



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAMPUS II - CAMPINA GRANDE**

**OTIMIZAÇÃO DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COREMAS/  
MÃE D'ÁGUA PARA MÚLTIPLOS USOS**

**EUNICE PORTO CÂMARA**

**CAMPINA GRANDE**

**JULHO DE 2000**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**OTIMIZAÇÃO DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COREMAS/**

**MÃE D'ÁGUA PARA MÚLTIPLOS USOS**

**EUNICE PORTO CÂMARA**

**CAMPINA GRANDE- PB**

**JULHO DE 2000**

---

**EUNICE PORTO CÂMARA**

**OTIMIZAÇÃO DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COREMAS/MÃE D'ÁGUA  
PARA MÚLTIPLOS USOS**

---

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

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**ORIENTADORES: ROSIRES CATÃO CURI**

**WILSON FADLO CURI**

**Campina Grande – PB**

**JULHO DE 2000**

---



C172o Câmara, Eunice Porto.  
Otimização da água do reservatório Coremas / Mãe d'Água para múltiplos usos / Eunice Porto Câmara. - Campina Grande, 2000.  
241 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.

"Orientação : Profa. Dra. Rosires Catão Curi, Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi".

Referências.

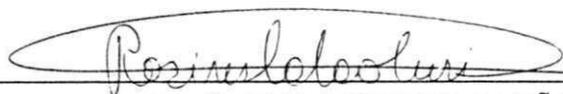
1. Irrigação. 2. Recursos Hídricos. 3. Reservatório Coremas / Mãe d'água. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Curi, Rosires Catão. II. Curi, Wilson Fadlo. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 627.81(813.3)(043)

**OTIMIZAÇÃO DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COREMAS/MÃE  
D'ÁGUA PARA MÚLTIPLOS USOS**

**EUNICE PORTO CÂMARA**

**DISSERTAÇÃO DEFENDIDA EM 25 DE JULHO DE 2000**



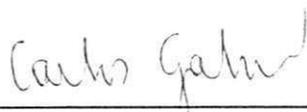
**Prof<sup>a</sup>. PhD. ROSIRES CATÃO CURI**  
**Orientadora**



**Prof. PhD. WILSON FADLO CURI**  
**Orientador**



**Prof. Dr. JOÃO ABNER GUIMARÃES JÚNIOR**  
**Examinador**



**Prof. Dr. CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO**  
**Examinador**

**Campina Grande – PB**

**JULHO DE 2000**

**Aos meus Pais e irmãos.**

**Ao meu esposo Marcos Tibério e,  
em especial, ao meu filho Marcos Leonardo**

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo que sou e por tudo que até hoje conquistei em minha vida.

Ao meu filho Marcos Leonardo que, neste último ano, tornou esta caminhada mais doce e alegre.

Aos meus pais, irmãos e esposo pelo carinho, apoio e incentivo, sempre.

Aos professores Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, pela orientação sempre segura e incentivo ao longo de todo este trabalho.

Agradeço ao professor Heber Pimentel Gomes com o qual tive a oportunidade de iniciar meus estudos na área de Recursos Hídricos.

Aos meus amigos Maria Betânia, Ricardo Aragão, Silvestre Nóbrega e Jorge Rabelo por termos nos mantido sempre unidos, e termos superado todas as dificuldades do curso juntos, OBRIGADO.

A todos os professores da Área de Recursos Hídricos pela formação que recebi.

A D. Alzira, Vera e Alrezinha pelos serviços prestados assim como pela amizade criada neste período.

Aos demais funcionários do Laboratório de Recursos Hídricos, que sempre se mostraram prontos a ajudar.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste curso de mestrado.

## RESUMO

O sistema de reservatórios interligados Coremas e Mãe D'Água, que se localiza no extremo sudoeste do estado da Paraíba, é abastecido por três rios, Piancó, Emas e Aguiar, e, juntos, constituem o maior reservatório do estado da Paraíba e o terceiro maior reservatório do Nordeste. A água deste sistema é utilizada para atender múltiplos usos que incluem: abastecimento de 33 localidades, geração de energia elétrica, atividades de piscicultura e agricultura irrigada e regularização do rio Piancó para o estado do Rio Grande do Norte. Dois perímetros irrigados estão ligados a estes reservatórios: um dos perímetros, com 1880 ha, está localizado às margens dos dois reservatórios, enquanto que o outro, com 4880 ha, está ligado ao reservatório Mãe D'Água por um canal de reversão, denominado Canal da Redenção, de 37 Km. O objetivo deste trabalho consiste na maximização dos benefícios sócio-econômicos através da escolha das áreas de cultivo de 15 culturas pré-selecionadas divididas em dois grupos, fruticultura (8 tipos de frutas) e horticultura (7 tipos de hortaliças), com seus respectivos sistemas de irrigação, nos dois perímetros irrigados, atividades de piscicultura e geração de energia que, por sua vez, esta vinculada ao estabelecimento de regras para regularização dos rios Piancó e Piranhas. O modelo matemático utiliza-se de método de programação não-linear, com 480 restrições de comportamento físico e critérios operacionais impostos ao sistema, incluindo a sua sustentabilidade hídrica. Dentre as restrições vale destacar que o balanço hídrico é realizado individualmente em cada reservatório e o princípio de vasos comunicantes é usado para determinar a transferência de água entre os reservatórios. A análise foi feita para cenários caracterizados como anos seco, normal e chuvoso, além de escolha de diferentes volumes iniciais para o sistema de reservatórios. Pelos resultados observou-se que a fruticultura gerou maior receita enquanto que a horticultura gerou maior requerimento de mão de obra. As receitas oriundas de atividades de piscicultura foram maiores quando se teve o cenário de ano chuvoso, volume inicial de 80% da capacidade máxima e o uso de horticultura. A geração de energia sempre foi máxima, dado o requerimento de regularização do rio Piancó.

## ABSTRACT

A system of two interconnected reservoirs, Coremas and Mãe D'Água, is located at south-western part of the Paraíba state, and they are fed by three rivers: Piancó, Emas and Aguiar. They, together, are the largest reservoir of the Paraíba state and the third largest one in the northeast part of Brazil. Their waters are used for human supply of 33 small towns, hydroelectric power generation, irrigation and fishing activities and to meet downstream water demand required from the Rio Grande do Norte state. Two irrigation sites are supplied by those reservoirs: one with 1880 ha located in the neighborhood of the reservoirs and another with 4880 ha, in the neighborhood of the city of Sousa, which is connected to the reservoir through an open channel with length of 37 Km. The aim of this work is to maximize the social and economical benefits through the choice of irrigation areas for 8 selected types of fruits and 7 selected types of vegetables and grains, as well as, to establish the monthly water release, of which the electrical power generation depends upon. The mathematical model uses a nonlinear programming method with 480 constraints that represents the physical and operational behavior of the system, including the sustainability of the reservoirs. Among the set of constraints it is worthwhile mentioning that the water balance is performed at each one of the reservoirs and the interconnected vessel principle is used to establish the reservoirs' water transfer. The analyses were performed using dry, normal and wet scenarios and different values for the reservoir initial volume. From the results one may observe that the plantation of fruits generates better net profit while growing vegetables and grains generates more human labor. The net profit that can be attained from fishing activities were the best ones when dealing with a wet scenario, reservoirs initial volume equal to 80% of their capacities and growing vegetables. The electric power generation was at their maximum capacities due to the requirement of a minimum water release to the Rio Grande do Norte state.

## ÍNDICE

### **Capítulo I – Introdução**

1.1 – Introdução	2
1.2 – Objetivos	5
1.2.1 – Objetivos Gerais	6
1.2. – Objetivos Específicos	6
1.3 – Organização do Trabalho	7

### **Capítulo II – Descrição da Região em Estudo**

2.1 – Introdução	10
2.2 – Aspectos Fisiográficos	10
2.2.1 – Características da Bacia	10
2.2.2 – Solos	13
2.2.3 – Vegetação	17
2.3 – Climatologia	17
2.3.1 – Temperatura	17
2.3.2 – Umidade Relativa do ar	18
2.3.3 – Velocidade do Vento	18
2.3.4 – Insolação	19
2.3.5 – Evaporação	19
2.3.6 – Precipitação	20
2.4 – Hidrologia Superficial	20
2.4.1 – O Rio Piancó	20
2.4.2 – Açudes a Montante	21
2.5 – Hidrologia Subterrânea	22

### **Capítulo III – Pluviometria**

3.1 – Introdução	26
3.2 – Postos da Região	27
3.3 – Análise de Consistência de Dados Pluviométricos	28

3.4 – Análise Estatística dos Dados de Precipitação	35
---	----

#### **Capítulo IV – Fluviometria**

4.1 – Introdução	44
4.2 – Fluviomorfologia e Escoamento Superficial	44
4.2.1 – Dados Disponíveis	44
4.2.2 – O Modelo Chuva Vazão	45
4.2.3 – Potencialidade e Disponibilidade Hídricas	46
4.2.4 – Geração de Séries	47
4.2.5 – Avaliação das Disponibilidades Hídricas	47

#### **Capítulo V – O Sistema Coremas/ Mãe D'água**

5.1 – Introdução	63
5.2 – O Sistema Coremas/ Mãe D'água	63
5.2.1 – Dados Técnicos	63
5.2.2 – Qualidade da água	64
5.2.2.1 – Qualidade das Águas Destinadas à Irrigação	65
5.2.2.2 – Águas para Abastecimento Humano	68
5.2.3 – Demandas	74
5.2.3.1 – Abastecimento Humano	75
5.2.3.2 – Irrigação	80
5.2.3.2.1 – Culturas Seleccionadas	80
5.2.3.2.2 - Perímetros Irrigados	86
5.2.3.2.3 – Sistemas de Irrigação	86
5.2.3.2.4 – Dados Sobre as Culturas	89
5.2.3.3 – Piscicultura	90
5.2.3.3.1 – Espécies Cultivadas	91
5.2.3.4 – Regularização de Vazão	93
5.2.3.5 – Geração de Energia Elétrica	94
5.2.3.6 – Canal da Reversão	95
5.2.3.7 – Navegação	95
5.2.3.8 – Indústria	95

## **Capítulo VI - Programação Não Linear**

6.1 – Introdução	100
6.2 – Programação Não Linear	101
6.3 – Conceitos e Teoremas	103
6.4 – Classificação da Programação Não Linear	106
6.4.1 – Técnicas Analíticas	107
6.4.2 – Técnicas de Busca Numérica	108
6.4.2.1 – Métodos de Busca Unidirecional	108
6.4.2.1.1 – Reduções Sucessivas de Intervalos	108
6.4.2.1.2 – Métodos Finitos ou Aprofundamentos	109
6.5 – Métodos Para Problemas de Otimização sem Restrições (ou irrestritas)	109
6.5.1 – Métodos de Otimização Irrestrita com Busca Através de Derivadas	109
6.5.1.1 – Método do Gradiente (Steepest Descent)	109
6.5.1.2 – Método de Newton – Raphson	110
6.5.1.3 – Método de Direções Conjugadas	110
6.5.1.4 – Métodos Quase-Newtonianos	110
6.5.2 – Métodos de Otimização Irrestrita com Busca sem o Auxílio de Derivadas	111
6.5.2.1 – Método de Hooke e Jeeves	111
6.5.2.2 – Método de Rosenbrock	111
6.5.2.3 – Método de Powell	111
6.6 – Métodos para Solução de Problemas de Otimização Restrita	112
6.6.1 – Funções de Penalidades	112
6.6.1.1 - Método de Barreiras	112
6.6.1.2 – Método de Pontos Extremos	113
6.6.2 – Métodos Primais	113
6.6.2.1 – Métodos de Linearização	113
6.6.2.2 – Métodos do Gradiente Reduzido	113

## **Capítulo VII – Modelo de Otimização do Sistema**

7.1 – Introdução	116
7.2 – O Modelo de Otimização	116
7.2.1 – Formulação Matemática da Função Objetivo	116
7.2.1.1 – Objetivos Econômicos – Maximização da Receita Líquida	116
7.2.1.2 – Objetivos Sociais – Maximização/ Minimização da Mão de Obra	117
7.3 – Restrições Físicas	117
7.3.1 – Compatibilização dos Níveis dos Reservatórios	117
7.3.2 – Balanço Hídrico Mensal	120
7.3.3 – Limites de armazenamento nos Reservatórios	121
7.3.4 – Capacidade dos Reservatórios	122
7.3.5 – Capacidade da Turbina Geradora de Energia	122
7.3.6 – Capacidade do Canal	122
7.3.7 – Área dos Perímetros Irrigados	122
7.3.8 – Garantia de Abastecimento	123
7.3.9 – Equações de Cálculo dos Espelhos D'água dos Reservatórios	123
7.3.10 – Equações dos Volumes dos Reservatórios	123
7.3.11 – Gerenciamento Agronômico e Critério de Mercado	124
7.3.12 – Disponibilidade de Solo	125
7.3.13 – Critérios de Operação do Reservatório	125
7.3.14 – Restrições do Sistema	126
7.4 – Fluxograma do Modelo	126
7.5 – Dados de Entrada do Modelo	128
7.6 – Saída dos Resultados	130

## **Capítulo VIII – Descrição dos Cenários**

8.1 – Introdução	132
8.2 – Cenário Hidrológico	132
8.3 – Cenário Fluviométrico	133
8.4 – Cenário de Variação nos Volumes Iniciais dos reservatórios	133

## **Capítulo IX – Análise dos Resultados**

9.1 – Introdução	136
9.2 – Aspectos Gerais da Otimização	136
9.3 – Resultados e Análises para a Função Objetivo que Maximiza a Receita Líquida	139
9.3.1 – Ano Seco	139
9.3.1.1 – Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima	139
9.3.1.1.1 – Áreas Irrigadas	139
9.3.1.1.2 – Receita Líquida	140
9.3.1.1.3 – Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida	142
9.3.1.2 – Ano Seco Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima	144
9.3.1.2.1 – Áreas Irrigadas	144
9.3.1.2.2 – Receita Líquida	144
9.3.1.2.3 – Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida	145
9.3.1.3 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima	146
9.3.2 – Ano Normal	148
9.3.2.1 – Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima	148
9.3.2.1.1 – Áreas Irrigadas	148
9.3.2.1.2 – Receita Líquida	148
9.3.2.1.3 – Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida	149
9.3.2.2 – Ano Normal Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima	150
9.3.2.2.1 – Áreas Irrigadas	150
9.3.2.2.2 – Receita Líquida	151
9.3.2.2.3 – Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida	151

9.3.2.3 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima	152
9.3.3 – Ano Chuvoso	153
9.3.3.1 – Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima	153
9.3.3.1.1 – Áreas Irrigadas	153
9.3.3.1.2 – Receita Líquida	154
9.3.3.1.3 – Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida	155
9.3.3.2 – Ano Chuvoso Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima	155
9.3.3.2.1 – Áreas Irrigadas	156
9.3.3.2.2 – Receita Líquida	157
9.3.3.3 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima	157
9.3.4 – Análise dos Resultados entre Ano Seco, Ano Normal e Ano Chuvoso	159
9.3.4.1 – Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima	159
9.3.4.1.1 – Áreas Irrigadas	159
9.3.4.1.2 – Receita Líquida	160
9.3.4.1.3 – Mão de Obra	161
9.3.4.1.4 – Vazão para Irrigação	161
9.3.4.1.5 – Abastecimento	162
9.3.4.1.6 – Regularização do Rio Piancó	162
9.3.4.2 – Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima	163
9.3.4.2.1 – Áreas Irrigadas	163
9.3.4.2.2 – Receita Líquida	164
9.3.4.2.3 – Mão de Obra	165
9.3.4.2.4 – Abastecimento	166
9.3.4.2.5 – Regularização do Rio Piancó	166
9.4 – Resultados e Análises para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra	170
9.4.1 – Áreas Irrigadas	170
9.4.2 – Mão de Obra	171
9.4.2.1 – Irrigação	171
9.4.2.2 – Piscicultura	171
9.4.2.3 – Geração de Energia Elétrica	171

9.4.3 – Receita Líquida	172
9.4.3.1 – Irrigação	172
9.4.3.2 – Piscicultura	172
9.4.3.3 – Geração de Energia Elétrica	172
9.4.4 – Análise dos Resultados para o Cenário Normal, Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima, entre a Maximização de Receita Líquida e a Maximização da Mão de Obra	173
9.4.4.1 – Irrigação	173
9.4.4.2 – Mão de Obra	173
9.4.4.3 – Receita Líquida	173
9.4.5 – Conclusões Gerais	174

## **Capítulo X – Conclusões e Recomendações**

10.1 – Introdução	238
10.2 – Conclusões	238
10.3 – Recomendações	240

## **Bibliografia**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Temperatura média mensal ( $^{\circ}\text{C}$ )	17
Tabela 2.2 – Médias mensais da umidade relativa do ar (%)	18
Tabela 2.3 – Velocidade média mensal do vento (m/s)	18
Tabela 2.4 – Número mensal médio de horas diárias de insolação	19
Tabela 2.5 – Evaporação média mensal do tanque classe A (mm), utilizando o fator de correção $K_p$	19
Tabela 2.6 – Precipitação média mensal obtida através do método de Thiessen para a bacia do rio Piancó (mm)	20
Tabela 2.7 – Açudes existentes a montante do reservatório Coremas/Mãe D'água	21
Tabela 2.8 – Açudes a serem construídos a montante do reservatório Coremas/Mãe D'água	22
Tabela 2.9 – Distribuição das reservas renováveis do cristalino da bacia do rio Piancó	23
Tabela 2.10 – Potenciais de água subterrânea na bacia do rio Piancó	24
Tabela 3.1 – Postos pluviométricos localizados na bacia do Piancó	27
Tabela 3.2 – Postos pluviométricos selecionados para o estudo	28
Tabela 3.3 – Áreas de influência dos postos pluviométricos da bacia do Piancó	30
Tabela 3.4 – Precipitação média mensal dos Postos da bacia do Piancó	32
Tabela 3.5 – Precipitação média mensal e total anual da série obtida através do Método de Thiessen para a bacia do rio Piancó	34
Tabela 3.6 – Série de dados pluviométricos para classificação em anos secos, normais e Chuvosos	37
Tabela 3.7 – Resumo estatístico para a série total de dados	38
Tabela 3.8 – Valores médios anuais da precipitação para anos secos $x \leq (X - S/2)$	39
Tabela 3.9 – Valores médios anuais da precipitação para anos chuvosos $x \geq (X + S/2)$	39
Tabela 3.10 – Valores médios anuais da precipitação para anos de precipitação normal $(X - S/2) < x < (X + S/2)$	40
Tabela 3.11 – Valores das precipitações médias mensais para ano seco (mm)	41
Tabela 3.12 – Valores das precipitações médias mensais para ano normal (mm)	41
Tabela 3.13 – Valores das precipitações médias mensais para ano chuvoso (mm)	41
Tabela 3.14 – Distribuição estatística ajustada ao total precipitado	41
Tabela 4.1 – Parâmetros calibrados para o posto Piancó	49

Tabela 4.2 – Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para a bacia do posto Aguiar – Período 1950 a 1984	50
Tabela 4.3 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Aguiar, período 1950 a 1984	51
Tabela 4.4 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos secos $x \leq (X - S/2)$	51
Tabela 4.5 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano seco (mm)	52
Tabela 4.6 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos normais $(X - S/2) < x < (X + S/2)$	52
Tabela 4.7 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano normal (mm)	53
Tabela 4.8 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos chuvosos $(X + S/2) \leq x$	53
Tabela 4.9 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano chuvoso (mm)	53
Tabela 4.10 – Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para a bacia do posto Piancó – Período 1950 a 1984	54
Tabela 4.11 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Piancó, período 1950 a 1984	55
Tabela 4.12 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Piancó, anos secos $x \leq (X - S/2)$	55
Tabela 4.13 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Piancó, ano seco (mm)	56
Tabela 4.14 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Piancó, anos normais $(X - S/2) < x < (X + S/2)$	56
Tabela 4.15 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Piancó, ano normal (mm)	57
Tabela 4.16 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Piancó, anos chuvosos $(X + S/2) \leq x$	57
Tabela 4.17 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Piancó, ano chuvoso (mm)	57

Tabela 4.18 – Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para abacia do posto Emas – Período 1950 a 1984	58
Tabela 4.19 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Emas, período 1950 a 1984	59
Tabela 4.20 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Emas, anos secos $x \leq (X - S/2)$	59
Tabela 4.21 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano seco (mm)	60
Tabela 4.22 – Valores médios anuais das lâminas geradas para abacia do posto Emas, anos normais $(X - S/2) < x < (X + S/2)$	60
Tabela 4.23 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano normal (mm)	61
Tabela 4.24 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Emas, anos chuvosos $(X + S/2) \leq x$	61
Tabela 4.25 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano chuvoso (mm)	61
Tabela 5.1 – Relação entre condutividade elétrica e os riscos de salinidade do solo	66
Tabela 5.2 – Riscos de diminuição da permeabilidade do solo em função da RAS da água de irrigação	67
Tabela 5.3 – Classificação das águas segundo a NB-592 da ABNT	72
Tabela 5.4 – Parâmetros de qualidade da água de açudes da bacia do Piancó utilizados para abastecimento público	73
Tabela 5.5 – Dados censitários da população urbana e rural dos municípios da bacia do rio Piancó	77
Tabela 5.6 – Resultados da projeção para os municípios da bacia do rio Piancó	78
Tabela 5.7 – Consumo dos municípios da bacia hidrográfica do rio Piancó em l/s	79
Tabela 5.8 – Dados sobre o sistema de irrigação	87
Tabela 5.9 – Dados sobre as culturas consideradas no estudo	89
Tabela 5.10 – Demandas unitárias industriais por ramo de atividade	96
Tabela 5.11 – Tipo de indústria, ramo de atividade, pessoal ocupado e consumo segundo os municípios	97
Tabela 5.12 – Evolução da demanda hídrica (l/s) para os municípios que informaram seus dados	97

Tabela 8.1 – Caracterização dos cenários utilizados no modelo	134
Tabela 9.1 – Mão de Obra Requerida para Cada Cultura	140
Tabela 9.2 – Áreas Alocadas para Culturas do Grupo I para Cada Perímetro para todos os Cenários (ha)	176
Tabela 9.3 – Percentual de áreas alocadas para Culturas do Grupo I para cada Perímetro para todos os Cenários	177
Tabela 9.4 – Áreas Alocadas para Culturas do Grupo I para cada Perímetro para todos os Cenários (ha)	178
Tabela 9.5 – Percentual de áreas alocadas para Culturas do Grupo II para cada Perímetro para todos os Cenários	179
Tabela 9.6 – Mão de obra Alocada para Culturas do Grupo I para cada Perímetro para todos os Cenários (homens-dia)	188
Tabela 9.7 – Mão de obra Alocada para Culturas do Grupo II para cada Perímetro para todos os Cenários (homens-dia)	189
Tabela 9.8 – Receita Líquida Gerada para Culturas do Grupo I para cada Perímetro para todos os Cenários (R\$ MIL)	196
Tabela 9.9 – Receita Líquida Gerada para Culturas do Grupo II para cada Perímetro para todos os Cenários (R\$ MIL)	197
Tabela 9.10 – Vazões Mensais Alocadas para Irrigação para Culturas do Grupo I (m <sup>3</sup> /s)	204
Tabela 9.11 – Vazões Mensais Alocadas para Irrigação para Culturas do Grupo II (m <sup>3</sup> /s)	205
Tabela 9.12 – Resultados Obtidos para a Piscicultura para todos os Cenários para Culturas do Grupo I	212
Tabela 9.13 – Resultados Obtidos para a Piscicultura para todos os Cenários para Culturas do Grupo II	212
Tabela 9.14 – Receita Global Gerada com Irrigação, Piscicultura e Geração de Energia Elétrica para os dois Grupos de Culturas (R\$ MIL)	213
Tabela 9.15 – Percentual da receita Global Gerada com Irrigação, Piscicultura e Geração de Energia Elétrica para os dois Grupos de Culturas (%)	214
Tabela 9.16 – Vazões destinadas a Geração de Energia e Regularização de Vazão	215
Tabela 9.17 – Áreas Alocadas para Culturas do Grupo I para cada Perímetro para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra (ha)	211
Tabela 9.18 – Percentual de áreas Alocadas para Culturas do Grupo I para cada Perímetro	

para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra (ha)	223
Tabela 9.19 – Áreas Alocadas para Culturas do Grupo II para cada Perímetro para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra (ha)	224
Tabela 9.20 – Percentual de áreas Alocadas para Culturas do Grupo II para cada Perímetro para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra (ha)	225
Tabela 9.21 – Mão-de-Obra alocada para culturas do grupo I para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a Mão-de-obra (homens/dia)	227
Tabela 9.22 – Mão-de-Obra alocada para culturas do grupo II para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a Mão-de-obra (homens/dia)	228
Tabela 9.23 – Receita líquida gerada para culturas do grupo I para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a Mão-de-obra (R\$ Mil)	230
Tabela 9.24 – Receita líquida gerada para culturas do grupo II para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a Mão-de-obra (R\$ Mil)	231
Tabela 9.25 – Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do grupo I (m <sup>3</sup> /s)	233
Tabela 9.26 – Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do grupo II (m <sup>3</sup> /s)	234
Tabela 9.27 – Resultados obtidos para a piscicultura para a maximização da mão-de-obra – culturas do grupo I	236
Tabela 9.28 – Resultados obtidos para a piscicultura para a maximização da mão-de-obra – culturas do grupo II	236

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 9.1 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	182
Gráfico 9.2 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	182
Gráfico 9.3 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	183
Gráfico 9.4 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	183
Gráfico 9.5 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	184
Gráfico 9.6 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	184
Gráfico 9.7 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	185
Gráfico 9.8 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	185
Gráfico 9.9 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	186
Gráfico 9.10 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	186
Gráfico 9.11 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = = 60% da capacidade máxima – Grupo I	187

Gráfico 9.12 – Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	187
Gráfico 9.13 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	190
Gráfico 9.14 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	190
Gráfico 9.15 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	191
Gráfico 9.16 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	191
Gráfico 9.17– Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	192
Gráfico 9.18 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	192
Gráfico 9.19 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	193
Gráfico 9.20 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	193
Gráfico 9.21 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	194
Gráfico 9.22 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	194
Gráfico 9.23 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	195

Gráfico 9.24 – Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	195
Gráfico 9.25 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	198
Gráfico 9.26 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	198
Gráfico 9.27 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	199
Gráfico 9.28 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	199
Gráfico 9.29 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	200
Gráfico 9.30 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	200
Gráfico 9.31 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	201
Gráfico 9.32 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	201
Gráfico 9.33 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	202
Gráfico 9.34 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	202
Gráfico 9.35 – Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	203

Gráfico 9.36– Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	203
Gráfico 9.37– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	206
Gráfico 9.38– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	206
Gráfico 9.39– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	207
Gráfico 9.40– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	207
Gráfico 9.41– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	208
Gráfico 9.42– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	208
Gráfico 9.43– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	209
Gráfico 9.44– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	209
Gráfico 9.45– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	210
Gráfico 9.46– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	210
Gráfico 9.47– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	211

Gráfico 9.48– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	211
Gráfico 9.49– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	215
Gráfico 9.50– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano seco- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	215
Gráfico 9.51– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	216
Gráfico 9.52– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano normal- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	216
Gráfico 9.53– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo I	217
Gráfico 9.54– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano chuvoso- Volume inicial = 80% da capacidade máxima – Grupo II	217
Gráfico 9.55– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	218
Gráfico 9.56– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano seco- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	218
Gráfico 9.57– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	219
Gráfico 9.58– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	219
Gráfico 9.59– Vazões mensais para regularização do rio Píancó –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	220

Gráfico 9.60– Vazões mensais para regularização do rio Piancó –ano chuvoso- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	220
Gráfico 9.61– Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	226
Gráfico 9.62– Áreas alocadas para cada cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	226
Gráfico 9.63– Mão-de-obra requerida por cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	229
Gráfico 9.64– Mão-de-obra requerida por cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	229
Gráfico 9.65– Receita Líquida gerada por cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	232
Gráfico 9.66– Receita Líquida gerada por cultura por perímetro –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	232
Gráfico 9.67– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo I	235
Gráfico 9.68– Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros –ano normal- Volume inicial = 60% da capacidade máxima – Grupo II	235

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Piancó no Estado da Paraíba	11
Figura 2.2 – Bacia Hidrográfica do rio piancó	12
Figura 2.3 – mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Piancó	14
Figura 3.1 – Áreas de influência dos postos pluviométricos da bacia do rio Piancó	31
Figura 4.1 – Estrutura do modelo MODHAC	46
Figura 4.2 – Hidrograma de calibração (1965 a 1968) do MODHAC	48
Figura 4.3 – Hidrograma de validação (1970 a 1973) do MODHAC	48
Figura 5.1 – Vista do açude Coremas (Estevam Marinho)/Mãe D'água	64
Figura 5.2 – Esquema gráfico dos perímetros irrigados	88
Figura 5.3 – Saída da hidrelétrica para regularização de vazão do rio Piancó	93
Figura 5.4 – Regularização do rio Piancó	93
Figura 5.5 – Vista superior da hidrelétrica de Coremas	94
Figura 5.6 – Vista frontal da hidrelétrica Coremas	94
Figura 6.1 – Representação dos máximos e mínimos de uma função	103
Figura 6.2 – Exemplos de funções	105
Figura 7.1 – Esquema dos reservatórios no 1º caso	118
Figura 7.2 – Esquema dos reservatórios no 2º caso	118
Figura 7.3 – Esquema dos reservatórios no 3º caso	119
Figura 7.4 – Esquema dos reservatórios no 4º caso	119
Figura 7.5 – Esquema dos reservatórios no 5º caso	119
Figura 7.6 – Fluxograma do modelo	127

## Capítulo I

### Introdução

---

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1 - Introdução**

Com o desenvolvimento das civilizações a ocupação das bacias hidrográficas foi realizada com pouco planejamento e sem a menor preocupação com o meio ambiente, objetivando apenas o mínimo custo de investimento e o máximo benefício de seus usuários. Com o crescimento populacional e desenvolvimento econômico das sociedades a água sofreu alterações qualitativa e quantitativa, devido tanto a interferências do homem, como também a alterações impostas pela própria natureza ao longo das modificações que a mesma passa devido ao ciclo hidrológico.

