	51,55	5,62	10,87	67,77	78,87
1979	12,77	13,66	15,72	1,14	2,71	20,26	23,97
1980	8,37	10,39	13,46	1,97	4,15	19,61	22,65
1981	24,99	27,25	29,57	2,83	4,55	35,66	37,92
1982	11,39	12,16	13,27	0,93	1,61	15,80	17,30
1983	5,25	5,51	6,24	0,65	1,00	7,64	8,40

Anexo B.7 – Série de vazões máximas simuladas em m³/s (Nunes, 2005).

	Caraúbas	Taperoá	P. de Pedras	Boqueirão	BS5	BS9	BS14	BS25	BS35
1923	23,94	20,38	20,38	30,74	17,95	3,58	14,06	23,96	16,48
1924	130,10	9,35	76,74	186,72	59,10	30,99	26,88	140,30	18,29
1925	16,27	23,15	20,81	22,40	15,30	3,10	7,76	16,42	19,44
1926	156,14	71,46	193,87	287,47	47,70	42,09	56,12	155,95	154,12
1927	94,15	31,63	94,68	156,69	45,57	41,35	15,00	98,18	77,54
1928	69,46	31,44	55,60	73,54	55,81	2,94	33,70	72,69	35,67
1929	111,93	59,85	104,50	240,37	28,14	28,94	33,50	135,58	59,85
1930	10,37	1,57	20,17	28,66	8,82	6,94	4,79	10,88	20,19
1931	14,46	21,45	35,78	162,73	0,99	0,67	1,94	114,93	19,47
1932	20,53	16,15	55,73	70,01	8,68	10,97	21,35	19,38	55,45
1933	32,43	15,84	33,96	60,00	14,53	18,04	17,19	31,21	30,35
1934	81,36	37,70	137,03	297,32	6,30	11,78	38,61	165,95	80,28
1935	84,91	34,96	149,73	325,57	9,20	13,97	27,26	174,21	118,75
1936	83,04	3,14	20,66	93,72	44,82	27,17	6,19	82,51	2,00
1937	113,43	49,88	109,20	220,75	26,59	35,36	50,74	112,03	89,69
1938	54,35	6,55	73,46	161,56	13,38	4,36	18,61	78,21	14,82
1939	130,36	12,46	102,71	274,37	45,23	45,33	33,61	167,36	13,37
1940	116,86	21,36	123,49	310,39	56,27	36,90	27,28	179,43	39,85
1941	122,24	35,54	121,93	190,79	47,79	36,54	27,13	122,32	88,64
1942	3,57	23,21	70,91	70,45	5,11	0,51	0,00	11,10	64,03
1943	28,19	9,66	10,62	56,64	14,61	16,55	0,00	53,39	10,07
1944	15,53	1,17	45,36	52,34	15,26	0,00	0,67	48,77	31,20
1945	92,49	61,91	265,44	395,18	29,40	36,74	35,55	162,10	207,08
1946	27,79	19,87	25,78	36,23	23,85	4,25	13,43	27,77	25,15
1947	162,08	65,15	201,27	359,46	40,80	23,16	38,61	183,34	131,38
1948	55,41	53,04	240,49	250,53	25,67	25,33	8,67	54,88	212,33
1949	83,75	31,71	160,69	206,63	50,43	27,59	6,66	83,29	142,29
1950	14,73	27,47	151,95	148,64	16,79	1,74	2,40	13,46	134,77
1951	91,50	21,43	66,85	99,60	36,74	48,26	11,51	90,23	63,13
1952	53,32	16,19	148,31	210,73	1,31	8,87	43,40	57,63	49,17
1953	90,95	24,42	92,77	181,86	4,73	0,00	87,44	89,65	79,10
1954	46,66	18,91	212,56	389,71	5,58	29,17	44,56	156,97	100,55
1955	21,44	27,18	76,59	84,58	1,36	9,34	16,55	20,86	41,88
1956	147,71	60,25	246,12	416,28	34,52	42,80	77,23	153,50	143,32
1957	196,50	2,14	34,23	211,17	23,83	32,73	106,50	207,55	12,06
1958	229,95	12,67	55,21	264,79	53,23	25,33	107,57	236,09	45,81
1959	160,70	6,54	47,46	249,56	47,39	40,71	55,72	214,25	20,56

Continua

Anexo B.7 – Série de vazões máximas simuladas em m³/s (Nunes, 2005) - Continuação