A evolução da sociedade diversificou a finalidade do uso da água, aumentaram-se o número tanto dos objetivos, quais sejam, econômicos, sociais e ambientais, como dos usos, tais como: irrigação, geração de energia, abastecimento, piscicultura, recreação, regularização de vazão e diluição de esgotos. Este caráter de múltiplo uso da água tornou-a um recurso valioso como insumo econômico que, quando escasso, pode gerar inúmeros conflitos entre os vários usuários (Oliveira, 1998).

A diversificação do uso da água e o conseqüente aumento da demanda da mesma, fez surgir o problema de demandas conflitantes. Em regiões onde há uma concentração de indústrias, ocorre a degradação das águas prejudicando, desta forma, o abastecimento para cidades a jusante das indústrias e gerando conflitos de uso da água. De acordo com Lanna (1997) estes conflitos de uso podem ser classificados em:

*Conflitos de destinação de uso:* Este conflito ocorre quando a água é utilizada para atender a outro tipo de uso que não seja os estabelecidos em projeto;

*Conflitos de disponibilidade qualitativa:* Ocorre quando há a deteriorização da água devido ao lançamento de poluentes tornando a água inadequada para o consumo;

*Conflitos de disponibilidade quantitativa:* Ocorre devido ao uso intensivo da água ocasionando, em alguns casos, o esgotamento dos recursos hídricos.

A região semi-árida do Nordeste do Brasil apresenta características climáticas bem definidas tais como: chuvas bastantes irregulares a nível espaço-temporal, altas taxas de evaporação e baixos índices pluviométricos em relação ao resto do país. Tais características hidroclimáticas aliadas aos aspectos econômicos da região, os quais são predominantemente agrícolas, torna a água um elemento de importância crucial para o desenvolvimento sócio-econômico da área.

A prática mais utilizada na região para atenuar os problemas com relação a escassez hídrica é a construção de açudes. Entretanto, verifica-se que esta prática, apesar de amenizar, não soluciona o problema da falta de água no Nordeste, sem contar que novas obras exigem grandes investimentos, altos custos com desapropriações e relocação da população local. Além disso, algumas bacias hidrográficas já estão no seu limite de açudagem, com regiões a jusante sofrendo o efeito das interferências à montante devido à acumulação de água nos açudes à montante. Nestas circunstâncias o Planejamento dos Recursos Hídricos ganha dimensão fundamental pois, através dele, se estabelece as diretrizes a serem seguidas para proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação dos Recursos Hídricos. O planejamento dos recursos hídricos busca a eficiência econômica e a flexibilidade operacional, de forma a adequar e conciliar as disponibilidades às demandas tendo por objetivo a obtenção dos máximos benefícios econômicos e sociais. Dentro desse contexto, os estudos de operação de reservatórios vêm ganhando expansão crescente com a evolução das técnicas de Análise de Sistemas de Recursos Hídricos, cuja pesquisa se desenvolve com o progresso tecnológico na área da computação.

A análise de sistemas de recursos hídricos não restringe-se só a aspectos hidráulicos e hidrólogos mas aborda o problema através do envolvimento de profissionais de diversas áreas do conhecimento. Fasso (1983), apud. Ribeiro (1990), afirma que um sistema é formado por um conjunto de elementos ligados e que possui uma estrutura orientada para alcançar um objetivo comum. Lotti e Pando (1975), apud. Ribeiro (1990), definem um sistema como um complexo finito de elementos que interagem entre si.

O avanço das técnicas de engenharia em função do aumento das demandas por água, a atenção crescente aos problemas do meio ambiente e a modernização das leis e instituições que governam nossa sociedade são algumas das razões para o desenvolvimento acentuado do gerenciamento dos recursos hídricos nas últimas décadas (Rossi, 1989). Gerenciar um sistema de recursos hídricos tem como finalidade encontrar a solução dos problemas complexos de engenharia de recursos hídricos utilizando-se técnicas computacionais agregadas à

modelagem matemática. Estes problemas são decorrentes tanto do uso intensivo destes recursos como dos conflitos entre os diversos usos devendo-se considerar, de uma forma integrada e harmoniosa, o desenvolvimento econômico e social, a preservação ambiental e as características inerentes à água nas diversas formas que ela ocorre na natureza.

No processo de modelagem matemática visa-se a descrição da forma como os elementos do sistema interagem entre si. Durante o processo de representação dos sistemas de recursos hídricos, pode-se dar enfoque com dois propósitos: um através da simulação do comportamento da realidade que eles representam e outro pela otimização dos processos decisórios que atuam nesta realidade.

Hall e Dracup (1979) e Loucks et al. (1981) definem simulação como um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em uma seqüência lógica que descreve o funcionamento do sistema no espaço e no tempo. Assim, a simulação procura representar um sistema em seus aspectos importantes.

Segundo Lanna (1997) quando, na análise do sistema, existe o interesse em otimizar o processo decisório de acordo com uma valoração estabelecida pela função objetivo, devem ser aplicadas técnicas de otimização.

A otimização pode ser feita através de várias alternativas, dentre elas podemos citar:

- A otimização por enumeração a qual utiliza um modelo de simulação para enumerar as alternativas decisórias, de modo a ser possível a identificação do ótimo;
- A programação Dinâmica que é um procedimento de otimização aplicado a problemas com decisões seqüenciais que tenham a característica de obedecer ao chamado Princípio de Otimalidade;
- E os métodos de otimização, os quais exigem que a dinâmica do sistema tenha características bem específicas. Os métodos mais usuais são a Programação Linear e a Programação Não Linear.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos para simular sistemas de reservatórios. Ribeiro (1990) utiliza o HEC – 3 (Hydrologic Engineering Center) para determinar as liberações mensais que devem ser feitas para que as demandas para abastecimento e irrigação sejam atendidas; Oliveira (1998) propôs um modelo de simulação para operação de reservatórios atendendo à abastecimento, irrigação, piscicultura, regularização de vazão e geração de energia elétrica; Mass (1962) apud. Oliveira (1998), aplicou técnicas de simulação para melhorar o aproveitamento econômico em bacias hidrográficas; Silva e Hernandez (1979)

apud. Braga et al. (1998) sugeriram um modelo de simulação específico associando uma rotina de previsão de vazões afluentes, para um sistema de reservatórios com finalidades de regularização e controle de cheias. A maior parte dos trabalhos encontrados na revisão de literatura utilizam a Programação Linear (Revelle et al. (1969); Revelle e Kirby (1970); Herman (1970)) ou a Programação Dinâmica (Little (1955); Young (1967); Araújo e Terry (1974)) todos citados por Braga et al. (1998).

A programação linear é a técnica mais conhecida e usada na solução de problemas de otimização (Barbosa, 1997). Emprega-se a programação linear quando deseja-se selecionar uma particular combinação de atividades que competem por recursos escassos, os quais são necessários para a execução daquelas atividades. É designada como linear por estabelecer relações lineares entre as variáveis, traduzidas pelas equações que descrevem o problema.

A programação não linear é um método de otimização empregado quando o problema é expresso mediante funções e/ou restrições não lineares (Mateus e Luna, 1986).

## 1.2 – Objetivos

O sistema de recursos hídricos estudado é constituído por dois reservatórios interligados, o Coremas e o Mãe D'água, que juntos constituem o terceiro maior reservatório do Nordeste e o primeiro do estado da Paraíba. Este destaca-se por uma característica peculiar, são dois reservatórios, Coremas com capacidade volumétrica de 720 milhões de m<sup>3</sup> e o Mãe D'água com uma capacidade 648 milhões de m<sup>3</sup>, interligados, formando um só reservatório a partir da cota 230 m. A escolha deste reservatório para estudo ocorreu devido a inúmeros fatores, tais como uma excelente qualidade da água, grande volume de água, sub-aproveitamento do manancial, os benefícios sócio-econômicos a nível local e regional, oriundos de futuros projetos de irrigação, em implantação e, por fim, a complexidade da descrição do sistema devido as inúmeras variáveis que o descrevem. Tendo-se em vista o porte deste reservatório e a importância do mesmo para a região do vale do Piancó, o presente trabalho propõe a otimização do uso da água do Coremas/Mãe D'água para múltiplos fins, quais sejam: irrigação, abastecimento humano, geração de energia, piscicultura e regularização de vazão.

### **1.2.1 – Objetivos Gerais**

Este trabalho tem como objetivos gerais:

- Fornecer uma alocação ótima da água do reservatório Coremas/Mãe D'água para múltiplos usos, quais sejam: abastecimento, irrigação, geração de energia, piscicultura e regularização de vazão.
- Fornecer estimativas otimizadas dos benefícios sócio-econômicos advindos da utilização da água para irrigação e piscicultura;
- Garantir a sustentabilidade hídrica do sistema;

### **1.2.2 – Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Verificar a alocação de áreas, receita líquida mão de obra com o uso de diferentes funções objetivo e demais parâmetros hidráulicos para os grupos de culturas (frutas e culturas variadas);
- Verificar qual é a seleção de grupo de culturas que apresenta uma maior receita líquida para uma função objetivo que maximiza a receita líquida;
- Verificar como o sistema se comporta, em termos de operação ótima quando se usa uma função objetivo que prioriza os benefícios sociais tais como a maximização da mão de obra.
- Estudar o comportamento do sistema em termos de apropriações hídricas para a agricultura irrigada, nos diferentes cenários.
- Verificar a influência no desempenho do sistema, para os diversos cenários, quando o mesmo é submetido a variações nos volumes iniciais de operação dos reservatórios.

A técnica analítica adotada neste trabalho, para o modelo de otimização é a programação não-linear em virtude do problema ser eminentemente não linear assim como a não linearidade observada nos modelos matemáticos que representam os processos físicos

envolvidos e por tratar-se de um procedimento amplamente empregado para a solução de problemas referentes à otimização do uso de insumos em setores produtivos, neste caso, os Recursos Hídricos.

Para obtenção dos resultados, o modelo é executado no MATLAB (Matrix Laboratory) que é um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. Trata-se de um sistema iterativo no qual o dado elementar é uma matriz que não requer dimensionamento, possibilitando a resolução de problemas numéricos em um período de tempo menor do que eles levariam para serem escritos em uma linguagem computacional.

Observou-se que os resultados otimizados, para uma função objetivo que maximiza a receita líquida, apresentaram uma maior receita líquida para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I, frutas (banana, mamão, melancia, melão, graviola, uva, coco e manga), já o cenário agrícola composto por culturas do segundo grupo (feijão, milho, algodão, arroz, batata inglesa, cebola e tomate) gerou um maior requerimento de mão de obra. Verificamos, também, que a maior receita gerada para a piscicultura ocorre quando se usa um cenário agrícola com culturas do grupo II, no cenário configurado para um ano chuvoso e o reservatório com 80% da capacidade máxima. O abastecimento foi garantido para todos os municípios da bacia do Piancó. A geração de energia sempre foi máxima, dado o requerimento de regularização do rio Piancó.

### **1.3 – Organização do Trabalho**

O estudo desenvolvido apresenta-se em dez capítulos:

No Capítulo I, Introdução, apresenta-se uma caracterização do problema estudado;

No Capítulo II, Descrição da Região em Estudo, tem-se a apresentação da região estudada, características físicas, climáticas e hidrológicas;

O Capítulo III, Pluviometria, consiste no tratamento dos dados pluviométricos;

O Capítulo IV, Fluviometria, apresenta o tratamento aplicado aos dados de fluviometria;

No Capítulo V, O Sistema Coremas/Mãe D'água, mostra dados do sistema estudado, tais como: dados técnicos, qualidade da água, as demandas para irrigação, abastecimento humano, geração de energia, canal da reversão e piscicultura;

No Capítulo VI, Programação Não Linear, temos a descrição do método utilizado para a otimização do uso da água do sistema;

No Capítulo VII, Modelo de Otimização do Sistema, apresenta-se uma caracterização do modelo utilizado para otimizar o sistema;

O Capítulo VIII, Descrição dos Cenários, temos uma descrição dos cenários utilizados para analisar o comportamento do sistema;

O Capítulo IX, Análise dos Resultados, apresenta-se uma análise dos resultados obtidos através das otimizações desenvolvidas durante o trabalho;

No Capítulo X, Conclusões e Recomendações, temos as impressões finais do estudo e sugestões para pesquisas posteriores.

## Capítulo II

### Descrição da Região em Estudo

---

## **DESCRIÇÃO DA REGIÃO**

### **2.1 – Introdução**

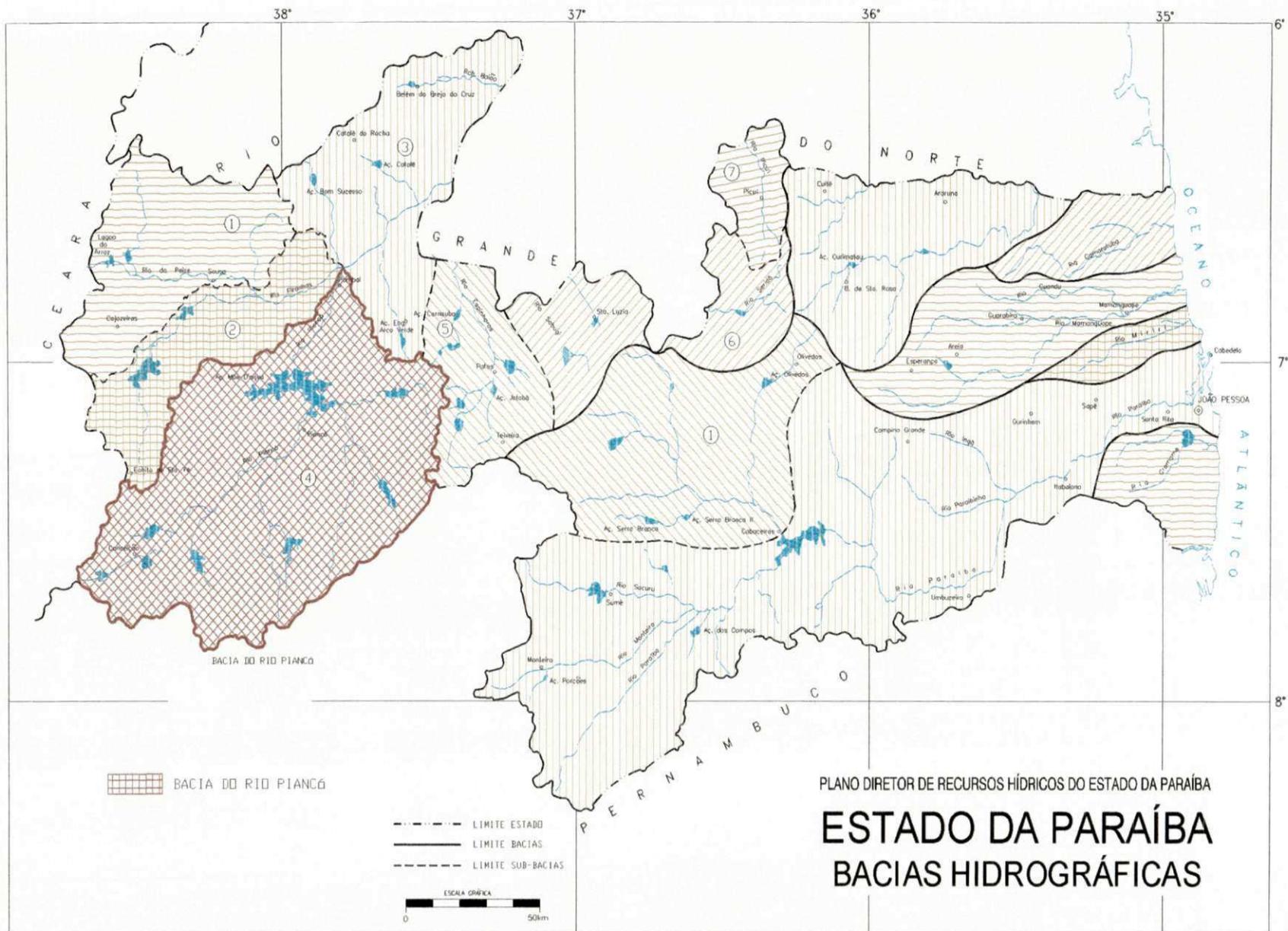
A bacia do rio Piancó é uma das seis sub-bacias do sistema Piranhas/Açu, o qual é uma bacia Federal e está localizada parte no Estado da Paraíba e parte no Estado do Rio Grande do Norte. O sistema hídrico adotado para este estudo constitui-se dos reservatórios Coremas e Mãe D'água, que localizam-se na citada bacia do rio Piancó. A seguir apresentaremos algumas características desta bacia.

### **2.2 – Aspectos Fisiográficos**

#### **2.2.1 – Características da Bacia**

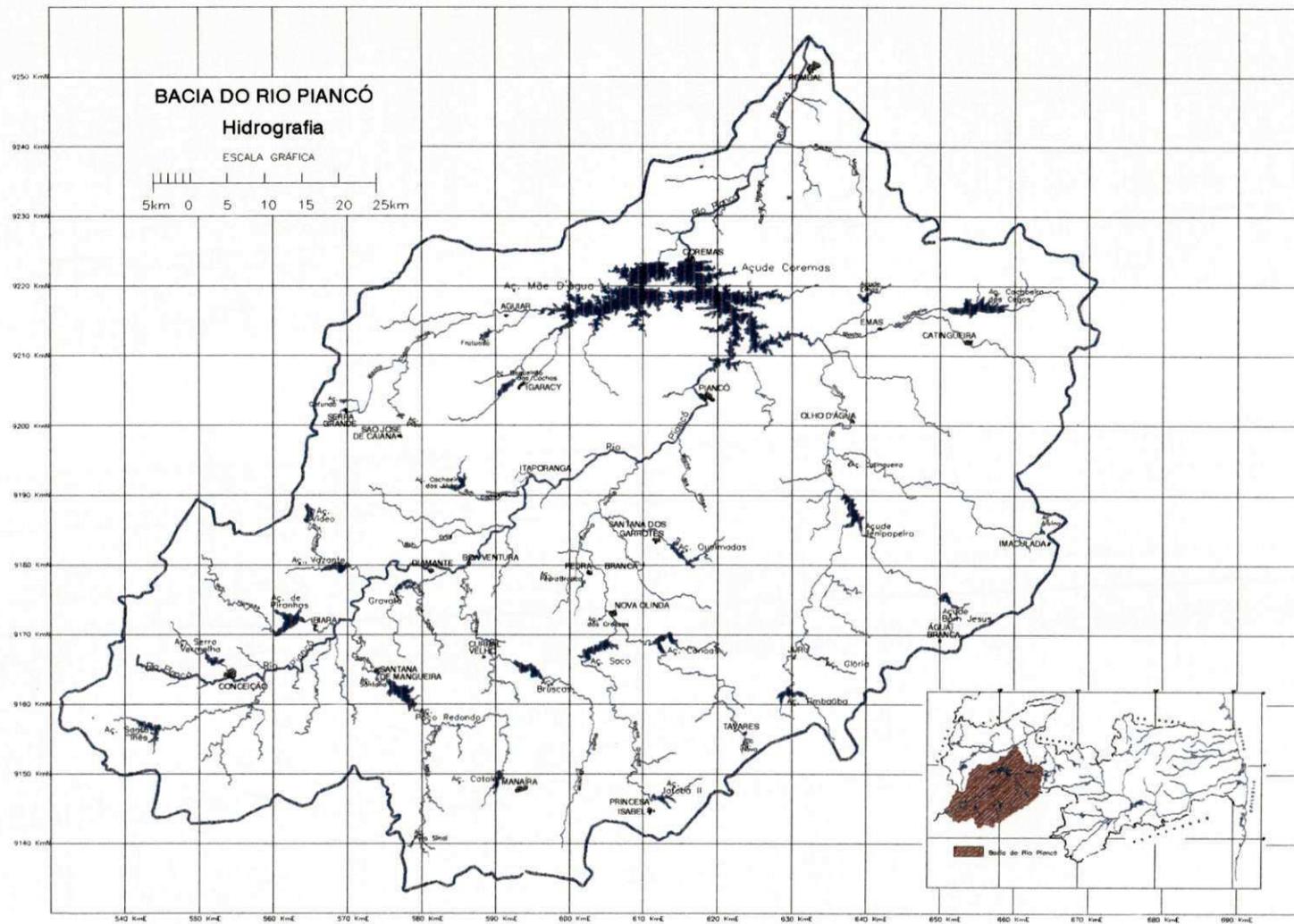
A bacia do Rio Piancó corresponde a uma das seis sub-bacias do sistema Piranhas também denominado Piranhas - Açu. Situa-se no extremo sudoeste do Estado da Paraíba, ou seja, próximo às fronteiras do Ceará ao Oeste, de Pernambuco ao Sul, do Alto e Médio Piranhas ao Norte e com a bacia do Rio Espinharas a Leste (Figura 2.1). Localiza-se entre as latitudes 6° 43' 51'' e 7° 58' 15'' Sul e entre as longitudes 37° 27' 41'' e 38° 42' 49'' Oeste no Sertão Paraibano.

A área da bacia hidrográfica rio Piancó (Figura 2.2), delimitada a partir das cartas digitalizadas da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE em escala 1:100.000, é de 9.228 km<sup>2</sup>. O seu perímetro, comprimento da linha do divisor de águas que a delimita, medido na mesma base cartográfica, é de 540 km.



Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Figura 2.1 – Localização da Bacia do Piancó no Estado da Paraíba.



Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Figura 2.2 – Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

### 2.2.2- Solos

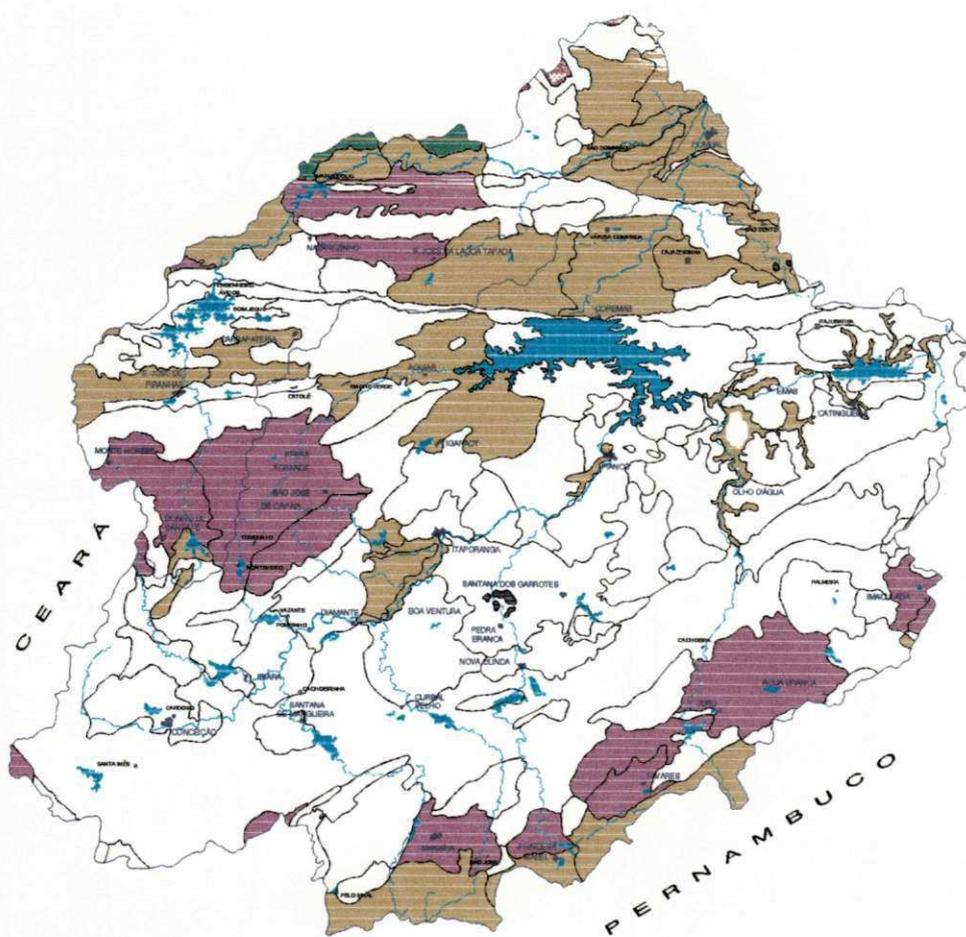
De acordo com o Diagnóstico do Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Piancó/Piranhas (1996) –PDRH em relação a avaliação e distribuição dos solos da bacia hidrográfica do Piancó, com base em diversos estudos existentes, observam-se nove classes de solos (Figura 2.3), citadas de acordo com a ordem de abrangência:

- Litossolo Eutrófico: os solos que compreendem esta classe, são normalmente rasos, textura arenosa e/ou média, com pedregosidade e rochosidade, ocorrendo em relevo plano à montanhoso. Devido as fortes limitações, estes solos não se prestam para exploração agrícola, mas são indicados para a preservação da flora e fauna. Ocupando respectivamente 493.085ha das terras da bacia do Rio Piancó, equivalente a 68,85%.
- Bruno Não Cálcico: são solos relativamente rasos, de elevada fertilidade, argila de atividade alta<sup>1</sup>, textura argilosa, susceptíveis a erosão, apresentando ou não pedregosidade, são explorados com pecuária extensiva e cultura de subsistência, inserem-se no relevo suave ondulado, abrange 91.531 ha dos solos da bacia do Piancó, correspondente a 9,95%.
- Podzólico Vermelho Amarelo: estes solos são de fertilidade alta, moderadamente desenvolvidos, susceptíveis a erosão, ocorrendo em relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado, utilizados na pecuária extensiva e em culturas de subsistência, ocupa 10,58% equivalente a 104.093ha da área da bacia do Piancó.
- Cambissolo Eutrófico: são solos que apresentam saturação de bases alta<sup>2</sup>, profundos, acentuadamente a fortemente drenados, moderadamente ácidos, susceptíveis a erosão, relevo forte ondulado a montanhoso, por vezes ocorrendo nos topos de relevo menos acidentado, normalmente explorados com culturas de subsistência, ocupam 31.033 ha, equivalente a 3,37 % da área da bacia do Piancó.

---

<sup>1</sup> Refere-se à capacidade de permuta de cátions no solo.

<sup>2</sup> Refere-se à solos eutróficos quando a saturação de base é alta



Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Figura 2.3 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Piancó.

- Regossolo Eutrófico: os solos desta classe são muito porosos, profundos, com saturação de bases superior a 50%, capacidade de troca de cátions média, bem drenados, relevo suave ondulado, susceptíveis à erosão. Potencialmente são solos usados com culturas de agave, milho, feijão, mandioca, palma forrageira, pastagens e frutíferas, abrangendo uma área de 897.43 ha, correspondendo a 2,42% das terras da bacia do Rio Piancó.
- Aluvissole Eutrófico: são solos minerais, provenientes de deposições fluviais e colúviais recentes e sub-recentes, sem relação genética entre as camadas, permeabilidade variável, boa fertilidade, profundos, textura média e argilosa, de caráter vértico<sup>3</sup> e solódico<sup>4</sup>, com drenagem variando de bem à imperfeitamente drenado. A sodicidade imprime ligeira limitação, bem como a drenagem, porém são solos de maior exploração agrícola. Estes ocorrem exclusivamente em relevo plano, abrangendo uma área de 15.025 ha, equivalente a 1,63% dos solos da bacia do rio Piancó.
- O Latossolo Vermelho Amarelo: que compreende solos com horizonte B<sup>5</sup> latossólico, baixa saturação de bases<sup>6</sup>, capacidade de troca de cátions<sup>7</sup> média, fortemente ácidos, baixa fertilidade natural, profundos, bem drenados, relevo plano, utilizados na exploração de mandioca, milho e feijão, abrangendo uma área de 175 ha, correspondente a 0,02% da área da bacia do Piancó,

A capacidade de uso do solo classifica-se em classes as quais estão divididas em três grupos, que são:

Grupo A - Terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, comportando as classes II, III e IV.

Grupo B - Terras impróprias para cultivos intensivos mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, porém cultiváveis em casos de

<sup>3</sup> Está relacionada ao conceito de atividades das argilas, referindo-se a capacidade de troca de cátions na fração mineral deduzida a contribuição da fração mineral;

<sup>4</sup> Refere-se à saturação com sódio (Na) sendo considerado solódico quando a saturação encontra-se entre 8 a 20% e de caráter sódico quando este valor é superior a 20%;

<sup>5</sup> Refere-se a faixa de solo, profundidade, da qual a amostra para a análise foi retirada;

<sup>6</sup> Refere-se a umidade do solo;

<sup>7</sup> Para um tipo de formação, com degradação, ocorre um despreendimento de cátions (ou ânions), o qual dependendo do tipo de solo pode haver uma maior ou menor propagação de cátions (ou ânions) para o solo.

algumas culturas especiais protetoras do solo, compreendendo as classes V, VI e VII.

Grupo C - Terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamentos, porém apropriados para proteção da flora e fauna, recreação ou armazenamento de água, compreendendo a classe VIII.

De acordo com o Diagnóstico do PDRH Piancó/Piranhas a bacia do Piancó enquadra-se nas classes III, IV, VI, VII e VIII

De acordo com levantamentos realizados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, no ano de 1969 na área em volta do reservatório Coremas/Mãe D'água e pela Empresa Agrossolos Engenharia Ltda no ano de 1993 na área das várzeas do município de Sousa, os solos são classificados nas classes II, III, IV, V, baseados nas características de solo, topografia e drenagem.

As principais características destas classes são:

Classe II: algumas limitações ao desenvolvimento de agricultura irrigada e inadequabilidade para algumas culturas;

Classe III: Restrita adequabilidade para a agricultura irrigada, devido principalmente a deficiência de solos, a topografia é menos suave do que a classe II;

Classe IV: terras de uso especial, apresentam sérias limitações de solo, topografia e/ou drenagem. O desenvolvimento dessas terras requer estudos especiais de engenharia de irrigação e economia para se decidir pela irrigação;

Classe V: terras não aráveis nas condições naturais, requerem estudos especiais de agronomia, economia e engenharia. Podem ter deficiências específicas como salinidade excessiva, topografia irregular ou drenagem inadequada.

A litologia é um dos fatores que condicionam a evolução dos solos na Bacia do Piancó. Nesta bacia são observadas rochas sedimentares (período Quaternário), referidas aos sedimentos transportados, não consolidados, de caráter deposicional, estratificados por colúviação (solos das encostas dos morros formados por detritos provindos dos altos, devido a enxurradas, inundações, etc.) e/ou alúviação (deposição de material sedimentar no leito do rio, devido ao transporte através da água), relacionando-se aos Aluvissolos.

### 2.2.3 - Vegetação

Na bacia do Piancó a vegetação natural ou nativa é do tipo xerófita, pertencente ao bioma caatinga. Na Paraíba o caráter xerófilo (plantas que vivem em lugares secos como a caatinga e o deserto) caracteriza a vegetação nativa, onde recebe a denominação de caatinga hiperxerófila (seco em excesso), quando o índice de xerofitismo é elevado, sendo este índice baixo, denomina-se de hipoxerófila (pouco seco), o qual é caracterizada pelo aspecto arbustivo arbórea, podendo ser de caráter perenifólia, incluso as matas ciliares.

A caatinga tem como característica a predominância de plantas xerófilas, que hibernam na estação seca e renascem no período chuvoso. É uma vegetação de aspecto homogêneo, variando em espécies, geralmente de porte arbóreo e arbustivo, fechadas ou abertas. Compreende formações lenhosas, geralmente com espinhos, associadas de plantas suculentas, com estratos herbáceo normalmente no período de inverno.

A vegetação da caatinga é por demais vulnerável quando não explorada racionalmente, aspecto esse predominante na maioria das regiões da Paraíba. A utilização da vegetação de forma desordenada e predatória tem como consequência, o assoreamento dos rios e reservatórios.

## 2.3 – Climatologia

O clima da bacia hidrográfica do rio Piancó está classificado, de acordo com a classificação de Koppen, em quente e úmido, ocorrendo chuvas no outono e verão.

### 2.3.1- Temperatura

As médias mensais de temperatura variam pouco de ano a ano. Elas são apresentadas na Tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1 – Temperatura média mensal (°C)

Posto	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média Anual
Coremas	28.6	27.0	27.2	26.8	26.6	25.4	25.5	26.3	27.6	28.3	28.8	28.7	27.6
S. Gonçalo	27.3	26.5	26.1	25.9	23.4	25.1	26.2	26.3	25.6	28.8	27.8	27.9	26.4

Fonte: Oliveira, 1998.

Nota-se que a temperatura média anual fica em torno dos 27°C e a amplitude térmica é da ordem de 5°C.

### 2.3.2 – Umidade Relativa do Ar

Os dados de umidade relativa do ar são oriundos dos dados dos psicrômetros de bulbo úmido e bulbo seco instalados na estação climática do posto de São Gonçalo.

Tabela 2.2- Médias mensais da umidade relativa do ar (%)

Posto	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média Anual
S. Gonçalo	62	69	74	74	72	68	62	59	57	56	57	58	64

Fonte: Oliveira, 1998

A influência das brisas que sopram do Oceano Atlântico para o continente, criam uma umidade relativa média mensal, de acordo com a tabela acima, que varia de 72% a 74% no trimestre mais úmido e entre 56% e 57% no trimestre mais seco.

### 2.3.3 – Velocidade do Vento

Na tabela a seguir temos os dados de velocidade do vento medida na estação climática de São Gonçalo, o único posto representativo e disponível na bacia em estudo. Quanto a direção predominante dos ventos, de acordo com o Atlas Climatológico do Estado da Paraíba (1984) esta varia entre SE e NE.

Tabela 2.3 – Velocidade média mensal do vento (m/s).

Posto	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média Anual
S. Gonçalo	2,6	2,3	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	2,8	3,3	3,3	3,2	3,3	2,7

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

De acordo com a Tabela 2.3 verificamos que os meses de março e abril apresentam velocidades do vento mais baixas, em torno de 2,0 m/s enquanto que os meses de setembro e outubro a velocidade média do vento fica em torno de 3,3 m/s.

### 2.3.4 - Insolação

A tabela a seguir apresenta os valores médios mensais de horas diárias de insolação, o qual é comparado com o valor teórico que corresponde ao número máximo diário possível de horas de insolação que depende da latitude e da posição relativa do Sol e da Terra.

Tabela 2.4 – Número mensal médio de horas diárias de insolação

Posto	Jan.	Fev.	Marc.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média Anual
S. Gonçalo	8,7	8,1	7,6	7,9	8,4	8,4	8,8	9,5	9,4	9,7	9,0	9,1	8,7
Teórico	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,8	12,0	12,2	12,5	12,5	12,0

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

Como podemos verificar na Tabela acima os meses de agosto, setembro e outubro apresentam um maior número de horas diárias de insolação cerca de 80% do valor teórico.

### 2.3.5 - Evaporação

A área da bacia hidrográfica do rio Piancó localiza-se em uma região semi-árida caracterizada por uma distribuição anual da precipitação bastante irregular e evaporação bem elevada, chegando a superar os 2.900 mm por ano. A Tabela 2.5 apresenta os valores médios de evaporação com base no tanque classe A, instalado em Coremas.

Tabela 2.5 – Evaporação média mensal do tanque classe A (mm).

Posto	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Coremas	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6	2993,4

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

Como podemos verificar as maiores taxas de evaporação ocorrem nos meses de setembro a dezembro possuindo, estes meses, uma média em torno de 315,52 mm, representado 10,5% da evaporação total anual que é de 2993,4 mm.

### 2.3.6 - Precipitação

A precipitação na região da bacia hidrográfica do Piancó possui uma distribuição bastante irregular, as chuvas ocorrem de janeiro a maio, com trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril.

Tabela 2.6 – Precipitação média mensal obtida através do método de Thiessen para a bacia do rio Piancó (mm).

Média	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Mensal	83,07	134,34	219,72	175,62	67,55	31,10	17,58	5,78	5,28	9,12	21,38	39,43

Os dados pluviométricos serão analisados em maiores detalhes no capítulo 3.

## 2.4 – Hidrologia Superficial

### 2.4.1 – O Rio Piancó

O Rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês recebendo significativas contribuições de seis cursos d'água na sua margem esquerda. São eles: Riacho Humaitá, Riacho Coelho, Riacho Ortis, Riacho da Cachoeira, Riacho Capim Verde (Aguiar), Riacho do Meio. Na sua margem direita: Riacho do Açude Serra Vermelha, Riacho das Canas, Riacho da Fartura, Riacho Santana, Riacho Saco, Riacho Bruscas, Riacho da Cachoeira Grande, Riacho da Vaca Morta, Riacho dos Pilões, Riacho Passagem de Pedra, Riacho do Catolé, Riacho da Goiabeira, Riacho Madruga, Riacho Miguel e Riacho Várzea de Boi, desaguando finalmente no Rio Piranhas no município de Pombal.

A bacia do Piancó possui como principal canal de drenagem o rio Piancó, o qual nasce no sudoeste do estado da Paraíba na região do município de Santa Inês. Da sua nascente o rio Piancó percorre 208 Km passando pelos municípios de Diamante, Boaventura, Itaporanga e Piancó, até chegar ao reservatório Coremas / Mãe D'água na cidade de Coremas de onde continua seu percurso até desaguar no rio Piranhas. O rio Piancó apresenta afluentes intermitentes tais como o rio Gravataí e os riachos Pilões e Jenipapo todos na margem direita.

### 2.4.2 – Açudes a montante

Um dos fatores que influenciam nos afluxos a um reservatório é a construção de açudes a montante do mesmo. No caso da bacia hidrográfica do rio Piancó existem 14 reservatórios de maior porte, o que totaliza uma capacidade volumétrica de armazenamento de 94,2 milhões de m<sup>3</sup>, correspondendo a 7% do volume máximo do sistema Coremas/ Mãe D'água como mostra a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Açudes de maior porte existentes a montante do reservatório Coremas/Mãe

D'água

Açudes Nome	Área da Bacia Hidrográfica de Contribuição (Km <sup>2</sup> )	Aflúvio Médio (milhões de m <sup>3</sup> /ano)	Volume do açude (milhões de m <sup>3</sup> /ano)	Demanda doméstica (milhões de m <sup>3</sup> /ano)
Boquirão dos Coxos	40	4,48	6,0	0,20
Cachocira dos Alves	97	9,70	5,5	-
Catolé	125	10,80	9,9	0,19
Emas	48	5,38	2,0	0,04
Glória	35	1,65	1,3	0,10
Gravatá	30	3,00	6,8	-
Jatobá	66	4,68	4,4	0,42
Juru	108	5,00	15,4	0,24
Pedra Branca	9	0,42	1,6	0,06
Riacho Verde	28	2,80	1,6	-
Santa Inês	95	8,26	23,6	0,01
Vazantes	60	5,22	9,1	0,02
Veado	25	1,18	1,0	-
Videl	20	1,74	6,0	-
Total	786	64,30	94,20	1,28

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

Ressaltamos que as áreas das bacias hidrográficas de contribuição para os açudes listados na tabela acima são excludentes.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (ATECEL, 1994), propõe a construção de 18 reservatórios totalizando uma capacidade volumétrica de 373,65 milhões de m<sup>3</sup>. A Tabela 2.8 discrimina todos os reservatórios que podem ser construídos segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Tabela 2.8 – Açudes a serem construídos a montante do reservatório Coremas/Mãe D'água.

Nome	Bacia Hidrográfica (Km <sup>2</sup> )	Aflúvio Médio (milhões de m <sup>3</sup> /ano)	Volume do açude (milhões de m <sup>3</sup> /ano)	Demanda Doméstica (milhões de m <sup>3</sup> /ano)
Bom Jesus	116	5,45	11,0	0,18
Brusca	221	22,00	44,0	0,05
Capim Verde	90	10,08	1,5	0,11
Catingueiro	82	9,20	18,4	-
Condado (c/ desvio)	180	15,66	31,0	0,63
Da Garra	63	7,00	14,0	-
Diamante	190	19,00	9,3	0,30
Dos Porcos	70	7,00	14,0	-
Goiabeira	88	9,85	5,6	0,15
Jatobá III	131	7,68	15,7	-
Junco	31	3,10	6,2	0,58
Olho D'água (c/ 2 desvios)	454	29,50	59,0	0,13
Piranhas	200	17,40	34,8	0,19
Queimadas	37	2,20	4,5	0,17
Saco de Nova Olinda (c/ desvio)	330	18,00	36,0	0,13
Saco Grande	78	8,70	17,5	-
Santana da Mangueira	280	24,36	48,7	0,05
Tabuleiro (c/ desvio)	40	4,00	8,0	0,83
Total	2681	220,36	373,65	3,5

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

Com a construção destes reservatórios a bacia hidrográfica do Piancó terá um total de volume armazenado de 467.850.000 m<sup>3</sup>. A construção dos açudes propostos reduziria a área de contribuição para o sistema Coremas/Mãe D'água em 44%, ocorrendo uma redução significativa no volume afluente para o sistema caso não ocorra uma política de liberação de vazões ao longo do ano e as mesmas consigam alcançar o sistema sem perdas significativas.

## 2.5 – Hidrologia Subterrânea

O sistema cristalino revela-se como um aquífero genericamente considerado de fraca potencialidade, constituído por um meio fraturado, descontínuo, heterogêneo, anisotrópico, do tipo livre, de dimensões limitadas às zonas fendilhadas. A recarga do aquífero fraturado

está relacionada diretamente à pluviometria, rede hidrográfica e aluviões. A circulação, entretanto, é praticamente inexistente.

Na bacia do rio Piancó, a província cristalina é predominante. No entanto, em áreas próximas ao exutório da bacia do Piancó, ocorre a existência do sistema multi-aquífero Rio do Peixe, com delimitação ainda incerta, no nível de estudos atual da hidrogeologia daquela região. Compondo finalmente o sistema hidrogeológico, aparece nesta bacia o aquífero aluvial, principalmente, a partir dos médios cursos do rio Piancó e alguns tributários. As Tabelas 2.9 e 2.10 mostram um resumo da capacidade aquífera da bacia do rio Piancó.

Tabela 2.9 - Distribuição das Reservas Renováveis do Cristalino da Bacia do Rio Piancó

Município	Área do Cristalino (km <sup>2</sup> )	Reserva Explorável (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)
Água Branca	443,54	0,64
Aguiar	355,09	0,51
Boa Ventura	75,05	0,11
Catingueira	489,76	0,71
Conceição	900,09	1,30
Coremas	294,52	0,42
Curral Velho	90,65	0,13
Diamante	94,19	0,14
Emas	94,34	0,14
Ibiara	91,85	0,13
Igaracy	183,54	0,26
Imaculada	224,52	0,32
Itaporanga	341,97	0,49
Juru	358,17	0,52
Manaíra	545,47	0,79
Nova Olinda	83,39	0,12
Olho d'água	551,99	0,79
Pedra Branca	169,06	0,24
Piancó	648,07	0,93
Pombal	1178,96	1,70
Princesa Isabel	360,48	0,52
Santana dos Garrotes	198,34	0,29
Santana de Mangueira	248,85	0,36
S. José de Caiana	151,29	0,22
Serra Grande	249,89	0,36
Tavares	254,57	0,37

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

Tabela 2.10 - Potenciais de Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Piancó

Município	Reservas Exploráveis (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)		Potencial Total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)
	Aluviões	Cristalino	
Água Branca	1,00	0,64	1,64
Aguiar	0,69	0,51	1,20
Boa Ventura	0,90	0,11	1,01
Catingueira	1,67	0,71	2,38
Conceição	5,65	1,30	6,94
Coremas	0,69	0,42	1,11
Curral Velho	0,82	0,13	0,95
Diamante	1,09	0,14	1,23
Emas	0,75	0,14	0,89
Ibiara	1,25	0,13	1,39
Igaracy	0,70	0,26	0,96
Imaculada	0,41	0,32	0,73
Itaporanga	2,71	0,49	3,21
Juru	2,78	0,52	3,29
Manaira	4,54	0,79	5,32
Nova Olinda	1,03	0,12	1,15
Olho d'água	3,40	0,79	4,20
Pedra Branca	1,27	0,24	1,52
Piancó	1,02	0,93	1,95
Pombal	10,38	1,70	12,08
Princesa Isabel	1,87	0,52	2,39
Santana dos Garrotes	0,72	0,29	1,01
Santana de Mangueira	2,03	0,36	2,39
S. José de Caiana	0,16	0,22	0,38
Serra Grande	0,29	0,36	0,65
Tavares	1,74	0,37	2,10
<b>TOTAL</b>	<b>49,56</b>	<b>12,51</b>	<b>62,07</b>

Fonte: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas, 1996.

De acordo com a tabela acima podemos verificar que 20% da reserva subterrânea trata-se de água no cristalino enquanto que 79.84% são reservas em aluviões, distribuídos entre os 26 municípios da bacia do Piancó.

## Capítulo III

### Pluviometria

---

## ***PLUVIOMETRIA***

### **3.1 – Introdução**

Uma das finalidades dos estudos hidroclimáticos é obter séries temporais de dados hidrológicos e meteorológicos. Tais dados são de importância fundamental para o projeto de várias obras hidráulicas como, também, para o processo de planejamento do uso dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. O processo de obtenção desses dados requer a instalação, operação e manutenção de estações hidrometeorológicas. A boa confiabilidade das informações está diretamente relacionada com a qualidade das estações, devendo uma boa estação apresentar equipamentos precisos, bem calibrados e boa operação do pessoal técnico. Entretanto, nem sempre todo esse cuidado é possível, podendo ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido à problemas com os aparelhos e/ou com o operador do posto, contribuindo para que os dados apresentem inconsistências e não-homogeneidades.

Costuma-se chamar aos dados de consistentes, quando estes não foram alterados por erros que afetaram sua medição (o não cumprimento do regulamento de medição, quando o mal estado da estação ou uma mudança na estação não foi registrada, quando o mal funcionamento dos aparelhos de medição não foi detectado, quando próximo a estação os bosques ou árvores, desde a fundação da estação, cresceram tanto que formaram barreiras contra a precipitação impedindo uma medida correta, etc.); e de homogêneos quando o regime hidrológico representado pelos dados não é perturbado por influências naturais ou artificiais, tais como, precipitações enormes, inundações, rupturas de barragens, etc.. Na maioria dos casos a inconsistência é verificada pelas entidades que são responsáveis pelas redes pluviométricas ou por aquelas que fornecem os dados, enquanto que a homogeneidade sempre deverá ser verificada pelo hidrólogo através dos vários métodos disponíveis para esta finalidade.

### 3.2 – Postos da Região

Na bacia do Piancó foram pesquisados os dados de 19 postos pluviométricos entretanto, destes, 17 podem ser considerados como excelentes e bons, segundo critérios de uniformidade e amplitude dos dados. Estes postos estão listados a seguir assim como o seu período de observação.

Tabela 3.1 – Postos pluviométricos localizados na bacia do Piancó.

Posto	Latitude	Longitude	Ano Início	Ano Fim	Número de Anos	Anos Sem Falhas
Aguiar	7.080	38.180	1933	1992	59	45
Itaporanga	7.300	38.170	1910	1993	75	44
Bom Jesus	7.350	38.370	1933	1991	58	44
S. Boaventura	7.400	38.220	1962	1993	30	30
Ibiara	7.480	38.420	1962	1993	31	31
Nova Olinda	7.470	38.050	1933	1991	59	43
Coremas	7.000	37.970	1964	1977	14	14
Coremas (AC)	7.020	37.970	1933	1985	51	43
Catingueira	7.130	37.620	1933	1991	59	43
Piancó	7.180	37.950	1910	1977	68	43
Olho D'Água	7.220	37.770	1933	1993	61	40
Garrotes	7.380	38.000	1962	1993	31	31
Imaculada	7.380	37.800	1933	1993	60	39
Conceição	7.550	38.520	1910	1993	83	43
Manaira	7.700	38.170	1933	1993	57	39
Princesa Isabel	7.730	38.020	1911	1991	81	43
Juru	7.530	37.830	1962	1993	31	31
Água Branca	7.520	37.650	1931	1993	62	39
Serra Grande	7.250	38.320	1933	1993	60	45

Fonte: SUDENE, 1998.

Tabela 3.2 – Postos pluviométricos selecionados para o estudo

Posto	Latitude	Longitude	Ano Início	Ano Fim	Número De Anos	Anos Sem Falhas
Aguiar	7.080	38.180	1933	1992	59	45
Itaporanga	7.300	38.170	1910	1993	75	44
Bom Jesus	7.350	38.370	1933	1991	58	44
S. Boaventura	7.400	38.220	1962	1993	30	30
Nova Olinda	7.470	38.050	1933	1991	59	43
Curemas (AC)	7.020	37.970	1933	1985	51	43
Catingueira	7.130	37.620	1933	1991	59	43
Ibiara	7.480	38.420	1962	1993	31	31
Imaculada	7.380	37.800	1933	1993	60	39
Olho D'Água	7.220	37.770	1933	1993	61	40
Conceição	7.550	38.520	1910	1993	83	43
Manaira	7.700	38.170	1933	1993	57	39
Princesa Isabel	7.730	38.020	1911	1991	81	43
Água Branca	7.520	37.650	1931	1993	62	39
Juru	7.530	37.830	1962	1993	31	31
Garrotes	7.380	38.000	1962	1993	31	31
Serra Grande	7.250	38.320	1933	1993	60	45

Fonte: SUDENE, 1998.

Verifica-se, pela Tabela 3.1 que 47% dos postos pluviométricos têm registros de pluviometria a partir de 1933, enquanto que 15,78% começam em 1910, 5,30% em 1911, 5,30% em 1931, 21% dos postos começam em 1962 e 5,3% em 1964. Logo consideramos para este estudo os postos cujas séries começam em 1933, pois os mesmos nos fornecem uma amplitude de dados pluviométricos mais uniforme.

### 3.3 - Análise de Consistência de dados pluviométricos

O primeiro passo para se preparar os dados para o tratamento estatístico consiste na identificação e correção dos erros. Após esta análise, as séries poderão apresentar lacunas que devem ser preenchidas por alguns métodos, tais como o Método da Ponderação Regional, o Método da Regressão Linear, o Método da Ponderação Regional com base na Regressão Linear, etc. Neste estudo, para o preenchimento dos dados aqui utilizados, aplicou-se o Método da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear. Este método parte de uma combinação entre os métodos da ponderação regional e o método de regressão linear. O

mesmo consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos e cada um dos postos vizinhos. De cada uma das regressões lineares efetuadas obtêm-se o coeficiente de correlação, e estabelecem-se fatores de peso, um para cada posto. A soma de todos os fatores de peso deve ser a unidade. O valor que irá preencher a falha do posto desejado será obtido através do somatório da multiplicação da precipitação de cada posto vizinho pelo fator de peso do respectivo posto (Bertoni e Tucci, 1993).

Após o preenchimento da série, faz-se necessário analisar a sua consistência dentro de uma visão regional, isto é, comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em um posto com relação às observações registradas em postos vizinhos. Para realizar este processo podemos utilizar vários métodos dentre eles o Método da Dupla Massa e o Método do Vetor Regional. Para a análise dos dados disponíveis para este estudo utilizamos o programa APLUV, desenvolvido no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal da Paraíba – Campus II. O programa utiliza o método do Vetor Regional desenvolvido por Hiez (1977, 1978), o qual é definido como uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos anuais (ou mensais), oriundos da extração por um método de máxima verossimilhança da informação mais provável contida nos dados de um conjunto de estações de observação agrupadas regionalmente.

A medição da precipitação é essencialmente pontual. Por este motivo, existem situações para as quais os valores médios da precipitação sobre uma determinada área devem ser estimados. É o caso da precipitação média sobre uma bacia hidrográfica. Em nosso estudo a determinação da precipitação média foi elaborada pelo método de Thiessen, pois o mesmo é um método clássico e de boa aceitação, além de ser adequado para regiões que apresentem uma distribuição não uniforme de pluviômetros e pluviógrafos. O método consiste em traçar sobre um mapa, no qual foram localizados todos os postos pluviométricos, polígonos a partir das mediatrizes dos segmentos ligando todos os postos pluviométricos adjacentes. A área de influência (área do polígono dentro da bacia hidrográfica) de cada posto é medida por planimetragem. A precipitação na bacia é, então, calculada pela média ponderada das áreas de influência dos postos pluviométricos. A área de influência dos postos da bacia do rio Piancó estão mostradas na Figura 3.1, assim como os valores da área de cada posto estão na Tabela 3.3 e os valores das precipitações médias mensais estão na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 – Áreas de influência dos postos pluviométricos da bacia do Piancó.

Posto	Área de Influência (Km <sup>2</sup> )
Aguiar	529,160
Itaporanga	390,208
Bom Jesus	224,445
S. Boaventura	392,517
Nova Olinda	436,745
Curemas (AC)	1075,336
Catingueira	872,422
Ibiara	497,942
Imaculada	329,255
Olho D'Água	777,993
Conceição	824,702
Manaira	678,939
Princesa Isabel	355,947
Água Branca	305,494
Juru	615,283
Garrotes	519,820
Serra Grande	361,995

Observa-se pela Tabela 3.3 e Figura 3.1 que a distribuição de aparelhos de medição de precipitação na bacia do Piancó é não uniforme, tendo-se postos como o de Bom Jesus com área de influência de 224,445 Km<sup>2</sup> e o posto de Coremas com área de influência de 1075,336 Km<sup>2</sup>. No entanto, 58,82% dos postos possuem uma área de influência entre o intervalo de 300 a 600 Km<sup>2</sup>, 5,88% abaixo de 300 Km<sup>2</sup>, 17,65% entre 600 e 800 Km<sup>2</sup> e 17,65% acima de 800 Km<sup>2</sup>.

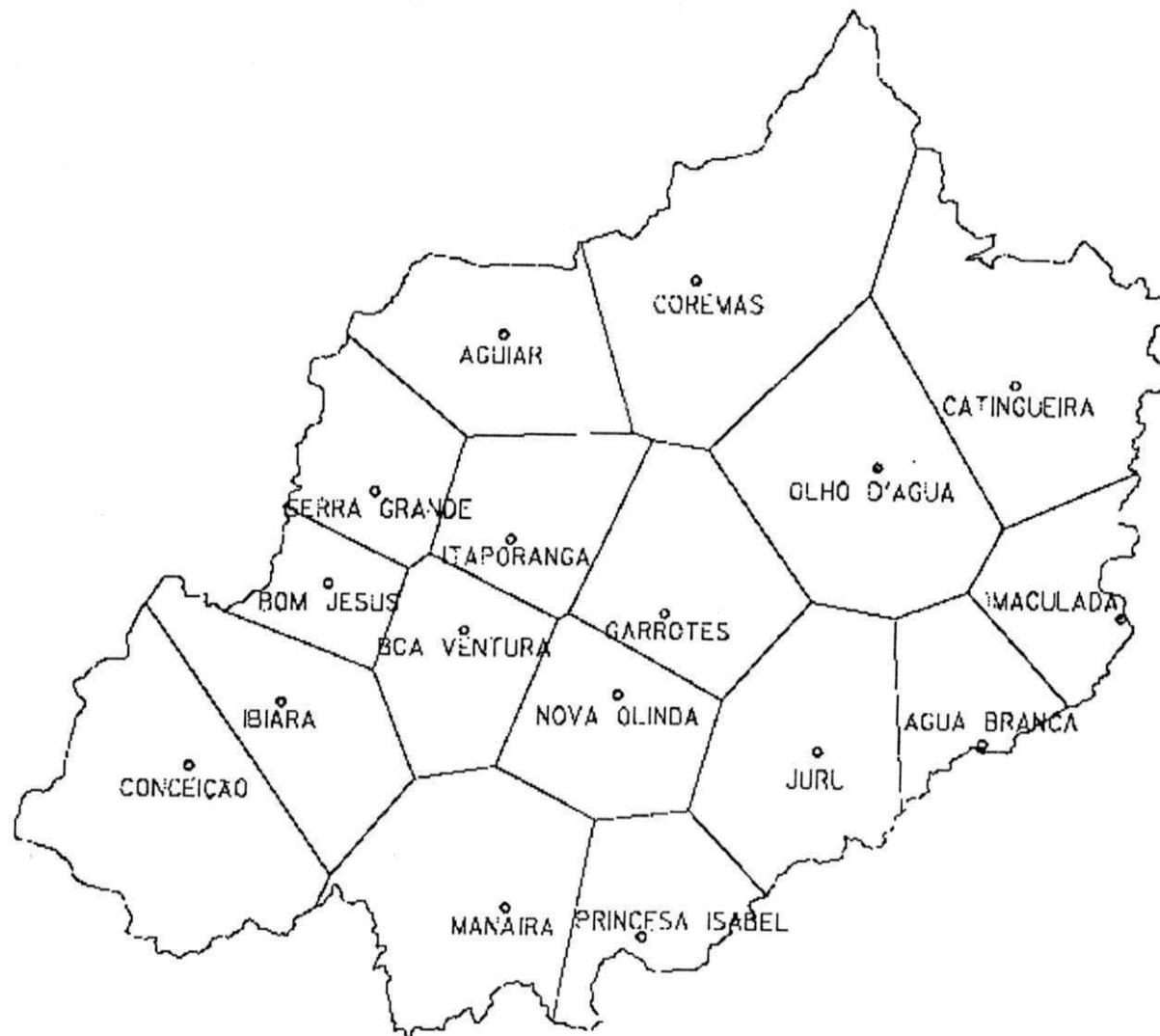


Figura 3.1 – Áreas de Influência dos Postos Pluviométricos da Bacia doPiancó.

Tabela 3.4 - Precipitação média mensal dos postos da bacia do Piancó.

Posto	Precipitação Média Mensal (mm)												Total Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Imaculada	47,30	86,9	145,1	131,5	59,4	29,8	21,4	6,9	3,7	5,5	15,6	19,8	572,9
Água Branca	60,4	107,5	177,0	154,4	81,0	50,1	37,9	10,8	7,9	4,2	14,3	22,5	728,0
Aguiar	91,3	152,8	237,5	195,4	71,4	28,2	17,7	5,6	3,5	9,3	21,3	43,6	877,6
Itaporanga	76,1	135,5	212,2	175,8	62,6	30,6	15,4	4,2	9,3	10,8	19,9	47,0	799,4
Bom Jesus	90,7	134,2	215,6	192,8	73,9	45,3	22,9	6,6	7,0	11,2	27,2	43,7	871,1
Boa Ventura	85,6	138,9	219,0	177,9	62,5	31,0	18,1	6,6	6,2	14,6	23,1	48,7	832,2
Ibiara	92,9	142,2	203,2	156,8	60,6	29,8	16,4	4,4	6,7	10,5	22,5	45,1	791,1
Nova Olinda	89,7	151,7	235,4	172,0	54,9	23,3	15,0	5,6	5,5	10,3	21,1	54,7	839,2
Curemas AC	93,8	148,5	245,9	199,7	81,4	34,3	18,9	10,3	3,7	12,8	22,4	36,7	908,4
Catingueira	71,6	133,8	246,7	228,4	90,5	29,3	19,4	3,6	3,4	7,9	16,9	22,9	874,4
Olho D'água	78,3	113,1	253,3	197,5	86,0	43,0	15,7	4,4	3,0	5,3	19,1	24,0	842,7
Princesa Isabel	79,1	123,4	194,2	157,4	73,8	36,1	24,2	7,6	8,9	9,6	28,8	52,4	795,5
Serra Grande	111,5	184,5	275,3	291,3	41,0	19,9	6,7	2,3	2,6	12,0	19,1	29,8	996,0
Garrotes	76,5	131,9	207,7	168,1	61,2	27,4	15,7	6,1	4,3	9,2	20,1	40,5	768,7
Conceição	90,7	133,1	200,5	144,4	54,4	27,2	12,2	4,2	9,7	8,5	27,8	45,3	758,0
Manáira	84,1	121,4	197,1	129,7	38,8	20,4	11,2	2,2	3,4	5,7	22,6	53,6	690,2
Juru	76,9	132,6	191,0	158,3	67,3	32,3	23,1	8,1	6,1	9,0	20,9	48,2	773,8

Observando-se a Tabela 3.4 verifica-se que, de uma maneira geral, os totais médios anuais dos postos pluviométricos inseridos na bacia do rio Piancó não diferem de forma tão significativa entre si, variando de 700 mm a 900 mm, o que explica a precipitação média na bacia está em torno de 800 mm. Os únicos postos cujos totais se afastam mais desta faixa de variação são: Imaculada (572,9 mm) e Serra Grande (996,0 mm).

Tabela 3.5 -Precipitação média mensal e total anual da série obtida através do Método de Thiessen para a bacia do Piancó (mm).