	Caraúbas	Taperoá	P. de Pedras	Boqueirão	BS5	BS9	BS14	BS25	BS35
1960	312,09	22,84	131,57	448,84	148,35	54,16	61,12	329,41	72,14
1961	27,92	9,99	65,45	148,75	1,14	1,75	17,65	84,05	54,67
1962	118,70	40,48	37,95	289,09	37,40	35,05	38,21	254,12	35,64
1963	89,84	22,45	37,96	106,26	7,19	86,55	26,00	99,19	35,24
1964	132,88	61,52	84,16	205,49	45,58	52,93	77,65	167,02	71,61
1965	144,01	54,05	118,81	371,48	78,08	22,53	80,57	325,97	104,31
1966	153,46	23,76	57,44	235,48	34,77	63,76	74,84	182,63	40,11
1967	60,74	37,11	54,31	171,28	10,20	16,56	46,24	117,51	45,86
1968	189,08	32,57	97,77	389,08	38,42	29,09	73,30	305,55	85,38
1969	189,08	32,57	97,77	389,08	38,42	29,09	73,30	305,55	85,38
1970	115,81	12,27	13,56	128,07	36,87	47,28	61,24	114,85	12,45
1971	61,18	35,95	69,79	173,53	25,01	6,81	45,37	114,72	47,39
1972	24,68	33,41	43,44	58,07	16,37	7,03	6,10	23,52	39,46
1973	55,69	26,23	64,08	151,30	13,81	9,85	27,36	84,29	22,85
1974	117,66	17,67	47,37	179,68	47,85	31,76	31,65	130,76	21,59
1975	198,35	58,88	119,58	396,97	40,26	38,51	78,58	266,55	57,76
1976	43,86	50,39	54,29	60,99	18,93	26,82	19,22	45,98	49,74
1977	152,18	43,78	443,07	631,49	21,99	18,40	74,30	188,25	301,92
1978	232,07	76,01	142,36	412,77	57,81	68,28	75,44	314,87	111,12
1979	4,64	5,51	27,65	61,20	3,84	2,55	0,00	55,20	27,64
1980	15,95	0,00	4,83	16,11	2,69	9,04	7,58	15,69	5,48
1981	193,73	18,61	61,46	349,28	65,87	70,58	39,43	265,09	24,52
1982	95,38	22,06	22,69	93,54	41,40	52,53	8,18	94,07	19,03
1983	93,86	44,02	46,51	99,31	64,54	12,04	18,76	95,24	39,71

Anexo B.8 – Série de vazões médias simuladas em m³/s (Nunes, 2005)

	Caraúbas	Taperoá	P. de Pedras	Boqueirão	BS5	BS9	BS14	BS25	BS35
1923	0,565	0,115	0,322	0,916	0,271	0,069	0,141	0,556	0,209
1924	4,618	0,956	3,790	9,735	1,914	0,560	1,261	4,673	1,384
1925	0,783	0,344	0,753	1,522	0,39	0,056	0,181	0,762	0,490
1926	5,786	6,940	15,688	21,813	2,161	1,452	1,828	5,754	12,718
1927	1,617	0,473	1,956	3,649	0,59	0,471	0,200	1,593	1,378
1928	0,865	0,683	1,467	2,371	0,36	0,039	0,285	0,871	1,096
1929	3,482	0,887	3,449	7,168	0,891	0,696	1,304	3,598	2,568
1930	0,316	0,043	0,621	0,967	0,106	0,091	0,053	0,339	0,482
1931	0,216	0,140	0,700	1,598	0,025	0,027	0,047	0,680	0,373
1932	0,232	0,211	0,913	1,176	0,044	0,058	0,110	0,261	0,745
1933	0,427	0,270	0,819	1,277	0,126	0,179	0,077	0,463	0,665
1934	1,797	0,718	4,658	7,995	0,154	0,275	0,670	2,856	0,094
1935	1,810	0,604	3,700	6,778	0,233	0,346	0,656	2,681	1,643
1936	0,627	0,072	0,234	1,611	0,255	0,760	0,074	1,105	0,094
1937	1,062	0,843	1,937	3,262	0,323	0,250	0,377	1,247	1,534
1938	0,423	0,101	0,675	1,295	0,071	0,029	0,126	0,535	0,370
1939	2,089	0,327	1,403	5,090	0,515	0,383	0,529	3,171	0,592
1940	4,179	1,017	8,950	21,474	0,457	0,229	1,125	7,574	1,772
1941	1,172	0,454	1,370	2,824	0,39	0,280	0,224	1,313	0,982
1942	0,055	0,334	0,789	0,912	0,029	0,009	0,000	0,124	0,695
1943	0,215	0,106	0,316	0,839	0,097	0,098	0,000	0,481	0,243
1944	0,269	0,035	0,597	1,270	0,184	0,000	0,008	0,617	0,458
1945	3,430	1,175	8,944	12,890	0,971	0,896	0,536	3,614	6,644
1946	0,383	0,256	0,832	1,272	0,214	0,037	0,063	0,429	0,592
1947	4,984	0,855	8,456	13,950	1,391	0,632	0,723	5,039	5,570
1948	1,227	0,924	6,561	7,842	0,573	0,325	0,168	1,204	5,908
1949	0,764	0,551	2,170	2,998	0,38	0,147	0,050	0,782	1,679
1950	0,856	0,330	0,968	1,800	0,068	0,008	0,029	0,125	0,799
1951	0,403	0,346	1,189	1,693	0,314	0,376	0,094	0,826	0,639
1952	1,191	0,283	1,137	2,320	0,005	0,048	0,259	0,430	0,867
1953	0,996	0,450	4,195	6,473	0,027	0,000	1,006	1,177	1,603
1954	0,297	0,518	1,644	2,227	0,027	0,333	0,256	1,955	0,996
1955	2,445	0,794	3,387	6,282	0,013	0,089	0,154	0,293	1,728
1956	1,264	0,047	0,579	1,974	0,503	0,486	1,046	2,596	0,201
1957	1,695	0,199	1,209	2,943	0,173	0,199	0,613	1,355	0,684
1958	11,658	0,078	1,277	13,449	0,325	0,258	0,784	1,684	0,506
1959	10,918	0,362	5,568	17,016	2,676	2,935	2,613	11,929	2,451

Continua