Ano	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total Anual	Média Mensal
1937	51.26	228.86	151.41	160.97	68.51	28.75	9.29	1.01	5.76	5.69	1.09	21.12	733.71	61.14
1938	65.64	50.40	272.96	206.01	63.68	15.00	1.03	3.58	0.97	8.88	9.80	10.07	708.03	59.00
1939	29.35	161.44	234.24	90.76	30.61	7.33	29.08	7.39	19.15	36.27	25.63	31.38	702.63	58.55
1940	227.58	123.74	413.22	247.48	153.25	33.32	10.42	3.20	9.35	0.77	9.47	17.54	1249.33	104.11
1941	8.26	154.52	256.21	55.73	26.62	9.17	27.46	5.79	2.57	3.54	32.35	16.36	598.60	49.88
1942	11.09	72.19	50.35	89.02	24.58	10.27	3.66	5.66	1.48	54.15	26.30	68.77	417.51	34.79
1943	80.93	43.66	213.22	108.53	12.43	26.01	11.34	4.07	0.22	1.78	49.96	31.65	583.80	48.65
1944	25.51	21.53	218.67	248.93	39.99	21.13	24.88	3.07	2.68	0.41	2.22	113.86	722.88	60.24
1945	101.40	152.04	172.70	156.29	244.38	39.31	7.22	0.00	3.13	26.25	0.88	55.33	958.96	79.91
1946	118.21	73.40	158.38	153.62	39.67	36.86	8.14	0.55	0.82	1.19	39.81	54.90	685.53	57.13
1947	73.80	175.80	461.09	186.94	28.75	7.82	2.07	0.00	0.00	0.32	109.43	42.15	1088.16	90.68
1948	38.57	36.89	301.14	112.16	60.15	47.28	25.72	1.50	2.30	6.03	1.18	64.06	696.98	58.08
1949	7.62	77.51	90.73	196.01	163.79	28.96	5.28	35.64	1.41	0.60	157.35	0.28	765.18	63.76
1950	79.94	40.92	230.35	320.28	15.18	3.40	6.91	1.12	7.73	21.52	0.04	50.20	777.58	64.80
1951	45.93	34.00	99.17	168.14	84.38	52.36	9.65	0.16	0.00	7.56	0.70	11.94	513.99	42.83
1952	41.22	135.02	201.84	168.52	41.80	16.94	0.83	1.14	0.05	10.68	1.60	80.06	699.70	58.31
1953	21.03	91.00	105.99	110.02	16.14	48.28	6.82	1.79	7.44	1.15	70.32	8.90	488.88	40.74
1954	47.27	189.33	203.76	195.72	131.92	36.11	4.75	0.04	0.00	0.45	75.35	8.57	893.26	74.44
1955	134.85	209.02	161.25	128.11	64.17	0.36	3.49	3.30	0.34	10.35	4.48	40.75	760.44	63.37
1956	8.38	276.99	218.01	129.57	40.63	32.19	25.45	15.59	0.00	16.62	35.15	8.62	807.20	67.27
1957	123.70	15.02	381.77	201.90	17.17	13.20	1.24	0.00	0.85	0.00	0.00	21.67	776.52	64.71
1958	13.41	109.04	109.41	23.09	64.74	21.84	30.88	2.20	2.30	0.07	1.00	71.68	449.65	37.47
1959	61.70	201.81	106.94	41.58	13.47	36.42	2.44	9.14	5.36	2.15	20.06	2.99	504.05	42.00
1960	19.53	60.54	527.24	108.58	28.42	23.89	2.70	1.71	2.80	0.56	1.10	7.41	784.47	65.37
1961	159.09	203.44	340.52	62.04	61.46	7.76	30.28	0.60	0.70	4.97	0.00	17.70	858.58	71.55
1962	109.91	94.98	97.80	91.02	57.34	41.64	10.63	3.35	1.26	6.07	30.80	24.96	569.77	47.48
1963	95.04	292.42	280.05	132.48	21.94	27.98	0.41	0.04	0.66	24.06	22.05	159.88	1057.00	88.08
1964	172.55	203.29	259.42	264.19	90.23	52.21	17.56	12.96	31.94	1.70	7.56	23.05	1136.64	94.72
1965	159.77	41.90	228.09	260.04	47.20	109.18	7.86	5.10	2.35	22.63	2.05	23.64	909.81	75.82
1966	55.73	145.52	52.41	90.24	44.69	60.38	28.64	3.83	11.64	2.07	43.85	40.51	579.50	48.29
1967	42.04	236.82	315.02	347.00	163.32	11.18	9.22	5.65	4.45	0.39	4.05	49.49	1188.63	99.05
1968	90.40	68.30	363.33	99.20	147.47	13.23	14.31	1.90	0.10	1.92	11.45	34.27	845.88	70.49
1969	101.71	64.70	182.49	187.11	62.54	37.31	60.29	2.02	1.34	0.70	1.58	27.67	729.47	60.79
1970	163.47	73.69	167.54	102.90	8.86	5.00	11.61	4.19	1.24	16.18	7.81	4.24	566.74	47.23
1971	137.70	200.17	223.64	264.63	104.56	59.68	22.37	0.08	13.97	14.35	5.88	9.36	1056.40	88.03
1972	118.50	114.24	158.10	124.80	54.95	42.97	23.32	44.93	0.92	12.01	0.00	74.22	768.98	64.08
1973	79.65	89.50	126.13	337.41	117.38	66.71	24.61	8.25	15.77	22.30	2.11	39.50	929.32	77.44
1974	196.26	263.84	199.55	307.65	120.94	31.91	19.04	4.16	8.35	9.24	60.77	52.65	1374.38	114.53
1975	88.86	191.90	273.42	212.96	84.72	54.74	73.20	5.21	20.47	3.37	6.65	49.06	1064.57	88.71
1976	35.84	177.05	194.29	100.80	33.90	8.17	4.35	0.37	29.87	40.78	33.93	22.97	682.31	56.86
1977	105.20	170.50	234.67	269.38	136.36	61.80	58.97	3.61	1.18	1.86	3.41	79.50	1126.45	93.87
1978	55.93	153.18	128.37	163.73	96.70	53.60	51.66	11.88	17.58	4.28	12.87	11.71	761.48	63.46
1979	114.36	192.81	216.20	154.82	91.70	16.49	6.46	11.09	12.31	5.12	19.29	7.17	847.82	70.65
1980	96.03	266.76	174.03	26.81	2.45	30.79	11.11	0.00	3.65	12.68	57.80	25.55	707.65	58.97
1981	115.91	67.41	345.13	51.63	1.35	1.19	1.52	0.92	0.02	0.21	26.53	68.93	680.75	56.73
1982	33.59	54.79	96.43	203.84	55.94	10.10	9.84	0.53	4.55	6.25	8.79	19.55	504.20	42.02
1983	56.01	177.74	154.68	96.49	13.12	6.35	8.53	7.34	0.00	0.00	1.01	10.68	531.95	44.33
1984	58.11	41.62	235.06	328.06	115.19	5.81	14.91	12.80	3.67	9.72	14.06	18.01	857.02	71.42
1985	258.99	339.14	287.07	393.49	130.04	113.96	20.15	8.07	5.06	9.22	4.48	144.79	1714.44	142.87
1986	101.08	202.49	302.13	237.55	54.41	28.16	57.15	22.68	2.77	2.02	66.78	11.95	1089.17	90.76
1987	69.39	119.48	270.53	114.56	11.18	42.92	17.41	1.25	0.70	1.06	0.62	0.34	649.44	54.12
1988	70.73	109.67	229.46	332.28	62.45	20.84	15.66	0.08	1.56	1.72	4.07	104.03	952.57	79.38
1989	85.39	56.64	200.82	299.58	160.84	49.97	45.63	12.50	2.29	37.99	6.10	130.69	1088.43	90.70
1990	22.62	105.78	88.62	218.62	50.03	11.29	11.78	9.27	8.16	0.86	12.74	2.67	542.43	45.20
Média Mensal	83.07	134.34	219.72	175.62	67.55	31.10	17.58	5.78	5.28	9.12	21.38	39.43	809.98	67.50

Pela Tabela 3.5 observa-se que tem-se claramente nas regiões alguns poucos anos bem chuvosos como os anos de 1940, 1974 e 1985 intercalados com anos bem secos como é o caso dos anos de 1942, 1951, 1953, 1958, 1982 e 1983. Ao selecionarmos os postos cujas séries começam em 1933 verificamos que houve alguns períodos de falhas, tendo uma maior homogeneidade a partir de 1937.

### 3.4 - Análise Estatística dos dados de Precipitação

A região do semi-árido Nordeste tem um regime pluviométrico que caracteriza-se por uma variabilidade temporal e espacial muito grande, assim como por uma concentração do seu período chuvoso em poucos meses do ano. Na análise estatística ora proposta procura-se caracterizar a variabilidade dos valores interanuais precipitados. Nesta análise consideramos os valores médios anuais precipitados obtidos através do método de Thiessen. Para a análise estatística consideramos quatro conjunto de dados:

- a) Todos os valores anuais consistidos;
- b) Os valores anuais correspondentes aos anos secos;
- c) Os valores anuais correspondentes aos anos de precipitação média;
- d) Os valores anuais correspondentes aos anos chuvosos;

Para esta classificação de dados de precipitação anual em grupos que caracterizassem a precipitação média, em anos secos, normais e chuvosos, utilizamos a média e o desvio padrão da série inteira. Ou seja, consideramos o ano seco quando a sua precipitação  $x$  é menor que a média da amostra  $X$  menos o desvio padrão sobre dois ( $x \leq (X - S/2)$ ). Para anos de precipitação média o valor da variável  $x$  deve encontrar-se entre a média da amostra menos o desvio padrão sobre dois e a média da amostra mais o desvio padrão sobre dois ( $(X - S/2) < x < (X + S/2)$ ). Consideramos anos chuvosos aqueles que possuísem valores superiores a sua média mais o desvio padrão sobre dois ( $x \geq (X + S/2)$ ). Utilizamos a metade do desvio padrão pois se considerarmos todo o desvio padrão o intervalo de anos com precipitação média seria bem maior, incluiria a maioria dos anos neste intervalo.

Vale ressaltar que o critério de escolha para esta classificação é feita, em geral, de maneira subjetiva, variando de autor para autor. Ward et al (1989) utilizaram uma classificação de categorias (muito chuvoso, chuvoso, normal, seco e muito seco) através de percentis equiprováveis, Janowiak et al (1986) utilizaram os dez mais baixos percentis como

sendo de anos muito secos e os dez mais altos percentis como sendo de anos muito chuvosos, os vinte percentis centrais como sendo os anos normais. Brito et al (1991) utilizaram o  $I_{PFM}$  (Índice de desvios padronizados pelo desvio padrão, de anomalia prevista para o período de fevereiro a maio) o qual é função de  $I_{SD}$  que é o índice de desvio padronizados pelo desvio padrão de anomalia observada de setembro a dezembro. O valor do  $I_{PFM}$  encontrado é classificado em uma das cinco categorias de previsão, que são: muito seco, seco, normal, chuvoso, muito chuvoso. Xavier et al (1987) caracterizam os períodos de acordo com os quantis, ou seja, para cada série ( $X_j$ ) os eventos extremamente seco “m. m. seco”, muito seco “m. seco” e “seco” correspondem a valores abaixo dos quantis  $Q_{0,05}$ ,  $Q_{0,15}$  e  $Q_{0,35}$ ; enquanto os valores acima de  $Q_{0,95}$ ,  $Q_{0,85}$  e  $Q_{0,65}$  definem eventos extremamente chuvoso “m. m. chuvoso”, muito chuvoso “m. chuvoso” e “chuvoso”. Alves e Repelli (1992) utilizaram cinco intervalos de percentis de 20% cada um, que definiram as categorias das respectivas estações chuvosas em: Muito Seca - MS ( $\leq 20\%$ ), Seca - S ( $20\% < \alpha \leq 40\%$ ), Normal - N ( $40\% < \alpha \leq 60\%$ ), Chuvosa - C ( $60\% < \alpha \leq 80\%$ ) e Muito Chuvosa - MC ( $80\% < \alpha \leq 100\%$ ). Neste caso,  $x$  é o total anual precipitado. Uvo e Nobre (1989) apenas citam os anos secos e os anos normais, sem referir-se ao critério adotado para esta classificação. Queremos mostrar aqui, que não existe uma regra básica para a definição de categorias nos eventos, cada pesquisador possui uma forma de caracterização. Em nosso trabalho, como está mostrado acima, caracterizamos através da utilização da média e do desvio padrão, obtendo para uma série de 54 anos 29,63% (16 anos) como anos secos, 25,93 % (14 anos) para anos chuvosos e 44,44% (24 anos) para anos normais. Estes valores estão mostrados nas Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8.

Tabela 3. 6 – Série de dados pluviométricos para classificação em anos secos, médios e chuvosos.

ORDEM	PRECIPITAÇÃO ANUAL	F(X>=x)	F(X<=x)	P(X<=x)	D
1	1714,44	0.018	0.982	1.000	1.7989
2	1374,38	0.036	0.964	0.987	2.3038
3	1249,33	0.055	0.945	0.954	0.8214
4	1188,63	0.073	0.927	0.930	0.2851
5	1136,64	0.091	0.909	0.892	1.6883
6	1126,45	0.109	0.891	0.891	0.0264
7	1089,17	0.127	0.873	0.870	0.2474
8	1088,43	0.145	0.855	0.862	0.7457
9	1088,16	0.164	0.836	0.862	2.5329
10	1064,57	0.182	0.818	0.838	1.9344
11	1057,00	0.200	0.800	0.837	3.6920
12	1056,40	0.218	0.782	0.833	5.1238
13	958,96	0.236	0.764	0.724	4.0033
14	952,57	0.255	0.745	0.713	3.2207
15	929,32	0.273	0.727	0.695	3.2174
16	909,81	0.291	0.709	0.654	5.4735
17	893,26	0.309	0.691	0.642	4.9037
18	858,58	0.327	0.673	0.579	9.4183
19	857,02	0.345	0.655	0.570	8.4600
20	847,82	0.364	0.636	0.561	7.5198
21	845,88	0.382	0.618	0.541	7.6982
22	807,20	0.400	0.600	0.498	10.1689
23	784,47	0.418	0.582	0.459	12.2661
24	777,58	0.436	0.564	0.455	10.8519
25	776,52	0.455	0.545	0.453	9.2894
26	768,98	0.473	0.527	0.450	7.6907
27	765,18	0.491	0.509	0.427	8.2476
28	761,48	0.509	0.491	0.426	6.4914
29	760,44	0.527	0.473	0.421	5.1909
30	733,71	0.545	0.455	0.420	3.4360
31	729,47	0.564	0.436	0.413	2.3751
32	722,88	0.582	0.418	0.378	4.0499
33	708,03	0.600	0.400	0.370	3.0172
34	707,65	0.618	0.382	0.363	1.8727
35	702,63	0.636	0.364	0.351	1.2434
36	699,70	0.655	0.345	0.324	2.1836
37	696,98	0.673	0.327	0.312	1.5330
38	685,53	0.691	0.309	0.311	0.2324
39	682,31	0.709	0.291	0.308	1.6964
40	680,75	0.727	0.273	0.300	2.7367
41	649,44	0.745	0.255	0.254	0.1024
42	598,60	0.764	0.236	0.182	5.4645
43	583,80	0.782	0.218	0.179	3.9639
44	579,50	0.800	0.200	0.177	2.2654
45	569,77	0.818	0.182	0.166	1.5717
46	566,74	0.836	0.164	0.166	0.2461
47	542,43	0.855	0.145	0.145	0.0055
48	531,95	0.873	0.127	0.132	0.4532
49	513,99	0.891	0.109	0.121	1.2053
50	504,20	0.909	0.091	0.118	2.6731
51	504,05	0.927	0.073	0.114	4.1770
52	488,88	0.945	0.055	0.097	4.2529
53	449,65	0.964	0.036	0.078	4.1898
54	417,51	0.982	0.018	0.056	3.8181

Em que:  $F(X \leq x)$  é a frequência com que  $x$  é igualado ou superado. É calculado através da seguinte fórmula:

$$F(X \geq x) = \text{Ordem da precipitação}/(n+1) \quad (3.1)$$

$$F(X \leq x) = 1-F(X > x) \quad (3.2)$$

Em que:

Ordem da precipitação: é o número em ordem crescente a qual o valor x corresponde;

n : é o número de anos da série.

$P(X \leq x)$  é a distribuição de probabilidade associada à série;

D: é o valor absoluto da diferença entre a frequência ( $X \leq x$ ) e a distribuição de probabilidade associada a série, multiplicado por 100.

Tabela 3.7 – Resumo estatístico para a série total de dados.

Coluna1	
Média	809,98
Erro padrão	34,56
Mediana	763,33
Modo	670,03
Desvio padrão	254,00
Variância da amostra	64517,51
Curtose	1,82
Assimetria	1,08
Intervalo	1296,93
Mínimo	417,51
Máximo	1714,44
Soma	43738,82
Contagem	54

Tabela 3.8 – Valores médios anuais da precipitação para anos secos  $x \leq (X - S/2)$

Ano Seco	Precipitação Média Anual (mm)
1941	598,60
1942	417,51
1943	583,80
1951	513,99
1953	488,88
1958	449,65
1959	504,05
1962	569,77
1966	579,50
1970	566,74
1976	682,31
1981	680,75
1982	504,20
1983	531,95
1987	649,44
1990	542,43

Podemos verificar, através da tabela acima, a existências de séries críticas com anos consecutivos bastante secos, como é o caso de 1941, 1942 e 1943 e 1981, 1982 e 1983. A primeira série crítica apresentam valores mínimo de 417,51 mm e máximo de 598,60 mm, enquanto a segunda série apresentam valores mínimo de 449,65 e máximo de 504,05 mm.

Tabela 3.9 – Valores médios anuais da precipitação para anos chuvosos  $x \geq (X + S/2)$

Ano Chuvoso	Precipitação Média Anual (mm)
1940	1249,33
1945	958,96
1947	1088,16
1963	1057,00
1964	1136,64
1967	1188,63
1971	1056,40
1974	1374,38
1975	1064,57
1977	1126,45
1985	1714,44
1986	1089,17
1988	952,57
1989	1088,43

Observamos através da tabela acima que os anos de 1974 e 1975 obtiveram um total pluviométrico de 2438,95 mm enquanto que os anos de 1985 e 1986 obtiveram um total pluviométrico de 2803,61 mm.

Tabela 3.10 - Valores médios anuais da precipitação para anos de precipitação Normal

$$(X - S/2) < x < (X + S/2)$$

Ano Médio	Precipitação Média Anual (mm)
1937	733,71
1938	708,03
1939	702,63
1944	722,88
1946	685,53
1948	696,98
1949	765,18
1950	777,58
1952	699,70
1954	893,26
1955	760,44
1956	807,20
1957	776,52
1960	784,47
1961	858,58
1965	909,81
1968	845,88
1969	729,47
1972	768,98
1973	929,32
1978	761,48
1979	847,82
1980	707,65
1984	857,02

O modelo de otimização a ser empregado na análise do sistema utiliza dados climatológicos médios mensais. Para obtenção destes dados efetuamos a média aritmética para cada situação climática, obtendo uma média mensal para ano seco, ano normal e ano chuvoso. As Tabelas 3.11, 3.12 e 3.13 apresentam estes resultados.

Tabela 3.11 – Valores das precipitações médias mensais para ano seco (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano Seco	56.55	124.57	150.25	104.14	32.42	24.46	12.29	3.74	5.43	8.99	22.92	26.13

Tabela 3.12 – Valores das precipitações médias mensais para ano normal (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano Normal	76.03	117.21	229.34	173.55	66.78	28.97	16.40	7.26	4.30	8.98	19.83	30.73

Tabela 3.13 – Valores das precipitações médias mensais para ano chuvoso (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano Chuvoso	124.47	194.17	275.20	260.85	111.15	42.35	25.65	5.60	7.59	9.52	22.33	66.39

Podemos verificar, através das tabelas acima, que o total anual médio para ano seco é de 572,19 mm, enquanto que para ano normal temos um total anual médio de 779,32 mm e para ano chuvoso temos 1146,27 mm.

Como os dados hidrológicos são variáveis no tempo e no espaço, a série de dados analisada foi ajustada a uma lei de probabilidade ou função de distribuição que melhor se ajuste a esta variação temporal. Ajustaram-se os totais precipitados anuais às distribuições estatísticas: Normal, Lognormal e Gama, sendo indicado na Tabela 3.10 a função que se ajustou melhor com o nível de significância estimada pelo teste de Kolmogorov – Smirnov.

Tabela 3.14 – Distribuição estatística ajustada ao total precipitado

Dados ajustados	Distribuição de Probabilidade Ajustada	Nível de Significância <sup>1</sup> em %
Ano Seco	Log Normal	27.59
Ano Médio	Log Normal	15.57
Ano Chuvoso	Log Normal	22.05
Série completa	Normal	12.18

Como podemos verificar para os anos seco, médio e chuvoso a distribuição que melhor se ajusta aos dados é a Log-Normal, enquanto que para toda a série verificamos que a distribuição normal melhor se ajusta aos dados. Isto se deve ao fato que para os anos secos, médios e chuvosos tivemos uma série menor que 50 anos o que não ocorre com a série completa, ou seja, para séries maiores de 50 anos a distribuição que melhor representa os

dados é a distribuição normal (Haan, 1977). O conhecimento da distribuição de probabilidade para os dados, nos permite determinar a precipitação para um dado período de retorno, permitindo-nos formular cenários hidroclimáticos de situações extremas mas, ainda assim, passíveis de ocorrerem com uma certa frequência e, conseqüentemente, estudar com os modelos de simulação do sistema como ele se comportaria e quais seriam seus efeitos nos valores da função objetivo do modelo de otimização.

## Capítulo IV

### Fluviometria

---

## ***FLUVIOMETRIA***

### **4.1 – Introdução**

A bacia hidrográfica capta as águas pluviais precipitadas nos seus limites fazendo-as escoar, através de uma rede de drenagem, a qual é formada por cursos d'água, até um ponto de saída (ou exutório) da bacia, ou seção considerada. A transformação de chuva em vazão é influenciada por diversos fatores, dentre eles podemos citar a área da bacia, o relevo, a rede de drenagem, a vegetação e o tipo de solo. A representação numérica destas características físicas, através de índices, permite-nos caracterizar a bacia hidrográfica.

### **4.2 – Fluviomorfologia e Escoamento Superficial**

A rede fluviométrica de monitoramento da bacia do Piancó é formada por 9 estações, sendo que, atualmente, apenas 4 continuam operando. Como notórias características dos registros associados a essa rede, assinala-se:

- curta extensão das séries;
- ocorrência de diversas falhas de observação;
- disparidades entre sub-séries medidas nas primeiras décadas desse século e sub-séries mais recentes.

#### **4.2.1 - Dados Disponíveis**

Para estender as informações fluviométricas da bacia em estudo, as vazões naturais em pontos estratégicos foram geradas utilizando um modelo chuva-vazão. Os dados de fluviometria disponíveis foram utilizados para calibrar e validar os diferentes parâmetros do modelo. Assim, de início faz-se necessário efetuar uma nova análise qualitativa das séries disponíveis considerando a finalidade de calibração e validação do modelo. Esta análise

restringiu apenas aos postos fluviométricos Emas e Piancó, os quais são apresentados a seguir.

#### **Posto Emas**

Este posto, de coordenadas geográficas 07° 07'S e 37° 43'W, situa-se no riacho dos Porcos, afluente do rio Piancó, a montante do açude Coremas. Ainda em operação, o posto entrou em funcionamento em novembro de 1963, passou por um período de desativação entre 1973 e 1983, e reiniciou suas atividades em 1984, gerando duas sub-séries de observação: 1963 a 1972 e 1984 a 1989.

#### **Posto Piancó**

Localizado à montante do açude Coremas no rio Piancó (coordenadas geográficas 07° 12' S e 37° 56'W'), este posto opera desde abril de 1969.

Com uma área de drenagem de 4550 km<sup>2</sup>, representa uma rara exceção no Nordeste Brasileiro no que diz respeito a extensão de série: são 26 anos disponíveis, no entanto, com dados bastantes descontínuos. Portanto, para efeitos de calibração e validação dividiu-se a série em duas sub-séries: 1964 à 1985 e 1986 à 1989, praticamente sem falhas de observação.

#### **4.2.2 - O Modelo Chuva-Vazão**

Considerando a relativa disponibilidade de dados pluviométricos na área em estudo, que possibilitou o estabelecimento de uma série média mensal de 54 anos, optou-se por uma abordagem determinística conceitual através da utilização do modelo chuva x vazão, denominado MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável. O MODHAC (Lanna, 1989) é um modelo matemático de simulação da fase terrestre do ciclo hidrológico. Conhecidas as séries simultâneas das variáveis motoras deste processo, chuva e evapotranspiração potencial, o modelo computa o armazenamento e a abstração da água na bacia, com intervalo de cômputo diário, tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores: "a possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, visando ajustar as vazões calculadas às vazões observadas".

Uma visão esquemática da concepção física do modelo é apresentada na Figura 4.1. O MODHAC é uma versão aperfeiçoada do MOHTSAR - Modelo Hidrológico para o Trópico do semi-árido (Lanna e Marwell, 1986), que se aplica, não só às bacias de regimes semi-árido do Nordeste do Brasil, como também, àquelas de clima temperado úmido.

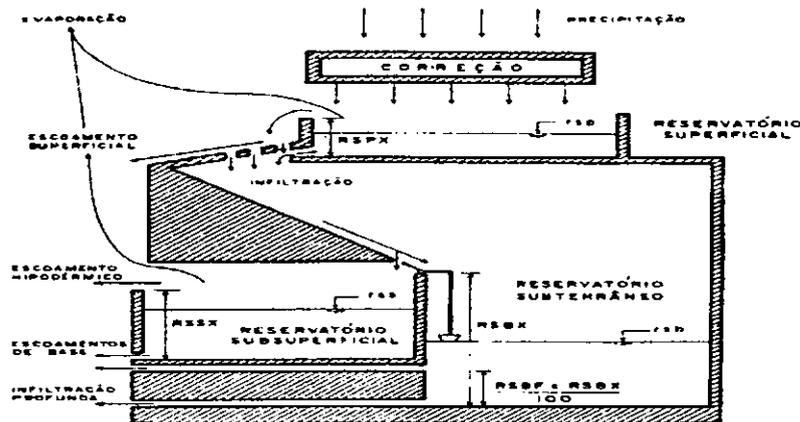


Figura 4.1 - Estrutura do Modelo MODHAC (Lanna, 1989)

#### 4.2.3 - Potencialidade e Disponibilidade Hídricas

A potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica representa a quantificação dos recursos hídricos sem a intervenção humana, em seu estado natural, que são representados pela soma dos escoamentos de base e superficial, ou o escoamento fluvial. O valor representativo deste escoamento é a média aritmética obtida a partir de um intervalo relativamente longo de dados fluviométricos, o qual pode-se adotar como a própria potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica.

A disponibilidade hídrica constitui a parcela da potencialidade ativada pela ação do homem. Suas variações, portanto, dependem não somente dos fatores naturais, como também, daqueles ligados ao destino da água e seu aproveitamento. Esse conceito, no sentido mais amplo, envolve: localização, regime, qualidade, nível tecnológico, tipo do uso, e aspectos econômicos. De uma maneira geral, a disponibilidade é sensivelmente inferior a potencialidade.

#### **4.2.4 - Geração das Séries**

A metodologia utilizada para gerar as séries fluviométricas das bacias dos postos de Aguiar, Emas e Piancó foi baseada nos resultados dos estudos do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (SCIENTEC, 1996), bacia do rio Piancó, que após análise comparativa das calibrações e validações do MODAHC para os postos de Emas e Piancó, chegaram a seguinte conclusão:

“Com base nos estudos anteriores conclui-se pela adoção do posto de Piancó como mais representativo da chamada fase terra do ciclo hidrológico na região. A validação do modelo para aquele posto, bem como a ordem de grandeza esperada para os parâmetros de maior significado físico, apontam para a factibilidade de utilização do conjunto de parâmetros encontrados para todas as sub-bacias identificadas no Piancó. O abandono do posto Emas justifica-se em função da grande incerteza em torno de qual das sub-séries vem, de fato, a ser a mais representativa do comportamento fluviométrico da bacia, visto que os resultados da validação cruzada se contrapõem.”

Dessa forma, o modelo MODHAC foi calibrado para a sub-série 1965-1968 (Figura 4.2) e posteriormente validado para a sub-série 1970 à 1973 (Figura 4.3).

#### **4.2.5 - Avaliação das Potencialidades Hídricas**

As potencialidades hídricas das diversas sub-bacias integrantes do Piancó são aqui representadas pelo deflúvio médio anual, obtido com a série de longo termo. Conforme já exposto não existem na região séries fluviométricas de extensão tal que venham a permitir uma avaliação adequada desse parâmetro estatístico, fato esse que vem justificar o emprego de modelos de transformação chuva-vazão.

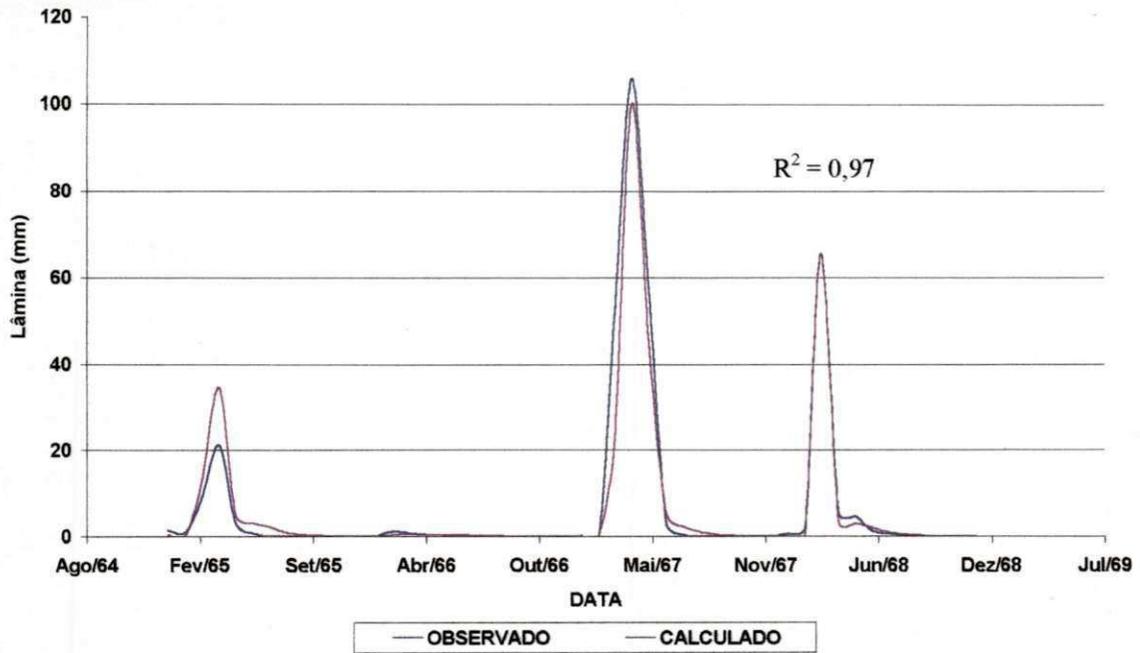


Figura 4.2 - Hidrograma de calibração (1965 a 1968) do MODHAC

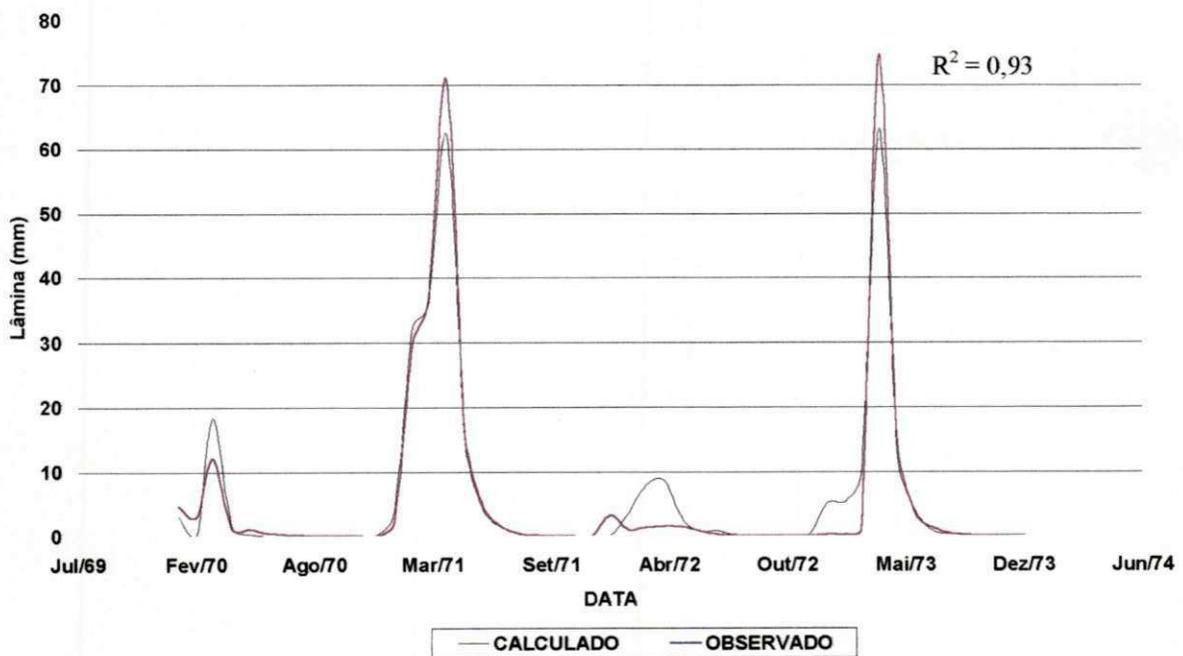


Figura 4.3 - Hidrograma de validação (1970 a 1973) do MODHAC

O processo consiste portanto na transformação da série de totais médios diários de precipitação, obtidas conforme apresentado no capítulo 3, em uma correspondente série de deflúvios médios mensais, que, no caso, possui extensão de 35 anos, iniciando em 1950 indo até 1994.

As séries de deflúvio médio mensal associadas a cada uma das sub-bacias identificadas para a região em foco (Emas, Aguiar e Piancó), foram obtidas por geração direta através do modelo MODHAC, com passo de cômputo diário, utilizando-se como parâmetros o conjunto calibrado e validado para o posto Piancó.

Tabela 4.1: Parâmetros calibrados para o posto Piancó

Parâmetro	Sub-série
	1964-1985
RSPX	57.96
RSSX	157.20
IMAX	15.48
IMIN	0.266
IDEC	0.5866
ASP	0.249
ASS	0.0012
CEVA	0.00

Em que:

- RSPX: Capacidade máxima do reservatório superficial;
- RSSX: Capacidade máxima do reservatório sub-superficial;
- RSBX: Capacidade máxima do reservatório subterrâneo;
- RSBF: Armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo ao escoamento de base;
- IMAX: Permeabilidade do solo;
- IMIN: Infiltração mínima;
- IDEC: Coeficiente de infiltração;
- ASP: Expoente da lei de esvaziamento do reservatório Superficial;
- ASS: Expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial;
- ASB: Expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo;
- PRED: Correção da precipitação;
- CEVA: Parâmetro da lei de evapotranspiração do solo.

Tabela 4.2 - Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para a bacia do posto Aguiar –  
Período de 1950 a 1984

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1950	0,0	0,1	5,9	21,8	22,7	5,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
1951	0,4	0,2	0,0	4,8	4,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1952	0,1	0,2	3,9	17,3	20,6	7,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1953	0,0	0,1	4,6	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
1954	0,2	1,7	7,2	21,9	24,9	14,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7
1955	0,3	3,7	17,1	18,2	9,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
1956	0,0	7,0	18,9	65,7	22,3	5,8	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
1957	0,6	0,0	19,3	98,0	19,3	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1958	0,0	0,8	0,3	1,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
1959	0,6	2,7	22,7	18,2	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1960	0,0	0,1	50,7	52,3	15,2	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1961	1,5	4,9	11,8	31,8	15,1	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1962	0,1	1,9	3,4	8,9	4,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1963	0,7	6,3	62,8	39,5	17,7	2,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
1964	0,1	2,7	10,3	14,5	8,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1965	0,5	0,1	0,4	9,2	13,5	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	0,0	2,0	0,5	1,6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
1967	0,1	5,5	18,5	29,7	84,6	15,9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1968	0,5	0,1	32,5	25,0	27,3	13,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1969	1,1	2,6	3,8	17,2	15,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1970	1,7	0,8	7,8	8,5	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
1971	0,5	1,1	12,1	50,0	27,5	14,9	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	1,4	5,2	9,5	19,1	15,2	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
1973	0,2	0,1	1,8	11,7	16,5	6,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1974	4,1	12,9	45,3	84,2	39,2	14,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
1975	1,3	6,9	66,8	56,2	27,3	7,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	5,9	16,2	14,2	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,2	2,0	9,5	23,1	38,0	20,4	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
1978	0,2	5,9	25,1	17,5	32,1	12,9	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	2,4	25,0	60,1	51,8	17,4	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	4,4	25,2	13,2	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,3	2,0	15,9	31,8	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
1982	0,0	0,1	0,4	2,6	9,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,2	6,2	6,1	11,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,5	1,2	13,7	48,7	27,0	17,8	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Podemos observar através da Tabela 4.2 que a maior concentração de escoamento ocorre nos meses de março e abril. O maior escoamento gerado desta série ocorreu no mês de abril de 1967, correspondendo a uma precipitação de 347 mm, sendo este o mês mais chuvoso daquele ano.

Tabela 4.3 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Aguiar, período 1950 a 1984.

Dados Estatísticos	
Média	76,96
Erro Padrão	11,73
Mediana	53,2
Modo	#N/D
Desvio Padrão	69,39
Variância da Amostra	4815,34
Curtose	5,51
Assimetria	1,94
Intervalo	342,70
Mínimo	3,50
Máximo	346,20
Soma	2693,60
Contagem	35

Tabela 4.4 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos secos  $x \leq (X - S/2)$ .

Ano Seco	Lâmina média anual gerada (mm)
1951	10,4
1953	5,9
1958	3,5
1962	18,5
1964	36,7
1965	27,3
1966	4,4
1970	25,1
1973	36,8
1976	38,8
1982	13,5
1983	24,6

Tabela 4.5 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano seco (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sct.	Out.	Nov.	Dcz
Ano Seco	0,27	1,72	4,32	7,45	5,61	1,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04

Para a região da bacia hidrográfica do rio Piancó as chuvas ocorrem de janeiro a maio, com trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril. Podemos verificar através da Tabela 4.5 que o maior escoamento ocorre no mês de abril.

Tabela 4.6 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos normais  $(X - S/2) < x < (X + S/2)$ .

Ano Normal	Lâmina média anual gerada (mm)
1950	55,7
1952	50,1
1954	73,2
1955	49,5
1959	48,5
1961	66,9
1968	100,3
1969	42,6
1971	110,5
1972	53,2
1977	100,7
1978	95,1
1980	44,4
1981	58,9
1984	115,5

Tabela 4.7 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano normal (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano Normal	0,49	2,52	14,39	24,99	19,27	7,61	1,29	0,00	0,01	0,01	0,02	0,14

Podemos verificar através da Tabela 4.7 que permanece a tendência de ocorrer o maior escoamento no mês de abril. Observa-se que cerca de 35% do escoamento total anual ocorre no mês de abril

Tabela 4.8 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Aguiar, anos chuvosos ( $X + S/2$ )  $\leq x$ .

Ano Chuvoso	Lâmina média anual gerada (mm)
1956	120,2
1957	141,3
1960	120,8
1963	130,0
1967	346,2
1974	202,4
1975	165,9
1979	160,2

Tabela 4.9 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Aguiar, ano chuvoso (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Ano Chuvoso	1,15	7,96	42,80	83,43	30,38	6,99	0,58	0,00	0,00	0,01	0,05	0,04

Podemos observar que, mesmo para anos chuvosos, os meses de agosto a setembro têm suas lâminas médias iguais a zero, e os altos valores de escoamento nos meses de março e abril.

Tabela 4.10 – Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para a bacia do posto Piancó –  
Período de 1950 a 1984.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	sct	out	nov	dez
1950	0.8	0.2	4.4	47.4	22.4	4.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1951	0.1	0.1	0.2	3.7	6.6	2.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1952	0.1	1.8	5.8	11.6	12.0	3.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1953	0.0	0.1	2.9	1.9	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6
1954	0.1	1.8	2.3	8.8	8.5	5.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1955	0.9	4.8	6.3	5.9	4.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1956	0.0	3.2	8.4	18.4	11.1	3.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
1957	0.9	0.0	6.7	19.9	8.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1958	0.1	0.4	0.3	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1959	0.2	0.9	4.7	3.9	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960	0.0	0.4	20.9	26.0	11.2	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1961	1.1	4.3	7.7	13.0	7.4	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
1962	0.3	0.6	3.2	5.8	5.6	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
1963	0.2	1.6	17.5	18.4	12.1	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1
1964	4.6	6.5	28.9	46.1	24.2	15.4	5.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1965	0.3	0.3	1.1	36.2	23.7	10.7	4.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	0.0	2.3	1.5	0.8	0.2	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1967	0.1	2.1	41.1	165.1	64.1	15.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968	0.8	0.5	24.9	18.1	20.7	7.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	0.5	0.8	2.4	6.5	4.8	1.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970	1.0	1.5	8.5	5.8	3.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.3	2.2	11.8	46.9	23.3	14.7	4.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	0.8	2.2	5.4	7.2	5.3	2.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
1973	0.4	0.3	3.6	8.9	14.2	5.4	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1974	1.8	17.3	92.1	79.5	34.8	12.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
1975	0.4	1.4	35.3	22.9	25.6	8.0	3.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
1976	0.0	2.0	5.9	11.7	3.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.2	1.3	4.7	15.3	24.8	9.7	2.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
1978	0.1	1.3	7.5	6.8	10.2	2.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.8	4.1	10.5	13.3	12.7	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.3	1.8	11.6	4.7	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
1981	0.1	0.7	10.2	26.4	6.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1982	0.0	0.0	0.5	2.0	7.7	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983	0.1	3.1	2.2	6.5	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984	0.1	0.3	5.9	76.3	27.4	12.1	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabela 4.11 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Piancó, período 1950 a 1984.

Dados Estatísticos	
Média	55,26
Erro Padrão	10,52
Mediana	34,70
Modo	34,70
Desvio Padrão	62,26
Variância da Amostra	3876,84
Curtose	6,75
Assimetria	2,47
Intervalo	286,40
Mínimo	3,10
Máximo	289,50
Soma	1934,30
Contagem	35

Tabela 4.12 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Piancó, anos secos  $x \leq (X - S/2)$ .

Ano Seco	Lâmina média anual gerada (mm)
1951	14,0
1953	7,7
1955	22,7
1958	3,1
1959	10,6
1962	17,5
1966	6,3
1969	17,4
1970	20,3
1972	23,4
1976	23,1
1980	19,3
1982	11,7
1983	13,3

Tabela 4.15 – Valores das lâminas mensais geradas para a bacia do posto Piancó, ano normal (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dcz
Ano Normal	0,39	1,45	9,08	19,23	13,79	4,23	0,79	0,03	0,00	0,01	0,02	0,13

Podemos verificar através da Tabela 4.15 que permanece a tendência de ocorrer o maior escoamento no mês de abril. Observa-se que do total escoado de 49,15 mm 39,1% escoou no mês de abril.

Tabela 4.16 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Piancó, anos chuvosos  $(X - S/2) \leq x$ .

Ano Chuvoso	Lâmina média anual gerada (mm)
1964	131,3
1967	289,5
1971	104,1
1974	240,5
1975	97,7
1984	123,5

Tabela 4.17 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Piancó, ano chuvoso (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
Ano Chuvoso	1,22	4,97	35,85	72,80	33,23	13,05	3,10	0,08	0,03	0,02	0,05	0,03

Tabela 4.18 - Lâminas médias mensais (mm) afluentes geradas para a bacia do posto Emas -  
Período de 1950 a 1984.

Ano	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1950	0.0	0.0	4.4	154.7	20.7	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1951	0.3	0.6	0.0	4.9	14.9	13.2	4.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
1952	0.3	2.2	6.5	12.6	15.7	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953	0.0	0.2	1.1	2.5	5.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
1954	0.2	1.7	3.8	13.0	9.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1955	0.3	2.7	8.8	12.5	10.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1956	0.0	6.6	36.7	30.1	13.2	2.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1957	0.8	0.0	8.7	15.7	15.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1958	0.0	0.5	0.9	2.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1959	0.5	4.5	12.0	15.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1960	0.0	0.0	0.6	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1961	1.9	9.7	28.6	30.0	10.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	0.1	1.6	4.9	13.8	9.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1963	1.0	1.2	18.5	25.8	13.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.1
1964	4.2	3.9	36.5	65.0	18.4	12.0	4.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
1965	0.4	0.3	3.4	205.9	95.4	16.0	9.7	0.8	0.0	0.5	0.0	0.0
1966	0.0	3.3	3.9	2.0	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1967	0.0	4.4	41.8	243.8	92.9	15.3	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968	0.2	0.3	123.5	36.0	51.4	12.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	0.0	0.0	6.5	12.2	6.8	1.6	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970	1.8	5.5	12.8	15.7	12.6	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.1	6.1	82.4	256.4	51.2	32.5	8.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	0.0	2.7	32.5	49.8	16.0	10.9	3.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1
1973	0.0	0.1	3.3	9.2	28.2	8.0	5.7	0.8	0.0	0.2	0.0	0.1
1974	8.6	147.9	157.4	329.5	76.9	19.7	5.9	0.1	0.0	0.0	0.9	0.0
1975	0.1	5.9	223.3	24.4	54.0	14.8	10.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	0.1	0.9	2.3	6.3	2.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.1	1.9	47.4	120.0	51.9	10.0	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4
1978	0.2	3.1	10.1	6.9	13.4	9.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.9	0.9	1.2	11.4	13.5	6.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.5	1.2	15.4	6.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	0.1	0.0	46.4	50.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	0.9	4.4	23.9	6.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983	0.0	1.5	1.0	8.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984	0.0	0.0	4.8	44.4	21.4	12.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabela 4.19 – Resumo estatístico para os totais anuais das lâminas afluentes geradas para a bacia do posto Emas, período 1950 a 1984.

Dados Estatísticos	
Média	119,03
Erro Padrão	26,84
Mediana	45,3
Modo	#N/D
Desvio Padrão	158,78
Variância da Amostra	25212,55
Curtose	6,56
Assimetria	2,39
Intervalo	745,90
Mínimo	2,70
Máximo	748,60
Soma	4165,90
Contagem	35

Tabela 4.20 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Emas, anos secos  $x \leq (X - S/2)$ .

Ano Seco	Lâmina média anual gerada (mm)
1951	38,1
1953	9,6
1954	30,0
1955	36,5
1958	5,0
1959	36,9
1960	2,7
1962	30,8
1966	13,7
1969	27,1
1976	15,6
1979	34,2
1980	23,7
1982	36,3
1983	13,5

Tabela 4.21 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano seco (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sct.	Out.	Nov.	Dcz
Ano												
Seco	0,19	1,31	4,22	7,81	7,07	2,36	0,59	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

Para a região da bacia hidrográfica do rio Piancó as chuvas ocorrem de janeiro a maio com trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril. Podemos verificar através da Tabela 4.21 que o maior escoamento ocorre no mês de abril.

Tabela 4.22 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Emas, anos normais  $(X - S/2) < x < (X + S/2)$ .

Ano Normal	Lâmina média anual gerada (mm)
1950	184,9
1952	41,2
1956	89,7
1957	45,3
1961	81,5
1963	68,4
1964	149,8
1970	58,4
1972	118,0
1973	55,8
1978	43,0
1981	102,5
1984	85,2

Tabela 4.23 – Valores das lâminas mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano normal (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sct.	Out.	Nov.	Dcz
Ano Normal	0,79	2,69	19,22	39,22	15,70	5,77	2,81	0,07	0,02	0,02	0,03	0,10

Podemos verificar através da Tabela 4.7 que permanece a tendência de ocorrer o maior escoamento no Mês de abril. Observa-se que do total escoada de 86,44 mm 45,4% escoou no mês de abril.

Tabela 4.24 – Valores médios anuais das lâminas geradas para a bacia do posto Emas, anos chuvosos ( $X - S/2 \leq x$ ).

Ano Normal	Lâmina média anual gerada (mm)
1965	322,7
1967	399,9
1968	226,5
1971	432,3
1974	748,6
1975	324,8
1977	233,7

Tabela 4.25 – Valores das lâminas médias mensais geradas para a bacia do posto Emas, ano chuvoso (mm).

Evento	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
Ano Chuvoso	1,36	23,83	96,60	173,7	67,67	17,24	2,83	0,57	0,00	0,07	0,13	0,06

Podemos observar através da Tabela 4.25 que para um ano chuvoso no posto de Emas, que nos meses de setembro a dezembro os valores das lâminas médias escoadas chegam a zero. Verificamos através das tabelas anteriores que o mesmo ocorre para os postos de Aguiar e Piancó, isto deve-se ao fato destes meses serem os mais secos da região.

## Capítulo V

### O Sistema Coremas/ Mãe D'água

---

## ***O SISTEMA COREMAS/MÃE D'ÁGUA***

### **5.1 – Introdução**

Uma das formas de atenuar as irregularidades hídricas das regiões semi – áridas é através do uso de reservatórios de acumulação superficial, que possam atender as necessidades de água para os diversos usos ao longo do tempo. O DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), em uma tentativa de mitigar os efeitos das estiagens prolongadas, vem construindo açudes públicos na região Nordeste do Brasil. No espaço geográfico da bacia do rio Piranhas – Açu, no território paraibano, a sub-bacia do rio Piancó merece destaque especial por se tratar de grande armazenadora de água através de seus diversos açudes de médio porte e do maior reservatório do Estado da Paraíba.

### **5.2 – O Sistema Coremas / Mãe D'água**

#### **5.2.1 – Dados Técnicos**

O Sistema Coremas (Estevam Marinho) / Mãe D'água (Figura 5.1) está vinculado ao DNOCS e localiza-se no município de Coremas, no sertão paraibano. Este reservatório destaca-se por uma característica peculiar, trata-se de dois reservatórios que, a partir da cota 230 m, unem-se formando ambos um só reservatório, o maior do estado.

O reservatório Coremas, na cota 245m em relação ao nível do mar, possui uma capacidade volumétrica de 720 milhões de m<sup>3</sup> com uma bacia hidrográfica de contribuição de 6840 Km<sup>2</sup>, tem uma bacia hidráulica de 59,50 Km<sup>2</sup> e profundidade máxima de sua barragem de 44 m. Sua barragem principal possui largura da base de 258,50 m, extensão, largura e cota de coroamento de 1,55 m, 10 m e 248 m

respectivamente. O sangradouro do açude Coremas possui uma largura e altura de 1,50 m e 3 m respectivamente com cota de soleira de 245 m. O citado reservatório ainda possui três barragens auxiliares cada uma com extensão de coroamento de 500 m, 165 m e 280 m, respectivamente.

Inicialmente a cota de ligação dos dois reservatórios era a cota 236 m, entretanto, devido à construção do canal de reversão, que sai do açude Mãe D'água para as várzeas de Sousa, esta cota foi rebaixada para 230 m, uma vez que o açude Mãe D'água tem como uma de suas fontes alimentadoras o açude Coremas.

O reservatório Mãe D'água possui uma capacidade volumétrica de 648 milhões de m<sup>3</sup>, com bacia hidrográfica de contribuição de 1128 Km<sup>2</sup> e bacia hidráulica de 38,40 Km<sup>2</sup>. Este reservatório tem uma profundidade de 44 m, sua barragem possui largura da base de 35 m, extensão, largura e cota de coroamento de 170, 76 m, 1,20 m e 245 m, respectivamente.

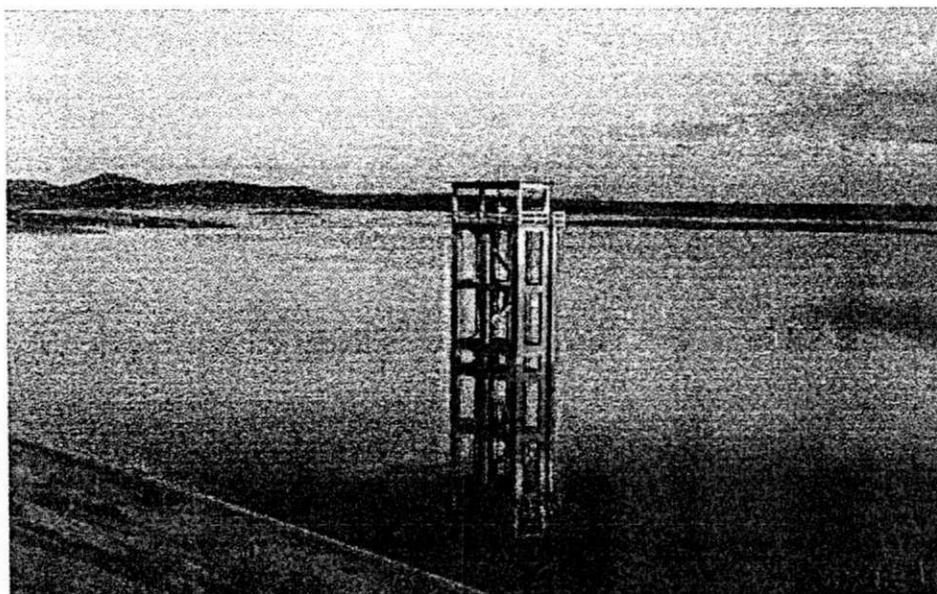


Figura 5.1 – Vista do açude Coremas (Estevam Marinho) / Mãe D'água.

### 5.2.2 – Qualidade da água

As características qualitativas da água de um manancial determinam a adequação aos diversos usos aos quais a água pode ter. Estas características incluem variações do nível de tolerância às impurezas, concentrações de íons, de sólidos dissolvidos e em suspensão, etc. Em outras palavras, existe uma estreita relação entre a

qualidade da água e as necessidades do usuário. Os padrões qualitativos e quantitativos não são independentes mas bastante interrelacionados. Os constantes conflitos de uso hídrico tornou necessário enquadrar os corpos de água em classes, conforme determina a Lei Federal Nº 9433 de 08/01/1997, a qual visa assegurar as águas, qualidade compatível com os usos mais exigentes e diminuir os custos de combate a poluição das águas mediante ações preventivas permanentes.

Como a grande maioria dos açudes da bacia do rio Piancó são utilizados para fins de abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais, preservação da fauna e flora, piscicultura, lavagem de roupa e até mesmo diluição das águas servidas, os aspectos relacionados com a quantidade de água necessária e a qualidade desejada devem ser considerados na gestão dos usos múltiplos dos recursos hídricos.

#### **5.2.2.1 – Qualidade das águas destinadas à irrigação**

Do ponto de vista sanitário, a água destinada à irrigação de plantas frutíferas e legumes em geral, não necessita atender a um padrão de qualidade elevado. É suficiente que não contenha substâncias tóxicas ao solo e às plantações. Entretanto, para irrigação de hortaliças, especialmente as que costumam ser consumidas cruas, e também alguns frutos que têm contato com o solo, a água deve atender praticamente aos mesmos requisitos que são exigidos para água potável. Muitas são as doenças produzidas por vírus, bactérias, protozoários e vermes e que são transmitidas através das verduras cruas, devido ao uso de águas contaminadas para sua irrigação e, mesmo lavagem das folhas antes de serem transportadas para o mercado.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA faz referência às águas destinadas à irrigação, quando define as Classes 1, 2 e 3: as águas de Classe 1 podem ser destinadas à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; as de Classe 2 podem ser usadas na irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; as de Classe 3 podem destinar-se à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.

Além do aspecto sanitário, outros fatores devem ser considerados nas águas destinadas a irrigação, tais como:

- **Concentração de sais solúveis:** Toda a água superficial contém certo teor de sais em solução, sendo que, em regiões áridas e semi-áridas, a concentração é, geralmente, maior devido a alta evaporação e baixa pluviosidade. A presença de sais de cálcio, magnésio, sódio e potássio podem ser nocivos. Em quantidades excessivas, esses sais reduzem a atividade osmótica das plantas, impedindo o aproveitamento dos nutrientes do solo. Além disso, eles podem ter efeitos químicos indiretos no metabolismo da planta, afetando seu crescimento. Podem também reduzir a permeabilidade do solo, impedindo a drenagem e aeração adequadas.

Com respeito a condutividade elétrica (que mede a quantidade de sais solúveis), as águas se dividem em quatro classes como mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Relação entre a condutividade elétrica e os riscos de salinidade do solo

Classe	Condutividade Elétrica micromhos/cm	Riscos de Salinidade
C1	100 - 250	Baixo
C2	250 - 750	Médio
C3	750 - 2250	Alto
C4	2250 - 5000	muito alto

Fonte: AGROSSOLOS ENGENHARIA LTDA, 1993

As águas com condutividade elétrica menor que 750 micromhos/cm são as mais indicadas para irrigação, ainda que as culturas mais sensíveis sejam afetadas adversamente quando se usam águas cujas condutividade elétrica variam entre 250 e 750 micromhos/cm.

- **Relação de absorção de sódio:** A relação de absorção de sódio (RAS) mede a importância da quantidade de sódio ( $\text{Na}^+$ ) presente na água, em relação aos outros cátions principais, ou seja, magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ). O sódio quando presente em pequenas concentrações pode estimular a produtividade de algumas culturas enquanto que se houver uma alta

concentração ocorrerá uma alteração no solo podendo até chegar a salinização. A razão de adsorção sódica calcula-se com a seguinte fórmula:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (5.1)$$

As concentrações de  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  são dadas pela análise de água, em mEq/l (miliequivalente da quantidade de Sódio em relação as outras substâncias). O Sódio possui grande efeito na irrigação pelo fato de que águas muito sódicas reduzem consideravelmente a permeabilidade do solo, dificultando a alimentação das plantas e drenagem do solo.

A Tabela 5.2 indica os riscos de diminuição da permeabilidade do solo em função do RAS.

Tabela 5.2 - Riscos de Diminuição da Permeabilidade do Solo em Função da RAS da Água de Irrigação

Classe	RAS	Riscos de Diminuição da Permeabilidade
S1	< 3	Baixo
S2	3 a 5	Médio
S3	5 a 8	Alto
S4	> 8	muito alto

As águas da classe S1 (baixa concentração de sódio) podem ser usadas para a irrigação da maioria dos solos com pequena probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio. Águas da Classe S2 (média concentração de sódio) só devem ser usadas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. O uso de águas da Classe S3 (alta concentração de sódio) pode produzir níveis tóxicos de sódio na maioria dos solos, havendo necessidade de práticas especiais de manejo, como boas condições de lixiviação e de drenagem e adição de matéria orgânica. As águas com alta concentração de sódio (Classe S4), são geralmente impróprias para a irrigação, exceto quando a salinidade é baixa ou média e a dissolução de cálcio do solo é alta.

No sistema Coremas/Mãe D'água prevaleceram as águas das classes C1-S1 com 83%, e C2-S2 com 17% das amostras coletadas em 1984 pela empresa AGROSSOLOS ENGENHARIA Ltda. (1993).

### 5.2.2.2 - Águas para abastecimento humano

A água, para ser considerada própria para consumo humano deve apresentar boas características físicas, químicas e biológicas. As principais características da água podem ser expressas como a seguir:

- **Características Físicas:** As características físicas estão relacionadas, principalmente, com o aspecto estético da água. Algumas destas características podem prejudicar certos usos da água, tornando-a imprópria ao consumo humano, pelo aspecto estético, por manchar roupas e aparelhos sanitários e ainda podendo causar problemas ao organismo humano.

Incluem-se nas características físicas da água:

- ◆ **Cor** - pode ser de origem natural (decomposição de matéria orgânica - principalmente vegetais) e de origem antropogênica (resíduos industriais e esgotos domésticos).

Quando de origem natural, a cor não apresenta risco direto a saúde, mas os consumidores podem questionar a sua confiabilidade. Além disso, a cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida, responsável pela cor pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos). Se a cor for de origem antropogênica, pode apresentar toxicidade.

- ◆ **Sabor e odor** - o sabor é a combinação entre gosto (salgado, doce, azedo e amargo) e o odor (cheiro). O sabor e o odor decorrem de matéria excretada por algumas espécies de algas e de substâncias dissolvidas, como gases, clorofenóis e, raramente, lançamentos de despejos industriais nos corpos aquáticos. Do ponto de vista sanitário, o sabor e odor não têm significado. No entanto, representam maior causa de reclamação dos consumidores.

♦ **Turbidez** - representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma.

Quando de origem natural, não traz inconvenientes sanitários diretos. Porém, é esteticamente desagradável na água potável, e os resíduos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Quando de origem antropogênica, pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos.

♦ **Temperatura** - medição da intensidade de calor. Elevações de temperatura diminuem a solubilidade dos gases (ex.: oxigênio dissolvido), aumentam a transferência de gases (o que pode gerar mau cheiro no caso de liberação de gases com odores desagradáveis). A temperatura da água para uso doméstico deve ser refrescante.

- **Características Químicas:** As características químicas das águas são de muita importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos na água bruta pode inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento e exigir tratamentos específicos, como também interferir nos aspectos higiênicos e econômicos do uso da água.

Entre as características químicas da água merecem ser destacadas:

♦ **Alcalinidade** - é devida a presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, quase sempre alcalinos e alcalinos terrosos (sódio, potássio, cálcio, etc.). Não tem significado sanitário para água potável, mas em elevadas concentrações confere um gosto amargo para a mesma. É uma determinação importante no controle de tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações.

♦ **Dureza** - é uma característica da água que depende, em parte, do solo do qual esta procede. Assim, águas brandas são encontradas em solos basálticos, areníferos, graníticos, enquanto que águas que procedem de solos calcários apresentam freqüentemente dureza elevada. Não há evidências de que a dureza causa problemas sanitários. Alguns estudos realizados em áreas com maior dureza indicaram uma menor incidência de doenças cardíacas. Em determinadas concentrações causa um sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos. A dureza reduz a formação de

espuma, implicando num maior consumo de sabão e causa incrustações nas tubulações de águas quentes.

◆ **Clorctos** - os clorctos estão presentes nas águas naturais em teores maiores ou menores, dependendo de fatores locais e da distância em relação ao mar. Podem também ocorrer na água como consequência da poluição devida a intrusão de esgoto sanitário ou industrial. Em teores elevados causam sabor salgado à água, podendo ainda provocar reações fisiológicas ou aumentar a corrosividade da mesma.

◆ **Oxigênio Dissolvido** - o teor de oxigênio dissolvido nas águas superficiais depende da quantidade e tipo de matéria orgânica instável que a água contenha. As águas relativamente límpidas, apresentam-se saturadas de oxigênio dissolvido, porém este pode ser rapidamente consumido pela demanda de oxigênio de esgotos domésticos. Assim, teores baixos de oxigênio dissolvido podem indicar que houve uma intensa atividade bacteriana decompondo matéria orgânica lançada na água.

◆ **pH** - é usado universalmente para expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. O pH baixo significa corrosividade e agressividade nas águas de abastecimento. Valores elevados possibilitam a formação de incrustações nessas águas.

◆ **Compostos de Nitrogênio** - o nitrogênio segue um ciclo, podendo estar presente em diversas formas - amoniacal, nitritos, nitratos. Estes compostos ocorrem na água, originárias de esgotos domésticos e industriais ou da drenagem de áreas fertilizadas. O nitrogênio contribui para o desenvolvimento de algas em mananciais, devendo ser limitado para evitar proliferação excessiva das mesmas. Teores elevados de nitratos são responsáveis pela incidência de uma doença infantil chamada metemoglobinemia (ou cianose), que provoca a descoloração da pele.

◆ **Compostos Tóxicos** - alguns elementos ou compostos químicos, quando presentes na água, a torna tóxica, podendo-se citar: cobre, zinco, chumbo, cianetos, cromo hexavalente, cádmio, arsênio, selênio, prata,

mercúrio, bário. Estas impurezas podem alcançar a água a partir de esgotos industriais, de usos agrícolas ou de garimpo.

- **Características Biológicas:** Entre as impurezas na água incluem-se organismos que, conforme sua natureza, tem grande significado para os sistemas de abastecimento de água.

Alguns desses organismos, como certas bactérias, vírus e protozoários, são patogênicos, podendo provocar doenças e serem a causa de epidemias. Outros organismos, como algumas algas, são responsáveis pela ocorrência de sabor e odor desagradáveis, ou por distúrbio em filtros e outras partes do sistema de abastecimento.

As características biológicas das águas são determinadas através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos. Entre os primeiros se destaca a pesquisa do número de coliformes.

Os coliformes são bactérias que normalmente habitam os intestinos dos animais superiores. A sua presença indica a possibilidade de contaminação da água por esgoto doméstico. Contudo, nem toda água que contenha coliformes é contaminada e, como tal, podem veicular doenças de transmissão hídrica.

O número de coliformes é expresso pelo número mais provável (NMP); representa a quantidade mais provável de coliformes existentes em 100 ml de água amostrada.

A água para consumo humano deve estar:

- isenta de substâncias químicas e organismos prejudiciais a saúde
- adequada para serviços domésticos
- de baixa agressividade e dureza
- esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor) e ausência de organismos visíveis.

A Resolução nº 20, de 15/06/86, do CONAMA faz referência às águas destinadas a abastecimento, quando define as Classes Especial, 1, 2 e 3:

- as águas de Classe Especial podem ser utilizadas para abastecimento doméstico após simples desinfecção;
- as águas de Classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;

- as águas de Classes 2 e 3 só podem ser destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional.

Para cada classe, além da especificação dos usos, a Resolução fixou os teores máximos de impurezas e as condições a serem atendidas.

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NB-592, considera os seguintes tipos de águas naturais:

**Tipo A:** águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas e, os demais parâmetros de qualidade de acordo com o Padrão de Potabilidade;

**Tipo B:** águas superficiais ou subterrâneas provenientes de bacias não protegidas e que possam atender ao Padrão de Potabilidade com tecnologia de tratamento que não exija coagulação química;

**Tipo C:** águas superficiais proveniente de bacias não protegidas e exijam tecnologia com coagulação química para atender ao Padrão de Potabilidade;

**Tipo D:** águas superficiais não protegidas, sujeitas à poluição, e que requerem tratamento especial para atender ao Padrão de Potabilidade.

A Tabela 5.3 resume as características básicas relacionadas aos tipos de água naturais.

Tabela 5.3 - Classificação da Águas Segundo a NB-592 da ABNT.

Característica básica	A	B	C	D
DBO (mg/l)				
Médio	<1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4.0	> 4.0
Máximo	3.0	4.0	6.0	>6.0
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)				
média mensal	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
máximo	> 100(*)	> 5000(**)	> 20000(***)	---
PH	5 - 9	5 - 9	5 - 9	3.8 - 10.3
Cloretos (mg/l)	< 50	50 - 250	250 - 600	> 600
Fluoretos (mg/l)	< 1.5	1.5 - 3.0	3.0	

(\*) em menos de 5 % das amostras examinadas

(\*\*) em menos de 20 % das amostras examinadas

(\*\*\*) em menos de 5 % das amostras examinadas

A Tabela 5.4 apresenta dados de controle de qualidade de água de açudes da bacia do rio Piancó. Esses dados foram fornecidos pela Diretoria Técnica - Assessoria Técnica de Tratamento de Água e Esgoto da CAGEPA.

Tabela 5.4 - Parâmetros de qualidade da água de açudes da bacia do Piancó utilizados para abastecimento público.

Identificação		Determinações						
Município	Açude	pH	Cor mg Pt/l	Turbidez mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Oxigênio consumido mg/l	Alcalinidade total mg/l	Coliformes total NMP/100 ml
Água Branca	Bom Jesus	7,5	45,0	10,00	26,40	6,8	110	380
Boa Ventura	Riacho Verde	7,5	10,0	1,00	14,96	2,5	170	380
Catingueira	Arneixas	7,2	15,0	3,80	23,04	11,0	300	22
Conceição	Serra Vermelha	7,4	200,0	28,00	20,24	5,5	130	2400
Diamante	Gravatá	8,2	200,0	13,00	0	13,0	95	200
Emas	Emas	6,8	400,0	90,00	17,60	14,0	27	2400
Itaporanga	P. Nazaré	7,5	70,0	10,00	4,40	6,5	56	380
Jurú	Glória	7,6	12,0	5,80	18,45	3,0	74	50
Manaira	Catolé	7,6	5,0	2,00	2,46	11,0	79	50
Nova Olinda	Grossos	7,5	45,0	7,50	3,52	14,0	52	2400
Imaculada	Albino	7,4	40,0	5,00	8,80	6,0	51	88
Olho D'Água	Catingueira	6,8	8,0	1,50	33,44	1,0	10	380
Piancó	Coremas	8,3	15,0	3,50	0	4,5	75	22
Princesa Isabel	Jatobá	7,4	15,0	8,00	5,28	3,5	64	88
S. de Mangueira	Velho / Santana	7,6	30,0	8,50	8,80	3,0	90	380
S.J. de Caiana	Piau	7,5	15,0	8,00	2,64	3,7	55	380
Tavares	Novo	7,7	45,0	18,00	8,80	4,5	78	150
Serra Grande	Cafundó	7,3	7,5	8,10	7,04	7,1	31	380
Aguiar	Frutuoso II	7,4	20,0	24,00	8,80	4,4	70	380

Fonte: CAGEPA

Como podemos verificar através da Tabela acima, as águas do açude Coremas são de boa qualidade. Entretanto, na bacia do Piancó, apresentam-se mananciais com diferentes estágios de qualidade da água.

Observamos que os açudes Serra Vermelha (Conceição), Emas (Emas) e Grossos (Nova Olinda) apresentam valores de coliformes totais dentro do limite máximo (5000 coliformes/100 ml de amostra) estabelecido pela Resolução CONAMA para Classe 2, na qual estão inseridas as águas da referida bacia. Porém há uma tendência em apresentar concentrações elevadas, o que pode ser um indício de comprometimento da qualidade das águas como consequência da atividade humana.

As águas naturais possuem cor que varia entre 0 e 200 mg Pt/l pois, acima disto, já seriam águas de brejo ou pântano com altos teores de matéria orgânica dissolvida. No

Brasil, aceita-se para água bruta, isto é antes de ser tratada e distribuída em sistemas urbanos valores de até 75 mg P/l de cor (Resolução CONAMA - Classe 2).

Neste caso, como os açudes Serra Vermelha (Conceição), Gravatá (Diamante) e Emas (Emas) apresentam valor de cor superior ao limite estabelecido são considerados inadequados para tratamento de potabilização.

No entanto, todos os açudes da bacia do rio Piancó apresentam valores de pH e turbidez compatíveis com a Resolução, que estabelece uma variação de pH entre 6 e 9 e turbidez máxima de 100 mg/l.

### 5.2.3 – Demandas

Os usos dos recursos hídricos têm se intensificado com o desenvolvimento econômico, tanto no que se refere ao aumento da quantidade de demanda para determinada utilização, quanto no que se refere a variedade dessas utilizações. Originalmente, a água era usada principalmente para dessedentação, usos domésticos, criação de animais e para usos agrícolas a partir da chuva e, menos freqüentemente, com suprimento irrigado. À medida que a civilização se desenvolveu outros tipos de usos foram surgindo, disputando os recursos hídricos muitas vezes escassos e estabelecendo conflitos entre usuários (Scientec, 1996).

A adoção de dotações de consumo para qualquer finalidade, ainda se constitui uma tarefa difícil, uma vez que depende de fatores naturais, sociais e econômicos, como níveis de renda, métodos de aplicação, distribuição e uso da água, processos industriais, etc.

No caso de pequenos reservatórios, devido ao pequeno volume disponível, a escolha entre os usos torna-se difícil, sendo quase sempre necessário a escolha por um só uso. Em grandes reservatórios deve-se observar se não há incompatibilidade entre os usos, de forma a permitir o aproveitamento planejado do reservatório, possibilitando definir os múltiplos usos a que a água de um reservatório poderá estar sujeita. As grandes vantagens do múltiplo uso está no compartilhamento das vazões hídricas e das estruturas hidráulicas. No presente trabalho escolhemos os usos de maneira a respeitar o caráter quantitativo e qualitativo de cada uso que indica a tendência de como vai ser solicitado o volume disponível de água do reservatório como também, que estes usos já existam na região.

Para o reservatório em estudo foram identificados os seguintes usos:

- Abastecimento humano;
- Irrigação;
- Piscicultura;
- Regularização de vazão;
- Geração de energia elétrica;
- Canal da reversão;
- Pecuária ;
- Industrial.

Todos estes usos foram estabelecidos respeitando os projetos existentes e a legislação vigente no que concerne ao domínio e uso dos recursos hídricos.

#### **5.2.3.1 - Abastecimento Humano**

Foram avaliados para o horizonte de 2029 os requerimentos de água para abastecimento da população para todos os municípios da bacia do Piancó, pois os municípios a montante do reservatório Coremas/Mãe D'água, influirão na vazão afluente ao reservatório, enquanto que os municípios a jusante interferem na vazão defluente.

Com o propósito de se estimar as demandas de água para a população são consideradas duas categorias de consumidores: as populações rurais, dispersas no espaço territorial, e as populações urbanas, concentradas nas cidades e distritos.

Estando fixado o horizonte de planejamento para os anos de 2029 é necessário conhecer-se a população de projeto, ou seja, a população que se espera encontrar nas localidades ao fim de cada período admitido. Com isto, poderá ser feita uma estimativa do consumo de água na época considerada.

Diversos são os métodos aplicáveis para o estudo do crescimento populacional (estatísticos, gráficos e determinísticos). No método matemático, o cálculo da população é feito mediante uma equação matemática definida, cujos parâmetros são obtidos a partir da experiência passada. São muito conhecidos os processos de crescimento aritmético, geométrico e logístico, os quais pressupõem que o aumento da população em

função do tempo obedeça, respectivamente, a uma progressão aritmética, a uma progressão geométrica e à chamada curva logística. No presente trabalho a estimativa da população foi elaborada através do método geométrico.

**Modelo Geométrico:** Este processo funciona na pressuposição de que a cidade está se desenvolvendo segundo uma progressão geométrica.

Conhecendo-se os dados de população  $P_1$  e  $P_2$ , que correspondem aos anos  $T_1$  e  $T_2$ , calcula-se a razão  $r$  de crescimento pela expressão:

$$r = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{T_2 - T_1}} - 1 \quad (5.2)$$

Resulta a previsão da população  $P$ , correspondente à data futura  $t$ :

$$P = P_0 \times (1 + r)^{(t - t_0)} \quad (5.3)$$

Os dados censitários, como mostra a Tabela 5.5, foram obtidos junto à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Devido ao fato de algumas localidades apresentarem falta de dados no período considerado, os mesmos não foram incluídas neste estudo. São elas: São Domingos, São Bento, Cajazeirinha, Pedra Branca, Pelo Sinal, Palmeira e Santa Inês.

Tabela 5.5 – Dados Censitários da População Urbana e Rural de Municípios da bacia do rio Piancó

Município	1970			1980			1991		
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Água Branca	1184	5273	6457	1686	6089	7775	2085	6118	8203
Aguiar	1114	11330	12444	1458	6329	7787	1789	5470	7259
Boa Ventura	1630	5056	6686	1532	3970	5502	2346	3624	5970
Catingueira	1372	3837	5209	1765	4087	5852	2061	3138	5199
Itajubatiba	157	1548	1705	138	1577	1715	162	1294	1456
Conceição	4509	14280	18789	7023	15697	22720	9952	13264	23216
Cardoso	59	1418	1477	122	1677	1799	80	1696	1776
Montevideo	130	1526	1656	100	1701	1801	162	1584	1746
Coremas	4837	7859	12696	5709	7873	13582	8224	6261	14485
Curral Velho	265	2017	2282	356	2153	2509	746	1791	2537
Diamante	1356	3927	5283	2041	4473	6514	2757	4599	7356
Varzante	152	687	839	301	1220	1521	287	771	1058
Emas	347	2308	2655	487	2394	2881	1137	1992	3129
Ibiara	1710	4517	6227	2295	4307	6602	3010	3573	6583
Cachoeirinha	240	820	1060	280	799	1079	212	539	751
Igaracy	1207	4243	5450	2132	3831	5963	2993	2761	5754
Imaculada	838	7587	8425	1461	8662	10123	1840	8383	10223
Itaporanga	6752	10674	17426	8989	9375	18364	11885	7929	19814
Juru	708	7462	8170	1079	8344	9423	2644	7879	10523
Manaira	1102	6594	7696	2546	8053	10599	3356	8019	11375
Nova Olinda	1338	3455	4793	1465	3912	5377	2305	3893	6198
Olho D'água	1313	6555	7868	1439	7832	9271	2220	6889	9109
Pedra Branca	441	3075	3516	656	2515	3171	1514	2052	3566
Piancó	4565	8815	13380	6255	8642	14897	8786	7174	15960
Pombal	11783	24408	36191	15407	24546	39953	22589	16922	39511
Cajazeirinhas	189	2392	2581	439	4911	5350	569	3599	4168
Varz. Comprida	230	3963	4193	173	2538	2711	166	2156	2322
Princesa Isabel	3609	12476	16085	4823	14184	19007	8810	13424	22234
S. de Mangueira	378	4714	5092	531	5684	6215	1144	5357	6501
S. dos Garrotes	1523	7658	9181	1833	7341	9174	2421	5643	8064
S. José de Caiana	363	5644	6007	719	5995	6714	1267	4062	5329
Serra Grande	476	2092	2568	499	2097	2596	1104	1494	2598
Tavares	1595	9239	10834	2587	10624	13211	4015	10327	14342
<b>Total</b>	<b>56315</b>	<b>185095</b>	<b>241410</b>	<b>76773</b>	<b>189009</b>	<b>265782</b>	<b>113000</b>	<b>162038</b>	<b>275038</b>

Fonte: FIBGE, 1993

Tabela 5.6 – Resultado da projeção para os municípios da bacia do rio Piancó

Município	Rurb.	Rrur.	2029		
			Urbana	Rural	Total
Água Branca	0,019	0,0004	4342,9	6219,2	10562,2
Aguilar	0,018	-0,0132	3627,1	3304,8	6931,9
Boa Ventura	0,039	-0,0083	10224,9	2644,7	12869,6
Catingueira	0,014	-0,0237	3521,1	1259,6	4780,8
Itajubatiba	0,015	-0,0176	281,9	653,4	935,3
Conceição	0,032	-0,0152	33180,7	7413,1	40593,9
Cardoso	-0,037	0,0010	18,6	1763,3	1781,9
Montivideo	0,044	-0,0065	857,8	1238,3	2096,0
Correias	0,034	-0,0206	29020,7	2837,5	31858,2
Curral Velho	0,069	-0,0166	9608,3	948,2	10556,5
Diamante	0,028	0,0025	7790,7	5062,2	12853,0
Varzante	0,032	0,0149	8285,1	6716,9	15002,0
Emas	-0,004	-0,0409	243,5	158,0	401,4
Ibiara	0,080	-0,0166	21273,2	1055,6	22328,8
Cachoeirinha	0,025	-0,0168	7661,7	1873,8	9555,5
Igaracy	0,030	-0,0131	8697,0	1837,5	10534,5
Imaculada	-0,025	-0,0352	81,1	138,4	219,4
Itaporanga	0,031	-0,0293	9661,1	890,6	10551,7
Juru	0,021	-0,0030	4081,8	7486,5	11568,3
Manaira	0,026	-0,0151	31188,4	4445,2	35633,6
Nova Olinda	0,065	-0,0052	58486,7	6463,1	64929,8
Olho D'água	0,025	-0,0004	8714,5	7902,6	16617,1
Pedra Branca	0,042	-0,0004	11031,7	3828,1	14859,7
Piancó	0,040	-0,0116	9927,0	4422,6	14349,6
Pombal	0,079	-0,0183	27220,3	1016,1	28236,4
Cajazeirinha	0,031	-0,0168	28415,6	3771,0	32186,6
Varz. Comprida	0,035	0,0332	84716,8	4682,1	89398,0
Princesa Isabel	0,024	-0,0279	1394,0	1229,9	2623,9
S. de Mangueira	-0,004	-0,0147	143,9	1227,2	1371,1
S. dos Garrotes	0,056	-0,0050	70613,5	11098,4	81711,9
S. José de Caiana	0,072	-0,0054	16215,7	4365,4	20581,1
Serra Grande	0,026	-0,0236	6330,2	2274,3	8604,5
Tavares	0,053	-0,0348	8969,3	1058,6	10028,0
Total	1,059	-0,4702	525826,7	111286,4	637113,1

Realizadas as estimativas populacionais e considerando um consumo médio per capita de 150 litros/habitante/dia, valor adotado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA para cidades de pequeno e médio porte, calcula-se o consumo de água total da população de projeto a partir da Equação 5.4.

$$CAB = (q/86400) \times P_n \quad (5.4)$$

Onde: CAB = consumo em l/s;

q = consumo per capita em l/hab/dia;

$P_n$  = população de projeto.

A Tabela 5.7 apresenta os resultados do consumo por município e o consumo total da bacia do Piancó.

Tabela 5.7 – Consumo dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Piancó em l/s.

Município	Ano de 2029		
	Urbana	Rural	Total
Água Branca	7,54	10,80	18,34
Aguiar	6,30	5,74	12,03
Boa Ventura	17,75	4,59	22,34
Catingueira	6,11	2,19	8,30
Itajubatiba	0,49	1,13	1,62
Conceição	57,61	12,87	70,48
Cardoso	0,03	3,06	3,09
Montivideo	1,49	2,15	3,64
Coremas	50,38	4,93	55,31
Curral Velho	16,66	1,65	18,33
Diamante	13,53	8,79	22,31
Varzante	14,38	11,66	26,05
Emas	0,42	0,27	0,70
Ibiara	36,93	1,83	38,77
Cachoeirinha	13,34	3,25	16,59
Igaracy	15,10	3,19	18,29
Imaculada	0,14	0,24	0,38
Itaporanga	16,77	1,55	18,32
Juru	7,09	13,00	20,08
Manaira	54,15	7,72	61,86
Nova Olinda	101,5	11,22	112,73
Olho D'água	15,13	13,72	28,85
Pedra Branca	19,15	6,65	25,80
Piancó	17,23	7,68	24,91
Pombal	47,26	1,76	49,02
Cajazeirinha	49,33	6,55	55,88
Varz. Comprida	147,08	8,13	155,21
Princesa Isabel	2,42	2,14	4,56
S. de Mangueira	0,25	2,13	2,38
S. dos Garrotes	122,59	19,27	141,86
S. José de Caiana	28,15	7,58	35,73
Serra Grande	10,99	3,95	14,94
Tavares	15,57	1,84	17,41
Total	912,89	193,21	1106,10

### 5.2.3.2 – Irrigação

O projeto de qualquer sistema de irrigação requer o conhecimento prévio da quantidade de água a ser fornecida ao conjunto solo-planta para satisfazer as necessidades hídricas das culturas.

Em nosso estudo foram selecionadas dezessete culturas levando-se em consideração o tipo de cultura (as mais adaptadas ao clima regional), o retorno econômico que a mesma proporciona e a forma de manejo. As culturas selecionadas foram:

- Banana;
- Mamão;
- Melancia;
- Melão;
- Graviola;
- Uva;
- Coco;
- Manga;
- Feijão;
- Milho;
- Algodão;
- Arroz;
- Batata Inglesa;
- Cebola;
- Tomate.

A seguir apresenta-se uma breve descrição de algumas características de cada cultura.

#### 5.2.3.2.1 – Culturas selecionadas

**Banana:** a banana (*musa spp.*), uma das frutas mais consumidas no mundo, é explorada na maioria dos países tropicais. A banana é cultivada em quase todos os estados

brasileiros, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior, embora seu plantio sofra restrições, em virtude de fatores climáticos, como temperatura e precipitação.

Temperaturas altas e uniformes são indispensáveis à obtenção de alto rendimento das bananeiras. A temperatura ótima para o desenvolvimento normal das bananas situa-se em torno dos 28°C, com mínimas inferiores a 18°C e máximas não superiores a 34°C (Alves e Oliveira, 1997). Com relação ao suprimento de água, esta fruta possui um consumo alto e constante. As maiores produções ocorrem quando não há deficiência hídrica anual, o que equivale à ausência da estação seca.

**Mamão:** O mamoeiro é uma planta herbácea, tipicamente tropical, cujo centro de origem é muito provavelmente, o noroeste da América do Sul, vertente oriental dos Andes, ou, mais precisamente, a Bacia Amazônica Superior. Por ser uma planta tropical o mamoeiro produz frutos de excelente qualidade em lugares de grande insolação com temperatura entre 22 a 28°C, umidade do ar entre 60 e 80%. O mamoeiro produz bem em áreas altas, mas a altitude indicada é 200m acima do nível do mar. Como em outras culturas os ventos muito fortes são prejudiciais. A chuva (causa natural ou irrigação) deve ser bem distribuída e em boa quantidade, pois a água é exigida tanto no período de crescimento ativo quanto no período de produção. A irrigação no mamoeiro é necessária quando as chuvas são abaixo de 1.200mm ou quando ela é mal distribuída. Para um bom planejamento das irrigações é necessário o conhecimento da umidade do solo, para que a água seja aplicada quando ela é realmente necessária.

**Melancia:** A melancia (*Citrullus vulgaris*) tem sua origem nas zonas áridas da África tropical e subtropical ao sul do Equador. Por ser uma cultura que sobrevive em clima desértico, desde que o solo disponha de água subterrânea a melancia vem demonstrando no decorrer dos anos que é uma boa alternativa econômica para as áreas irrigadas do Nordeste brasileiro devido a semelhança climática com a região de origem, e sua boa aceitação pelos consumidores.

A temperatura onde a melancia adapta-se melhor fica em torno dos 22 e 30°C, necessidade hídrica total para um período de 100 dias variando entre 400 a 600 mm. O tipo de solo ideal, é o de textura franco-arenosa. Os solos de textura pesada devem ser evitados pois torna lento o desenvolvimento da cultura e seus frutos apresentam fissuras.

**Melão:** O melão (*Cucumis melo*, Linneus) é uma hortaliça da família das Cucurbitáceas, provavelmente é originário da Índia. Segundo Murayama (1983) as variedades preferidas e recomendadas são: "Cacas de carvalho", "Valenciano" e Espanho. O clima ideal para esta planta deve apresentar muitas horas de luz solar (mais de 6 horas diárias). A temperatura ideal fica em torno dos 18,5 a 23,8 °C em média, e a atmosfera deve ser relativamente seca.

**Graviola:** a graviola (*Annona muricata* L.), é uma fruta tropical de grande destaque nos mercados frutícolas da América do Sul, América Central e Caribe. A gravioleira é a mais tropical das anonáceas, vegeta muito bem em temperaturas variando de 21°C a 30°C. Altitudes até 1200 m e precipitações superiores a 1000 mm anuais não parecem ser problema para a gravioleira, desde que as chuvas não ocorram durante a frutificação. A geada e as grandes oscilações de temperatura são os fatores climáticos que mais limitam o cultivo da graviola, que não suporta quedas súbitas de temperatura a menos de 12°C. É exatamente na região quente e úmida do semi-árido nordestino do Brasil, e sobretudo com o uso da irrigação que a graviola vegeta e produz muito bem (Pinto e Silva, 1994).

**Uva:** As opiniões dos especialistas sobre o local exato de origem da videira são divergentes. A temperatura ideal para a videira vegetar e produzir o ano todo fica em torno dos 20°C (média mínima) e 31°C (média máxima). As temperaturas altas favorecem a polinização e a fixação dos frutos. A umidade relativa do ar tem uma grande importância no estado fitossanitário da cultura da videira. A videira se desenvolveu muito bem em locais com a umidade relativa do ar baixa (50 a 60%), o que favorece ao menor uso de defensivos, pois, nesse ambiente, não existe um lugar propício para o desenvolvimento dos fungos. Para um bom desenvolvimento da videira é necessário um número de horas de luz solar constante, para que a planta tenha uma boa taxa de fotossíntese. Outro fator importante é o vento, que deve ser suave. Segundo Góis apud Albuquerque (1996), a região semi-árida do Nordeste brasileiro, onde existem várias zonas com precipitação abaixo de 600mm, são áreas potencialmente viáveis para a cultura da videira sob condições de irrigação.

**Coco:** O coqueiro (*Cocos nucifera*) é uma planta perene que pode atingir a idade de 100 anos. O coqueiro tipo anão tem vida mais curta, em média atinge a metade da idade das variedades de porte alto. Em alguns locais do mundo, como em algumas ilhas do Pacífico, o

coco é responsável pela subsistência dos grupos humanos. Nele, esses povos encontram alimento, refresco, bebida, agasalho e abrigo (Murayama, 1973).

A produção mundial de coco já chegou a 10 bilhões de frutos. Desta produção apenas 4 a 5% eram produzidos no hemisfério ocidental. No Brasil, a produção deste fruto restringe-se aos estados localizados ao Norte a partir do Rio de Janeiro. A temperatura ideal para esta cultura fica em torno de 18 a 22°C. A lâmina pluviométrica ideal fica em torno de 1.200 mm bem distribuída durante um período de 100 dias no mínimo. Outro fator climático importante é a insolação, que influencia na evapotranspiração. O coqueiro é uma planta economicamente valiosa, a partir dela podem ser fabricados, cestos, chapéus, esteiras, tecidos, cordoalhas, vassouras, brochas, capachos, escovas, velas, tortas para forragem e adubo.

**Manga:** A mangueira teve sua origem no sul da Ásia, mais precisamente na Índia e no arquipélago Malaio, de onde disseminou para outras partes do mundo. A *Mangifera Indica* L. (mangueira) pertence a família Anacardiaceae, cujos frutos se dividem em dois grupos: o grupo indiano (frutos monoembriônicos, fortemente aromáticos, de coloração atraente e suscetíveis à antracnose) e o grupo indochinês (frutos poliembriônicos, com caroços longos e achatados, pouco aromáticos, geralmente amarelados e mediantemente resistentes à antracnose), (Campbell & Malo apud Cunha et al. 1994). A produção desta fruta, é considerada economicamente viável a partir do terceiro e o quarto ano. Em consequência deste fator deve-se tomar cuidado ao escolher a variedade a ser plantada, para não ter prejuízo. Segundo Cunha et. Al. (1994), a variedade a ser plantada é a que apresenta uma maior produção e um fruto de coloração atraente, de boa palatabilidade e pouca ou nenhuma fibra, além de boa resistência ao manuseio e ao transporte.

A mangueira é uma planta que adapta-se a regiões com estações seca e chuvosa bem definidas, onde a pluviometria pode variar de 500 a 2.500mm anuais. A temperatura recomendável fica entre 20° a 26°C, sendo que temperaturas muito abaixo ou muito acima destes níveis podem prejudicar o crescimento, o desenvolvimento, e a produção da mangueira como também a qualidade do fruto. A umidade relativa do ar deve ser inferior a 60%, pois umidade alta favorece o surto de doenças. Outro fator climático importante é o vento, que em sendo forte e constante, prejudica a planta, pois causa a queda de flores e frutos.

**Feijão:** o feijão é, segundo alguns autores, de origem sul-americana. É uma planta anual herbácea, pertencente à família Leguminosae, e está classificado como *P. vulgaris* L..

Prato predileto dos brasileiros, o feijão tem sua cultura sobre riscos permanentes, como as condições de clima, que determinam safras irregulares, e um armazenamento e distribuição ao consumidor bastantes deficientes, ocasionando sérias oscilações nos preços. A temperatura ideal para a planta se situa entre 10° e 25°C, embora a cultura da leguminosa também possa ser feita em temperaturas acima de 35°C, escolhendo-se variedade adequada sob regime de irrigação. A precipitação ideal para o feijão na época do plantio e do crescimento fica em torno de 100 mm (Campos e Canéchio Filho, 1973).

**Milho:** o milho coloca-se em terceiro lugar dentre os cereais mais cultivados do mundo, sendo superado apenas pelo trigo e arroz. O milho pertence à ordem Gramineae, família Graminaceae. O milho é uma planta que exige, durante o seu ciclo vegetativo, calor e umidade suficientes para produzir satisfatoriamente, propiciando rendimentos compensadores. Pelo grande número de variedades existentes e o aprimoramento dos métodos de melhoramento através da Genética, criando novas variedades e híbridos, esse cereal encontra possibilidade de cultivo em uma larga faixa do globo com grandes variações climáticas, apesar de sua origem tropical.

A temperatura é fator limitante para a cultura do milho, o período de florescimento e maturação é acelerado em temperaturas médias diárias de 26°C e retardado abaixo de 15,5°C. Quanto ao regime pluviométrico, regiões onde a precipitação varia de 250 mm até 5000 mm anuais possibilitam a instalação da cultura do milho (Campos e Canéchio Filho, 1973).

**Algodão:** desde que começou a tomar aspecto de cultura econômica o algodão tem sempre figurado no grupo das atividades que carregam divisas para o Brasil. Graças à obtenção de variedades anuais precoces e à introdução de métodos de cultivos adequados, o algodão é hoje cultivado em uma larga faixa de terra, compreendida entre os paralelos 47 latitude norte e 30 latitude sul. Nesta faixa, desde que apresente uma estação de 180 a 200 dias livre de geadas ou nevascas, com temperatura média acima de 20°C, com dias predominantemente ensolarados, com precipitação pluviométrica de 500 a 1.500 mm anuais e convenientemente distribuída, o algodão pode ser economicamente cultivado. Através da irrigação esta cultura atinge altos níveis de produtividade (Passos et al, 1973).

**Arroz:** o Brasil é o maior produtor americano de arroz. Na escala mundial ocupa o 8° lugar. O arroz pertence à família das Gramíneas, é uma planta exigente de calor, temperatura

constante de 32° C, solo permanentemente saturado. Apesar de suas exigências o arroz é cultivado em uma faixa de grande amplitude, desde as regiões tropicais até as temperadas. No Brasil há condições favoráveis de calor, quanto à umidade, varia, havendo lugares que permitem a cultura de sequeiro, outros, a cultura irrigada (Passos et al, 1973).

**Batata Inglesa:** a batata é uma planta herbácea, dicotiledônia, da família Solonaceae, gênero Solanum. A batatinha, como é conhecida comumente, é uma planta originária da região andina, compreendida entre o Chile, Peru e Bolívia. Exige, para o seu perfeito desenvolvimento, clima adequado. Em condições de clima adverso não chega a ter uma boa produção. Os elementos climáticos que mais influem na cultura da batata, são: temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e luminosidade. Quando a temperatura é elevada, durante o ciclo vegetativo da planta, a produção de tubérculos é pequena. Em relação à pluviosidade, a cultura da batata requer boa distribuição da precipitação. Existe uma correlação direta entre a pluviosidade, e o aumento da produção. Conforme vai chovendo ou se faz irrigação, a produção vai crescendo, até certo ponto, no qual esta relação torna-se inversa (Passos et al, 1973).

**Cebola:** A cebola, botanicamente conhecida como *Allium cepa* L., é originária do centro da Ásia. Para obter uma boa produção a cebola prefere, durante o seu crescimento, tempo fresco e, por ocasião da formação dos bulbos, temperatura mais elevada. A cebola requer também, chuvas bem distribuídas, durante toda a fase de desenvolvimento, e um período seco depois que os bulbos já estão formados.

**Tomate:** Embora não tenha tradição na região, permite até duas safras por ano, além de já propiciar lucro nos dois primeiros anos de projeto e muitos empregos por área plantada.

Estas culturas foram selecionadas em dois grupos: o grupo I composto por culturas frutíferas (banana, melão, melancia, mamão, graviola, uva, manga e coco) e o grupo II composto por culturas variadas (feijão safra, feijão entresafra, milho safra, milho entresafra, algodão, arroz, cebola, tomate e batata inglesa). O objetivo desta separação é verificar dentre estes dois grupos qual é o mais rentável irrigar e qual possibilita a maior geração de empregos.

### 5.2.3.2.2 – Perímetros Irrigados

A região do município de Sousa possui terras com alta aptidão para a prática da agricultura irrigada, pois possui solos profundos, topografia plana, sujeitos a alta insolação, baixa umidade atmosférica e mão de obra disponível. A cidade de Sousa está conectada através de rodovias à grandes centros comerciais como é o caso de Fortaleza, Natal, Mossoró, Campina Grande e João Pessoa e está conectada através de ferrovias à Fortaleza, Campina Grande e ao porto de Cabedelo o qual é atualmente responsável pelo escoamento de parte da produção agrícola da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

Comprovando esta estrutura, o Governo do Estado, com o apoio do Governo Federal, decidiu investir em obras de infra estrutura física, através das quais ocorreria uma exploração agrícola da região. De acordo com levantamento de solos realizados em 13.559,92 ha da área de influência do projeto foi identificado um total de 10.331,92 ha de terras aptas para irrigação. Destes destacam-se 4.880 ha (denominado neste trabalho como perímetro 1) próximo ao município de Sousa, abastecido através de um canal que retira água do Mãe D'água e 1880 ha (perímetro 2) de terras próximas ao reservatório Coremas/Mãe D'água as quais são abastecidas através de bombeamento direto do reservatório (Figura 5.2). O projeto de irrigação das várzeas de Sousa, segundo relatório do Governo do Estado, tem como meta a criação de 15.000 empregos diretos e 30.000 empregos indiretos, produzir cerca de 100.000 toneladas de frutas por ano, proporcionar a obtenção de um valor bruto da produção de 50 milhões de reais por ano, possibilitar a expansão da rede relacionadas aos agronegócios entre outras metas que objetivam o desenvolvimento da região.

### 5.2.3.2.3 – Sistemas de Irrigação

De acordo com a configuração topográfica do terreno, com a natureza do solo, com a espécie cultural e com as características do suprimento líquido, pode-se levar a água ao pé da planta de várias maneiras. De modo geral os sistemas de irrigação podem ser agrupados em três processos ou sistemas de irrigação (Daker, 1970):

***Irrigação por Aspersão:*** A água é distribuída em forma de chuva artificial.

***Irrigação Superficial:*** A água é distribuída na superfície do terreno.

**Irrigação por infiltração:** a água é distribuída por meio de sulcos, umedecendo o resto do terreno por infiltração;

**Irrigação por inundação:** a água é distribuída em toda a superfície do terreno.

**Irrigação Subterrânea:** A água é distribuída ao subsolo, saturando-o de umidade.

Em nosso trabalho adotamos os seguintes dados para os sistemas de irrigação para cada cultura:

Tabela 5.8 - Dados sobre os sistemas de irrigação.

Cultura	Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema de Distribuição
Banana	Gotejamento	0,90	0,9
Mamão	Gotejamento	0,95	0,9
Melancia	Aspersão	0,70	0,9
Melão	Aspersão	0,70	0,9
Graviola	Gotejamento	0,95	0,9
Uva	Aspersão	0,75	0,9
Coco	Gotejamento	0,95	0,9
Manga	Gotejamento	0,95	0,9
Feijão	Aspersão	0,75	0,9
Milho	Aspersão	0,75	0,9
Algodão	Aspersão	0,75	0,9
Arroz	Infiltração (sulcos)	0,40	0,9
Batata Inglesa	Aspersão	0,75	0,9
Cebola	Aspersão	0,75	0,9
Tomate	Aspersão	0,75	0,9

Fonte: Oliveira (1998).

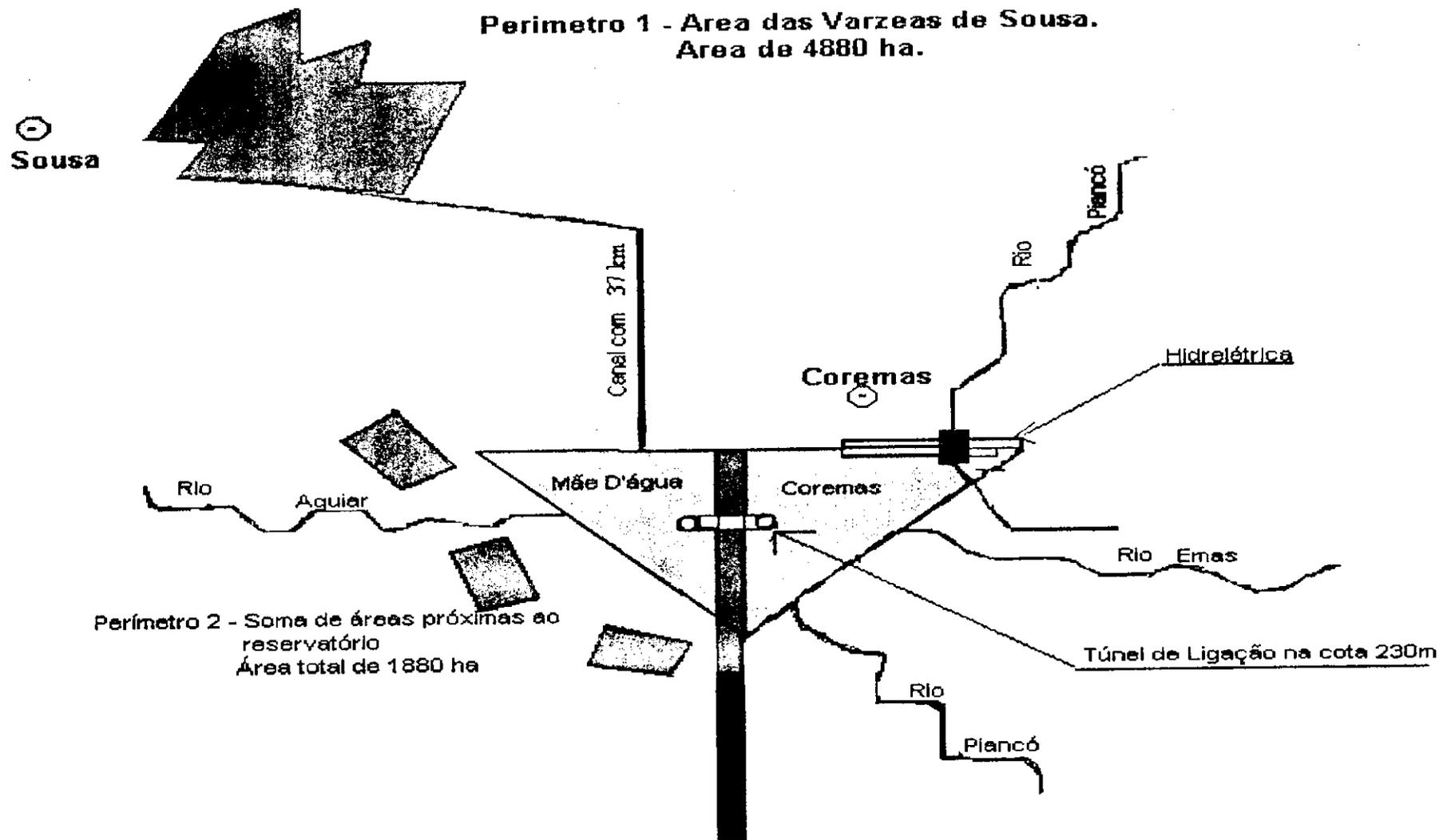


Figura 5.2 – Esquema gráfico dos perímetros irrigados

### 5.2.3.2.4 – Dados Sobre Culturas

O modelo adotado para a otimização da água do sistema Coremas/Mãe D'água leva em consideração outros dados sobre as culturas apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5.9 – Dados sobre as culturas considerados no estudo.

Culturas	Produtividade* Kg/ha	Preço Médio** Unitário \$/kg	Custo Médio de Produção <sup>1</sup> * \$/ha	Trabalho Requerido* homens/dia	Custo do Trabalho* R\$/homens/dia
Banana	40.000	0,13	1260,00	188	5,00
Mamão	15.000	0,39	1608,00	175	5,00
Melancia					
Entressafra	25.000	0,15	1055,00	115	5,00
Melão Safra	15.000	0,30	1485,00	137	5,00
Graviola	7.000	0,80	779,00	97	5,00
Uva	40.000	0,94	7271,00	470	5,00
Coco	40.000	0,25	810,00	100	5,00
Manga	8.000	0,79	1085,00	100	5,00
Feijão Safra	1.800	0,60	656,00	61	5,00
Feijão					
Entressafra	1.800	0,70	656,00	61	5,00
Milho Safra	8.000	0,20	596,00	105	5,00
Milho					
Entressafra	8.000	0,25	596,00	105	5,00
Algodão	3.000	0,75	300,00	155	5,00
Arroz	5.000	0,40	940,00	107	5,00
Batata Inglesa	10.000	0,99	1161,00	85	5,00
Cebola	15.000	0,74	2007,00	211	5,00
Tomate	50.000	0,30	3744,00	252	5,00

Fonte: \* Manual de Orçamentos Agropecuários (1998).

\*\* Ceasa (1999).

<sup>1</sup> O custo médio leva em consideração a mão-de-obra, energia, insumos, etc.

### 5.2.3.3 – Piscicultura

A piscicultura, uma das atividades mais antigas da humanidade, possibilita ao homem extrair de reservatórios, lagos e até dos mares o seu sustento. A piscicultura, quando bem executada, apresenta várias vantagens. Dentre elas podemos citar:

- A possibilidade de ser praticada em áreas impróprias para agricultura;
- Não interferir em muitos usos da água, já que tem um caráter pouco consutivo, possibilitando um melhor aproveitamento hídrico de grandes e pequenos reservatórios;
- Não precisar de nenhuma fonte de energia;
- Para águas salinizadas, é um dos poucos usos tradicionais que possibilitam retorno econômico;
- Funcionamento no período de estiagem.

A região semi-árida do Nordeste brasileiro apresenta ótimas condições de luz e temperatura, elementos fundamentais para um bom desenvolvimento da piscicultura. Aliada a estes fatores, a água deve apresentar valores limites de alguns elementos químicos no ambiente aquático, a seguir, cita-se alguns destes elementos.

- Temperatura: Para o crescimento da fauna aquática, devem prevalecer águas quentes. No manancial em estudo a faixa de temperaturas varia de 25° a 32°C, o que é considerado um ótimo intervalo;
- Oxigênio Dissolvido: é um dos fatores mais limitantes num sistema de produção de peixes e, embora exista em abundância na atmosfera é muito pouco solúvel na água. Estudos efetuados por Boyd e Lichtkoppler (1979) levaram a recomendações de concentrações de OD acima de 5mg/litro para a produção de peixes tropicais;
- Salinidade: a exigência de salinidade varia de acordo com a espécie, a carpa apresenta um limite máximo de salinidade para o crescimento normal de 9,0 ppm, a tilápia tem limite de 24,0 ppm e o tambaqui tem limites de salinidade entre 0,05 e 3,40 ppm. Peixes e crustáceos, em geral, não resistem a mudanças de mais de 10% na salinidade da água em espaços de horas ou minutos;
- Transparência, cor e turbidez da água: A capacidade de penetração de luz na água é definida pela transparência da água, a qual é resultante direta da

turbidez e da cor aparente da água. A turbidez é função direta da quantidade de partículas em suspensão na água, produto direto da cor aparente da água. Para a piscicultura não existe uma turbidez ideal, adotando-se, normalmente, como critério de boa visibilidade o disco de Secchi entre 30 e 50 cm de profundidade. O disco de Secchi é um procedimento no qual mede-se a profundidade em que um disco de 20 cm de diâmetro, com quadrantes coloridos alternadamente em branco e preto, desaparece da visão de um observador que esteja na superfície da água;

#### 5.2.3.3.1 – Espécies Cultivadas

Na escolha das melhores espécies para serem cultivadas nos açudes, deve-se analisar algumas condições referentes ao clima local, à facilidade e ao preço de comercialização, além dos aspectos intrínsecos a espécie, tais como:

- Hábito dos consumidores;
- Valor comercial das espécies cultivadas nos mercados consumidores;
- Resistência à doenças;
- Disponibilidade dos alevinos nas estações de piscicultura.

A adoção de uma só espécie em reservatório não é prática comum, optando-se quase sempre pelo policultivo, devendo este ter compatibilidade entre as espécies cultivadas e atender a diversificação das fontes de alimentos. Experiências nos açudes públicos do DNOCS e estudos realizados por Molle (1992) recomendam as seguintes associações:

- 1) Tambaqui + Curimatã + Tilápia;
- 2) Carpa + Curimatã + Tilápia.

A seguir apresenta-se algumas características destas espécies:

**Tambaqui** ⇒ apresenta difícil reprodução, porém é bastante importante para a piscicultura. Bem alimentado, pode atingir 1 kg em 6 meses. É totalmente onívoro, comendo insetos, grãos, sementes, plâncton, moluscos, frutas, etc.. Apresenta ótima aceitação pelo mercado, sua grande vantagem está em poder ser criado em viveiros com outras espécies;

**Curimatã** ⇒ alimenta-se de material orgânico vivo ou morto depositado no lodo do fundo do açude. Quando dispõe de alimentos suficientes, ela pode alcançar de 400 a 600 gramas em 6 a 8 meses de cultivo. Sua carne contém bastante espinhas e às vezes tem gosto de lama, trata-se de um dos peixes de maior aceitação nos mercados do Nordeste;

**Tilápia** ⇒ tem um crescimento espetacular, com desovas de até 2 em 2 meses, sua alimentação é de vegetais, frutas, farelos, tortas, etc.. Possui uma carne bastante saborosa;

**Carpa** ⇒ Apresenta um crescimento bastante rápido, atinge maturidade sexual em um ano e se propaga com bastante êxito em água parada. Apresenta-se bastante resistente ao déficit de oxigênio. Sua comida natural é zooplâncton e animais bentônicos (minhoca, larvas, etc.).

Com relação a produção de pescado no ano de 1996 no açude Coremas/Mãe D'água, de acordo com dados do DNOCS, a produção de pescado foi de 198,7 toneladas, obtendo um rendimento de 20 kg de pescado por hectare, bem abaixo do valor médio obtido nos açudes públicos que é de 120 kg por hectare

Durante uma visita técnica à região do reservatório Coremas /Mãe D'água verificou-se a existência da COMPESCA, uma cooperativa com 55 pescadores cadastrados. Esta cooperativa é responsável pela produção de 4 toneladas mensais de pescado e 60 toneladas mensais de gelo, os quais atendem a inúmeros mercados consumidores regionais (Fortaleza, Campina Grande, João Pessoa e Coremas). Observou-se, nesta visita, alguns problemas - falta de instruções técnicas quanto a forma e período ideais para a pesca, pesca de peixes em idade não adequada, falta de um órgão que oriente e treine tecnicamente os associados, falta de transporte em câmara frigorífica, o que permitiria o escoamento para cidades mais distantes. Estes problemas devem ser melhorados, possibilitando uma maior produção do pescado.

No modelo foram considerados os seguintes dados, obtidos através do DNOCS e através de pesquisa de mercado.

Custo da Alevinagem (\$/ha/ano) ▷ R\$ 3,00

Produção de Pescado ▷ 120 kg/ha/ano

Preço Médio do Pescado (\$/kg) ▷ R\$ 1,50

Despesa Média anual por Pescador (kg/ano/pescador) ▷ 1.500 kg.

#### 5.2.3.4 – Regularização de Vazão

A regularização da vazão do rio Piancó é feita através da saída da água utilizada na hidrelétrica existente no reservatório Coremas/Mãe D'água (Figuras 5.3 e 5.4), esta pequena hidrelétrica tem uma capacidade de regularização de  $5,45 \text{ m}^3/\text{s}$ . A vazão regularizada através do Coremas abastece também, o Rio Grande do Norte e, hoje, está previsto uma regularização mínima de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

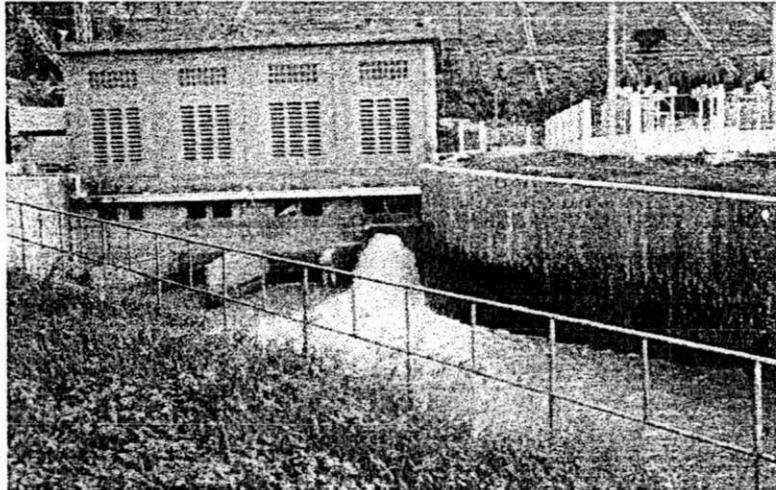


Figura 5.3 – Saída da Hidrelétrica para regularização de vazão do rio Piancó.

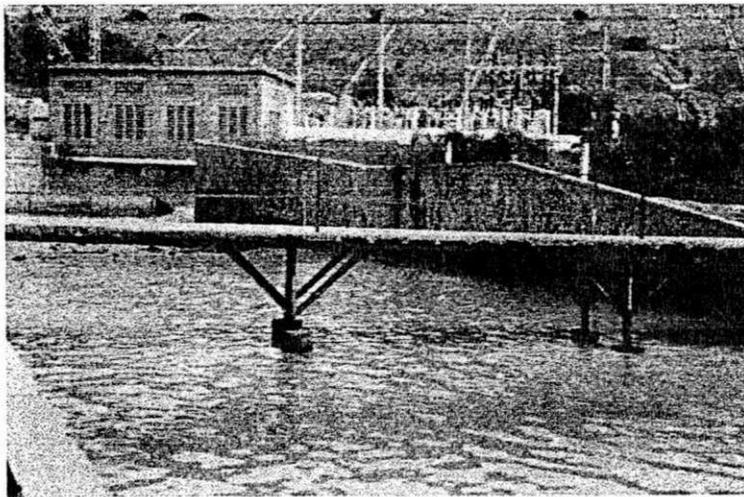


Figura 5.4 – Regularização do rio Piancó.

### 5.2.3.5 – Geração de Energia Elétrica

Encontra-se a jusante do reservatório Coremas (Estevam Marinho) uma usina hidrelétrica (Figura. 5.5 e 5.6), com capacidade instalada de 3,52 MW e vazão mínima de operação de 5,45 m<sup>3</sup>/s. O rendimento do Sistema turbina/gerador é de 61,5%, a cota onde está localizada a casa de máquinas é de 210m e o percentual de perda de carga nos condutos é de 5%. A capacidade do conduto forçado é de 7,4 m<sup>3</sup>/s, o preço de cobrança pelo kwh gerado na usina é de R\$ 0,05. Estes dados foram coletados através de visita a esta usina a qual é de administração da CHESF- Companhia Hidroelétrica do São Francisco.

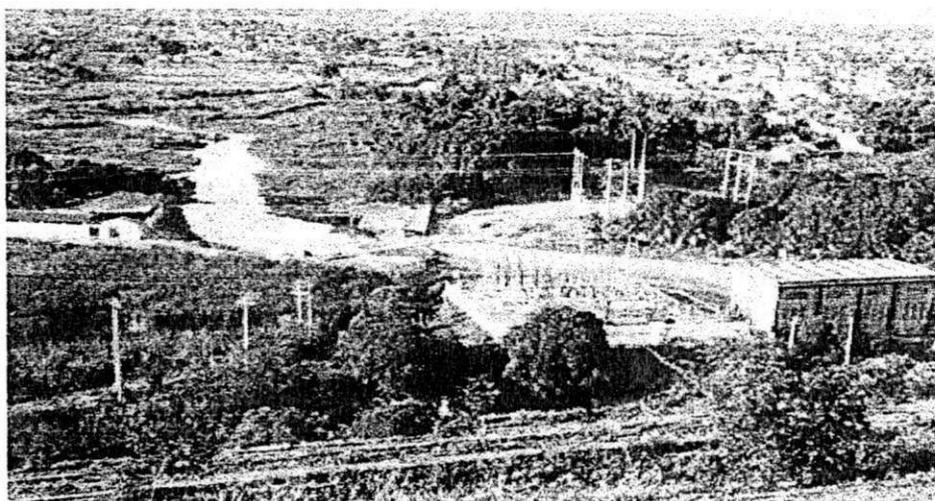


Figura 5.6 – Vista frontal da hidrelétrica de Coremas.

### 5.2.3.6 – Canal da Reversão

O canal da Reversão é uma canal construído pelo Governo do Estado da Paraíba para transportar água do açude Mãe D'água para o perímetro irrigado na área das várzeas de Sousa. O referido canal tem uma capacidade de transporte de 4 m<sup>3</sup>/s.

O canal capta água na cota 230 m, seguindo no sentido norte – sul. Ao pé da Serra da Boa Vista, sua direção muda para leste – oeste até a cidade de Sousa, percorrendo um total de 37 Km. O canal da Reversão chega às Várzeas de Sousa na cota 220 m.

O canal de secção trapezoidal é revestido em concreto simples com juntas de dilatação a cada 30 m e de contração a cada 2,5 m, possui base de 2 m, altura de bordo livre 0,76 m, bermas com comprimento de 1,5 m, taludes internos de 1:1 e taludes externos de 1:1,5.

### 5.2.3.7 – Navegação

Efetivamente, o aproveitamento dos recursos hídricos da Bacia do rio Piancó para a navegação restringe-se ao interior dos açudes de maior porte. Mesmo assim, a movimentação de cargas se limita apenas ao transporte, quase sempre individual de canoas e barcas, não direcionados a fins comerciais.

### 5.2.3.8 – Indústria

Para a estimativa da demanda hídrica para a indústria consideramos a seguinte equação (SCIENTEC, 1996):

$$D_{ai} = P_o \times C_d \quad (5.5)$$

Em que:

$D_{ai}$  = demanda de água na indústria

$P_o$  = número de pessoal ocupado

$C_d$  = coeficiente de demanda de água relacionado ao gênero da indústria

Adotamos para este estudo os coeficientes de demanda mostrados na Tabela 5.10. A Tabela 5.11 mostra, segundo o Cadastro Industrial, o tipo de indústria, o ramo de atividade, pessoal ocupado e consumo para os municípios da bacia do Piancó.

A Tabela 5.11, fornece a evolução das demandas para os anos de 2009, 2019 e 2029, segundo os municípios e distritos.

Tabela 5.10 - Demandas Unitárias Industriais por Ramo de Atividade.

Ramo de atividade	Demanda unitária (l/empresa/dia)
Editorial e gráfica	300
Bebidas	10.000
Borracha	20
Metalúrgica	500
Produtos Alimentares	5.000
Serviço de reparação, manutenção e instalação	200
Têxtil	1.500
Vestuário, artefatos de tecidos de viagem	200
Produtos de material plástico	820
Produtos minerais não metálicos	260
Química	9.800
Serv. Ind. Utilidade pública	200

Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Tabela 5.11 – Tipo de indústria, ramo de atividade, pessoal ocupado e consumo segundo os municípios.

Município	TIPO DE INDÚSTRIA	PESSOAL OCUPADO	CONSUMO INFORMADO
Água Branca			
Aguiar			
Boa Ventura			
Catingucira			
Conceição	Produtos alimentares não informou	2 não informou	16 m3/mês
Coremas			
Curral Velho			
Diamante			
Emas			
Ibiara			
Igaracy			
Imaculada			
Itaporanga	não informou	não informou	49 m3/mês
Juru			
Manáira			
Nova Olinda			
Olho D'água			
Pedra Branca			
Piancó	não informou	não informou	15 m3/mês
Pombal	Química	62	14 m3/dia
	não informou	não informou	11 m3/mês
	não informou	não informou	6 m3/mês
	produtos alimentares	não informou	5 m3/mês
	produtos alimentares	não informou	27 m3/mês
	produtos alimentares	não informou	31 m3/mês
Princesa Isabel	vestuário	não informou	5 m3/mês
	não informou	não informou	16 m3/mês
	mineração	46	
	vestuário	não informou	50 m3/mês
	não informou	não informou	14 m3/mês
Santana de Mangueira			
Santana dos Garrotes			
São José de Caiana			
Serra Grande			
Tavares	produtos alimentares	não informou	4 m3/mês

Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Tabela 5.12 – Evolução da demanda hídrica industrial (l/s) para os municípios que informaram seus dados.

Município	2009	2019	2029
Conceição	0,007	0,009	0,009
Itaporanga	0,022	0,024	0,028
Piancó	0,007	0,009	0,011
Pombal	8,082	8,560	8,623
Princesa Isabel	0,183	0,193	0,223
Tavares	0,004	0,004	0,004
Total	8,305	8,799	8,934

Fonte: PDRH-PB (SCIENTEC, 1996).

Como podemos verificar o aumento no consumo de água para a indústria no horizonte de 2029, pode ser considerado não representativo frente a outros consumos que necessitam de uma maior quantidade de água, como por exemplo irrigação.

## Capítulo VI

### Programação Não Linear

---

## ***PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR***

### **6.1 – Introdução**

Em muitas das situações correntes na prática da engenharia, o projetista é levado à tomada de decisão entre um grande número, às vezes ilimitado, de possíveis soluções para um determinado problema. A escolha é feita de modo a atender às restrições impostas e, entre as que satisfazem tais requisitos, a decisão é tomada com base, geralmente, em relações de benefício e custo.

Em geral, problemas de otimização consistem na seleção, dentre um conjunto de possíveis alternativas, de uma alternativa que seja ótima de acordo com um dado critério, ou seja, o objetivo básico da otimização é encontrar a melhor solução para um determinado problema. A aplicação da otimização é vasta, principalmente quando envolve o fator econômico.

Para problemas simples, com poucas alternativas de solução, a busca da solução ótima é feita, de forma geral, com base na experiência do projetista, o qual escolhe uma solução entre algumas alternativas. Tal processo não torna-se uma maneira viável de solução a medida que a complexidade do problema aumenta. Quando o número de variáveis envolvidas no problema é bem maior e as relações funcionais envolvidas são não lineares torna-se necessário o emprego de uma técnica de otimização para determinar a solução ótima.

Até o ano de 1940 pouco sabia-se sobre técnicas de otimização numérica. Com o advento do computador nesta década surge o método Simplex, o qual tornou-se o método básico da programação linear. O desenvolvimento de técnicas de programação não linear ocorreram com maior destaque na década de 50, com a introdução dos métodos de métrica variável, baseados nos *Métodos Quase Newtonianos*, os quais eram capazes de solucionar problemas de muitas variáveis em pouco tempo (Mateus e Luna, 1986).

## 6.2 – Programação Não Linear

A formulação matemática dos processos físicos que acontecem na prática normalmente é composta por fórmulas e equações de natureza lineares e não lineares. Em tempos passados, quando o emprego de técnicas de otimização se restringia à Programação Linear, principalmente em função da inexistência de computadores potentes, os modelos matemáticos não lineares, que descreviam os processos físicos, eram linearizados por técnicas diversas para possibilitar o uso da Programação Linear. Tal procedimento provocava uma perda de precisão, eventualmente descaracterizando o problema original. Hoje, com os computadores cada vez mais potentes, o número de variáveis para descrever os procedimentos físicos de um problema pode ser cada vez maior, possibilitando a utilização da Programação Não Linear, obtendo soluções cada vez mais precisas para o problema.

A programação não linear é um método de otimização empregado quando o problema inclui ao menos uma função e/ou restrição de natureza não linear. Segundo Saad e Fizzone (1993), a programação não linear difere da programação linear em cinco aspectos:

1. A região factível não está limitada pelo conjunto de pontos extremos;
2. O número de restrições que são exatamente satisfeitas podem ser iguais ao número de variáveis de decisão;
3. Um deslocamento contínuo numa direção uniforme pode não levar a valores continuamente crescentes ou decrescentes da função objetivo;
4. A região factível pode não ser um conjunto convexo;
5. Um ótimo local pode não ser um ótimo global.

Para aplicar a programação não linear em um determinado sistema, deve-se ter o interesse em representá-lo através do desenvolvimento de um modelo, selecionado de acordo com a finalidade, sendo este a síntese da análise de muitas variáveis de decisão. Para isto, o objetivo e as restrições do problema devem ser quantificadas, representadas por equações e inequações. Na otimização, a função que representa o objetivo a ser maximizado (ou minimizado) denomina-se *Função Objetivo*. Esta função objetivo deve satisfazer um conjunto de *Restrições*, as quais determinarão um conjunto de *Soluções Viáveis*. A solução viável que otimiza a função denomina-se *Solução Ótima*.

Cirilo (1997) representa o modelo matemático que define a programação não linear da seguinte forma:

$$\text{Maximizar (ou minimizar) } f(X)$$

Sujeito às restrições

$$\begin{aligned} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &> b_i; \quad i = 1, 2, 3, \dots, k_1 \\ g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &< b_i; \quad i = k_1 + 1, \dots, k_1 + k_2 \\ g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &= b_i; \quad i = k_1 + k_2 + 1, \dots, k_1 + k_2 + k_3 \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$X^{\min.} \leq X \leq X^{\max.} \quad (6.2)$$

Em que:

$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$  é um vetor contendo  $n$  variáveis de decisão, cujos valores ótimos busca-se determinar;

$f(X)$  é a função objetivo, cujo valor pretende-se maximizar ou minimizar;

$g_i(X) > b_i; < b_i; = b_i$ , são denominadas restrições de desigualdade e de igualdade, que devem ser atendidas;

$X^{\min.}$  e  $X^{\max.}$  representam os vetores que contém os valores mínimos e máximos que podem ser assumidos pelas variáveis de decisão.

Para que seja caracterizado como um problema típico de programação Não Linear é necessário que ao menos uma das funções,  $f(X)$  ou  $g_i(X)$  com  $i=1, \dots, k_1+k_2+k_3$ , sejam não lineares, caso contrário tem-se um modelo de programação linear. A programação não linear, da forma como está acima apresentada, chama-se Programação Não Linear Restrita pois apresenta restrições à sua função objetivo, caso contrário, ou seja, quando a função a ser otimizada não apresenta restrições denominamos de Programação Não Linear Irrestrita, ou seja:

$$\text{Maximizar (minimizar) } f(X) \quad (6.3)$$

$$X \in R^n$$

### 6.3 – Conceitos e Teoremas

Apresentaremos aqui alguns conceitos e teoremas que serão necessários para a determinação da solução ótima.

#### *Mínimo Local e Global:*

Para a solução de problemas de programação não linear utilizamos métodos iterativos que geram uma seqüência de pontos, os quais convergirão para um determinado ponto  $X^*$  ótimo, o qual é a solução do problema. Se  $f(X) \geq f(X^*)$  para todo  $X$  na vizinhança de  $X^*$ , diz-se que  $X^*$  é um ponto de Mínimo. Caso  $f(X) > f(X^*)$ , para todo o  $X$  em um intervalo diz-se que  $X^*$  é um Mínimo Global neste intervalo (Figura 6.1).

#### *Máximo Local e Global:*

Um Máximo Local  $X^*$  ocorre se  $f(X) \leq f(X^*)$  para todo o  $X$  na vizinhança de  $X^*$ , enquanto um Máximo Global  $X^*$  em um intervalo ocorre se, para todo  $X$ ,  $f(X) < f(X^*)$  neste intervalo (Figura 6.1).

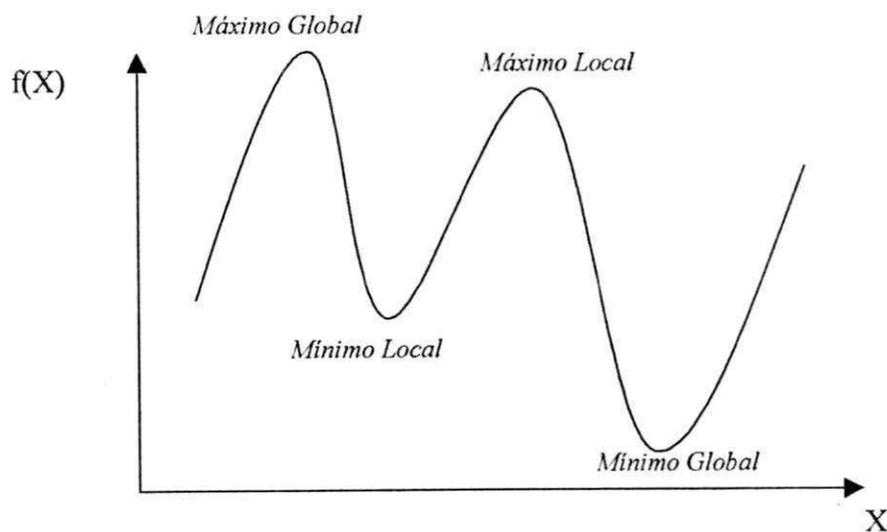


Figura 6.1 – Representação dos máximos e mínimos de uma função

**Vetor Gradiente:** o gradiente de  $f(x_1, \dots, x_n)$  em qualquer ponto  $X$ , é o vetor composto pelas derivadas parciais de primeira ordem, caso elas existam, da função  $f$  em um ponto  $X = (x_1, \dots, x_n)$ , ou seja:

$$\nabla f(X) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{pmatrix} \quad (6.4)$$

O vetor gradiente é de grande importância na programação não linear, pois nos permite uma melhor aproximação do ponto ótimo, já que o mesmo aponta a direção de crescimento da função (Mateus e Luna, 1986).

**Matriz Hessiana:** seja  $f(X)$  continuamente diferenciável de segunda ordem, uma matriz Hessiana é uma matriz quadrada simétrica de derivadas segunda de  $f(X)$ .

$$H(X) = \nabla^2 f(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Seja  $H(X^*)$  o valor da matriz Hessiana em um ponto  $X^*$  e seja  $X \neq 0 \in \mathfrak{R}$  um vetor:

Se  $X^T H X > 0$  diz-se que a matriz Hessiana é dita definida positiva;

Se  $X^T H X \geq 0$  diz-se que a matriz Hessiana é semidefinida positiva;

Se  $X^T H X < 0$  diz-se que a matriz Hessiana é definida negativa;

Se  $X^T H X \leq 0$  diz-se que a matriz Hessiana é semidefinida negativa;

### Convexidade e Concavidade

Os conceitos de convexidade e concavidade nos permitem determinar que um ótimo local também seja um ótimo global.

Diz-se que uma função  $f(X)$  é convexa sobre um conjunto  $\mathfrak{R}$ , se para quaisquer dois pontos  $X_1$  e  $X_2$  pertencentes ao conjunto  $\mathfrak{R}$  teremos:

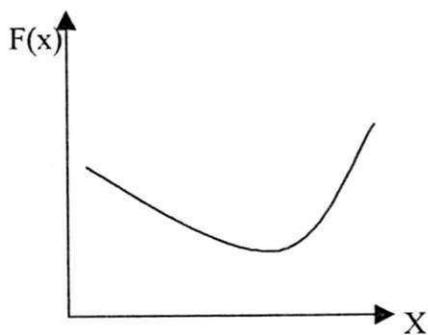
$$f(\lambda X_1 + (1 - \lambda)X_2) \leq \lambda f(X_1) + (1 - \lambda)f(X_2) \quad (6.6)$$

Onde  $\lambda$  é um escalar  $0 \leq \lambda \leq 1$ .

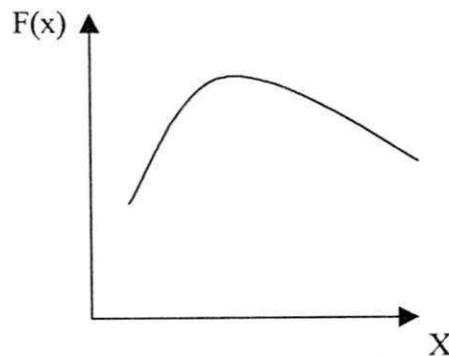
Para que a função seja estritamente convexa faz-se necessário que para todo  $x_1 \neq x_2$  e para todo  $\lambda$  no intervalo  $0 < \lambda < 1$  a equação 6.7 torne-se:

$$f(\lambda X_1 + (1 - \lambda)X_2) < \lambda f(X_1) + (1 - \lambda)f(X_2) \quad (6.7)$$

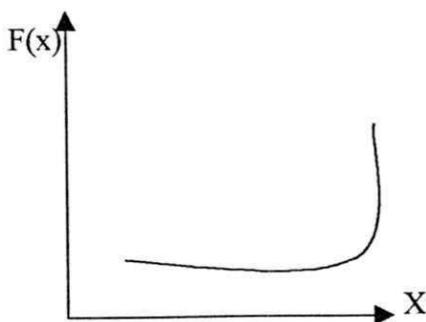
A função será côncava se a função  $-f(X)$  for convexa, ou estritamente côncava se  $-f(X)$  for estritamente convexa (Figura 6.2).



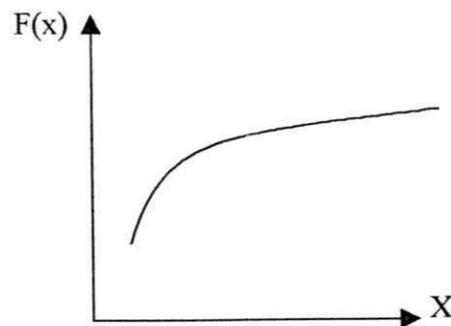
Estritamente Convexa



Estritamente Côncava



Convexa



Côncava

Figura 6.2 – Exemplos de Funções.

Para podermos compreender melhor o problema de programação não linear, precisamos relembrar alguns teoremas do cálculo diferencial (Formiga, 1999).

*Teorema 1:* Se  $f(X)$  é uma função contínua, definida em uma região fechada e limitada, então essa função apresenta um máximo e um mínimo nesta região;

*Teorema 2:* Se  $f(X)$  apresenta um máximo ou mínimo local em  $X^*$ , que não são os pontos extremos do intervalo, e se  $\nabla f(X)$  existe na vizinhança de  $X^*$  então  $\nabla f(X^*) = 0$ ;

*Teorema 3:* Se  $f(X)$  possui derivadas parciais de segunda ordem na vizinhança de  $X^*$  e ainda  $\nabla f(X^*) = 0$ , como também a matriz Hessiana  $H_f(X)$  for definida negativa, então  $f(X)$  possui máximo local em  $X^*$ . Se a  $H_f(X^*)$  for definida positiva então  $f(X)$  possuirá um mínimo local em  $X^*$ .

*Teorema 4:* Se  $f(X)$  possui derivadas parciais de segunda ordem em  $\mathfrak{R}$ ,  $f(X)$  é convexa (ou estritamente convexa) se e somente se uma matriz Hessiana  $H_f(X)$  for semidefinida (ou definida) positiva para todo  $X$  em  $\mathfrak{R}$ .

*Teorema 5:* Se  $f(X)$  é uma função estritamente convexa, definida sobre um conjunto  $\mathfrak{R}$ , então qualquer mínimo local de  $f(X)$  é um mínimo global.

Os teoremas 1 e 2 nos permite concluir que a função contínua assume ótimos nos pontos em que  $\nabla f(X)$  é nulo ou inexistente (Cirilo, 1997). Analisando os teoremas 4 e 5 podemos concluir que teremos um único ponto de máximo e este será um máximo global quando a função é estritamente côncava, ou seja, a matriz Hessiana é positiva definida em todo o intervalo de pesquisa.

#### **6.4 – Classificação da Programação Não Linear**

A classificação da programação não linear está diretamente associada à técnica utilizada para a solução de problemas não lineares. A classificação pode ser feita em:

- Técnicas Analíticas
- Busca Numérica
  - ◆ Busca Unidirecional
    - Reduções sucessivas de Intervalos
    - Métodos Finitos de Aprofundamento
  - ◆ Otimização Irrestrita
    - Com busca através de derivadas
      - ⊖ Método do Gradiente
      - ⊖ Método de Newton – Raphson
      - ⊖ Método das Direções Conjugadas
      - ⊖ Métodos Quase-Newtonianos
    - Com Busca sem o auxílio de Derivadas
      - ⊖ Método de Hook e Jeeves
      - ⊖ Método de Rosenbrock
      - ⊖ Método de Powell
  - ◆ Otimização Restrita
    - Funções de Penalidades
      - ⊖ Método de Barreira
      - ⊖ Método de Pontos Extremos
    - Métodos Primais
      - ⊖ Métodos de Linearização
      - ⊖ Métodos do Gradiente Reduzido

A seguir apresentamos uma breve explicação sobre cada método

#### 6.4.1 - Técnicas Analíticas

Procuram determinar soluções ótimas resolvendo sistemas de equações, com o apoio de derivadas. A otimização é reduzida à procura das raízes desses sistemas. Dentre eles podemos citar o *Método do Cálculo Diferencial*, o *Método dos Multiplicadores de Lagrange* e a *Programação Geométrica* (Cirillo,1997).

## 6.4.2 - Técnicas de Busca Numérica

Esses métodos usam informações passadas, em um processo iterativo, para gerar melhores soluções no processo de otimização. Tais técnicas são mais comuns, de fácil assimilação e mais abrangentes, permitindo a solução de uma gama mais ampla de problemas de otimização (Cirillo,1997). Estes ainda podem ser classificados em: Métodos de Busca Unidirecional, Métodos de Minimização Irrestrita e Métodos de Otimização Restrita

### 6.4.2.1 - Métodos de Busca Unidirecional

Este método busca obter o melhor conjunto de soluções, considerando uma única direção, a partir de um ponto inicial adotado. Os métodos de busca unidirecional se dividem em:

#### 6.4.2.1.1 - Reduções Sucessivas de Intervalos

Estes métodos partem de um intervalo finito  $\Delta$  no qual se atribui que a função seja unimodal no intervalo (uma função é dita unimodal quando possui apenas um ótimo, o qual será global neste intervalo), e reduz-se esse intervalo até a precisão desejada. Tais métodos ainda se dividem em: *Diretos* os quais são aplicados à funções simples, gerando um número maior de interações de baixa complexidade. De acordo com Cirilo (1997) fazem parte dos métodos diretos o *Método de Fibonacci*, *Método de Busca do Meio Termo* e o *Método DSC-Powell*; os de *Aproximação por Polinômios* que exigem funções convexas ou continuamente diferenciáveis de primeira e de segunda ordem. Este tipo de comportamento permitirá o ajustamento de uma outra função cujo mínimo é facilmente encontrado. Estão incluídos neste método o *Método de Newton*, o *Método das secantes*, alguns autores consideram nesta classificação o *Método DSC – Powell* como é o caso de Mateus e Luna (1986).

#### 6.4.2.1.2 - Métodos Finitos ou Aprofundamentos

Os *Métodos de Aprofundamentos* são métodos que exigem, para o ponto de partida, derivadas direcionais sem exigirem convexidade. Podemos citar o *Método de Armijo* e o *Método de Goldstein*.

### 6.5 – Métodos para Problemas de Otimização sem Restrições (ou Irrestritos)

Um método de otimização irrestrita caracteriza-se pela determinação de uma direção, a partir da qual, a cada iteração, a função aproxima-se do ponto de mínimo (ou máximo) desejável. Estes métodos podem utilizar o auxílio de derivadas ou não.

#### 6.5.1 – Métodos de Otimização Irrestrita com Busca Através de Derivadas

##### 6.5.1.1 – Método do Gradiente (Steepest Descent)

O *Método do Gradiente* ou *Método de Máximo Declive* originou-se nos trabalhos do francês Cauchy em 1847. Por tratar-se de um método simples é amplamente utilizado para minimizar uma função de  $n$  variáveis. Do ponto de vista teórico, este método é muito importante. Sua convergência linear global, muitas vezes lenta, permite assegurar que a seqüência por ele gerada tende a um ponto crítico. Sua técnica serve de referência para outros algoritmos, aprimorando as respectivas propriedades de convergência. Utilizando derivadas de primeira ordem, o método baseia-se na determinação da direção do vetor gradiente em um dado ponto, já que o mesmo aponta para a direção de maior crescimento da função. O método procura, num processo iterativo, em cada ponto caminhar na direção oposta a direção do vetor gradiente, convergindo até que o seu gradiente seja considerado desprezível. A amplitude de busca na iteração deve ser reduzida gradativamente a medida que o ponto ótimo se aproxima.

### 6. 5. 1. 2 – Método de Newton - Raphson

O método de *Newton – Raphson* aproxima a função a ser minimizada a uma função quadrática. Aproximações quadráticas (ordem de convergência  $>1$ ), quando longe da solução (ponto ótimo), não são melhores que aproximações lineares (ordem de convergência = 1) devido a não ter um desempenho tão superior que justifique o esforço computacional, entretanto à medida que se aproximam do ponto ótimo são sempre melhores que as aproximações lineares. No método de *Newton – Raphson*, assim como no método do gradiente, o ponto é considerado ótimo, num processo iterativo, se o seu gradiente for considerado desprezível. O método converge sob duas condições: a sua matriz hessiana seja definida positiva, o que garante a direção de descida ou diminuição da função objetivo, e que a hessiana possua inversa. Uma desvantagem deste método ocorre quando trabalhamos com matrizes que possuem um grande número de variáveis, tornando o cálculo da matriz inversa bastante difícil.

### 6. 5. 1. 3 – Método de Direções Conjugadas

Os *Métodos de Direções Conjugadas* foram projetados para melhorar as propriedades de convergência do método do gradiente e, ao mesmo tempo, diminuir o número de cálculos necessários e o armazenamento de matrizes, como no caso do método de *Newton – Raphson*.

Neste método, a aproximação quadrática à função geral é normalmente boa perto do ponto de máximo e, conseqüentemente, as propriedades de convergência são parecidas ao caso quadrático. O *Método de Direções Conjugadas* é extremamente eficiente, quando aplicado a funções quaisquer, e é considerado como o melhor entre os métodos disponíveis para o problema geral de maximização.

### 6. 5. 1. 4 – Métodos Quase - Newtonianos

Também conhecido como *Métodos da Métrica Variável*, este método faz uma aproximação da inversa da matriz hessiana em um processo iterativo finito, utilizando apenas

derivadas de primeira ordem. É um método intermediário entre a rapidez do *Método de Newton* e a simplicidade do *Método do Gradiente*.

### **6. 5. 2 – Métodos de Otimização Irrestrita com Busca Sem o Auxílio de Derivadas**

O método de pesquisa, como é conhecido os métodos que não usam derivadas, apesar de lentos na resolução de problemas simples, podem ser satisfatórios para problemas maiores, visto que evitam erros numéricos ocorridos no cálculo das derivadas (Mateus e Luna, 1986).

#### **6. 5. 2. 1 – Método de Hooke e Jeeves**

Este método, desenvolvido por Hooke e Jeeves (1961), compara o valor da função em pontos padrões utilizando pesquisas exploratórias ou locais, nas direções dos eixos coordenados, e padrões ou globais, para acelerar o processo de otimização (Mateus e Luna, 1986).

#### **6. 5. 2. 2 – Método de Rosenbrock**

Este método, desenvolvido por Rosenbrock (1960), faz, através de saltos em direções linearmente independentes e ortogonais, pesquisas utilizando o método de busca unidimensional. O ponto final de cada direção  $X^k$  é o ponto inicial da direção seguinte,  $X^{k+1}$ .

#### **6. 5. 2. 3 – Método de Powell**

O método de Powell (1964), utiliza o conceito de direções conjugadas geradas a cada iteração. Ao final da iteração  $n$ , o algoritmo de Powell tem gerado  $n$  direções conjugadas, encontrando o máximo da função quadrática após pesquisar, novamente, em cada uma das  $n$  direções.

## 6. 6 – Métodos para a Solução de Problemas de Otimização Restrita

Numericamente, problemas não lineares tornam-se mais difíceis de serem solucionados visto que, além de maximizar a função objetivo, deve-se atender todas as restrições impostas ao problema. Os algoritmos para a resolução da função objetivo, atendendo às restrições, baseiam-se em:

- Conversão do problema restrito em uma seqüência de problemas irrestritos, ou com restrições simples, atribuindo funções de penalidades ao problema;
- Transformação do problema não linear em um problema linear aproximado;
- Utilização de tolerâncias flexíveis para acomodar tanto um conjunto de soluções viáveis como os não viáveis;

A seguir são descritos alguns destes métodos:

### 6. 6. 1 – Funções de Penalidades

O *Método de Penalidades* introduz as restrições na função objetivo penalizando qualquer violação da mesma. Uma função de penalidade deve gerar penalidade positiva para pontos inviáveis e não penalizar pontos viáveis.

#### 6. 6. 1. 1 – Método de Barreira

O *Método de Barreira* (ou de *Penalidade Interna*) proposto por Carrol (1961) transforma um problema restrito em um irrestrito acrescentando à função objetivo penalidades que irão punir a aproximação aos limites da região viável. De acordo com Mateus e Luna (1986), ao se trabalhar dentro da região viável, as penalidades geram barreiras as quais impedirão a saída dessa região, obtendo-se pelo menos uma solução viável, caso ocorra uma intervenção no processo.

### 6. 6. 1. 2 – Método de Pontos Externos

Este método foi proposto inicialmente por Carrol (1962) e adiciona à função objetivo penalidades transformando o problema restrito em um problema irrestrito. Este método difere do método de barreiras por considerar os pontos externos, ou seja, os pontos fora da região factível no decorrer do processo iterativo. O método consiste em atribuir, havendo violação das restrições, um alto valor de penalidade, aproximando os pontos gerados à região viável, minimizando a função objetivo.

### 6. 6. 2 – Métodos Primais

Os *Métodos Primais* são de uma grande importância para a programação não linear, devido à sua aplicabilidade geral, simplicidade e boas condições de convergência, sobretudo no caso de restrições lineares. Este método, proposto originalmente por Zoutendijk (1960), baseia-se na manipulação do gradiente da função objetivo em cada iteração, levando-se em conta as restrições ativas do problema, no ponto em que está sendo trabalhado. O *Método de Direções Viáveis* baseia-se em conceitos extraídos da programação linear, através da linearização de funções, e do emprego do método Simplex.

#### 6. 6. 2. 1 – Métodos de Linearização

O *Método de Linearização* consiste em substituir a resolução de um problema não linear pela resolução de uma seqüência de programas lineares, aproximando ao problema dado. A técnica mais utilizada é a aproximação tangencial. Os *Métodos de Frank e Wolfe* (1956) e o *Método de Robinson* (1972) trabalham com essa metodologia. O primeiro aplica-se a casos em que as restrições são compostas por funções lineares, enquanto o segundo, trabalha, além de funções lineares, com funções não lineares.

#### 6. 6. 2. 2 – Métodos do Gradiente Reduzido

Este método, desenvolvido por Wolfe (1963), é uma extensão direta do *Método Simplex*, da programação linear, aplicado ao caso de uma função objetivo não linear. Primeiro

determina-se o gradiente reduzido, a partir deste ponto o problema é resolvido de modo análogo ao método Simplex, sendo no entanto necessário o cálculo das derivadas da função objetivo, com relação as variáveis dependentes (básicas) e independentes (não básicas), a cada iteração.

O algoritmo usado neste trabalho, que foi desenvolvido por Curi e Curi (1999), utiliza-se o Método de Penalidades, aplicando penalizações para as restrições violadas. A programação não linear é realizada através de uma ferramenta (MATLAB) a qual possui em sua TOOL BOX funções de maximização ou minimização das funções objetivo. Estas funções de maximização são realizadas através do método da Programação Quadrática.

## Capítulo VII

### Modelo de Otimização do Sistema

---

## **MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA**

### **7.1 – Introdução**

Otimizar o uso da água de um reservatório significa, neste caso, encontrar um valor ótimo de alocação para os diversos usos (Abastecimento, Irrigação, Piscicultura, Regularização e Geração de Energia). A otimização do uso da água dos reservatórios Coremas/Mãe D'água não representa uma tarefa fácil pois trata-se de um sistema bastante complexo, que envolve um grande número de variáveis para representar o mesmo.

### **7.2 – O Modelo de Otimização**

O modelo de otimização utilizado neste trabalho foi desenvolvido por Curi e Curi (1999) para a otimização do uso da água dos reservatórios Coremas e Mãe D'água. O modelo dispõe da possibilidade de escolhermos entre várias funções objetivo, quais sejam: maximização da receita líquida oriunda da agricultura irrigada, piscicultura e geração de energia, minimização ou maximização do uso da mão de obra. Pode-se também utilizar conjuntamente todas as funções objetivo, através de um fator de ponderação que impõe maior ou menor peso a cada uma das funções objetivo escolhidas. Este modelo possui relações funcionais não lineares tanto a nível de função objetivo, quanto das restrições, resolvidas numericamente através da programação não linear.

#### **7.2.1 – Formulação Matemática da Função Objetivo.**

##### **7.2.1.1- Objetivos Econômicos - Maximização da Receita Líquida**

$$\text{Max. } \{ \text{alfari} * \text{firl} + \text{alfarp} * \text{fprl} + \text{alfare} * \text{ferl} \} \quad (7.1)$$

Em que:

alfari – função peso para receita líquida da irrigação;

firl – receita líquida advinda da irrigação;

alfarp – função peso para receita líquida da piscicultura;

fpre – receita líquida advinda da piscicultura;

alfare – função peso para receita líquida da geração de energia elétrica;

ferl – receita líquida advinda da geração de energia elétrica.

### 7.2.1.2- Objetivos Sociais – Maximização/Minimização da Mão – de – Obra

$$\text{Max. } \{ \text{alfati} * \text{fitr} + \text{alfatp} * \text{fptr} * 313 \text{ dias} \} \quad (7.2)$$

Em que:

- alfati – função peso para o trabalho gerado com irrigação (alfati>0 maximiza a mão-de-obra; alfati< 0 minimiza a mão-de-obra);

- fitr – número de diárias gerados pela irrigação;

- alfatp – função peso para o trabalho gerado com piscicultura irrigação (alfati>0 maximiza a mão-de-obra; alfati< 0 minimiza a mão-de-obra);

- fptr – número de pescadores gerados pela piscicultura.

## 7.3 – Restrições

As restrições do modelo são compostas de restrições físicas e restrições implícitas.

### 7.3.1 – Compatibilização dos Níveis dos Reservatórios

Na construção do modelo para o sistema em estudo, considerou-se a igualdade de cotas finais entre os dois reservatórios, caso um deles ou ambos estivessem com suas cotas de água acima da cota do fundo do canal de ligação. Para a obtenção dessa igualdade utilizou-se o princípio dos vasos comunicantes, no qual gerou-se quatro casos possíveis (Oliveira, 1998)

e um caso para a situação em que a cota de ambos os reservatórios situem-se abaixo da cota de ligação.

**1º Caso:**  $H_{CO}(t_0) > H_{MA}(t_0) > H_{LIG}$

em que:  $H_{CO}(t_0)$  – Cota de água do Coremas no início de cada um dos meses do ano hidrológicos;

$H_{MA}(t_0)$  – Cota de água do Mãe D'água no início de cada um dos meses do ano hidrológico;

$H_{LIG}$  – Cota do fundo do canal de ligação entre os reservatórios.

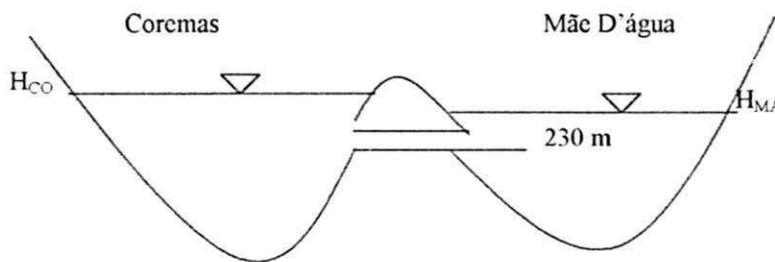


Figura 7.1 – Esquema dos reservatórios para o 1º caso.

**2º Caso:**  $H_{MA}(t_0) > H_{CO}(t_0) > H_{LIG}$

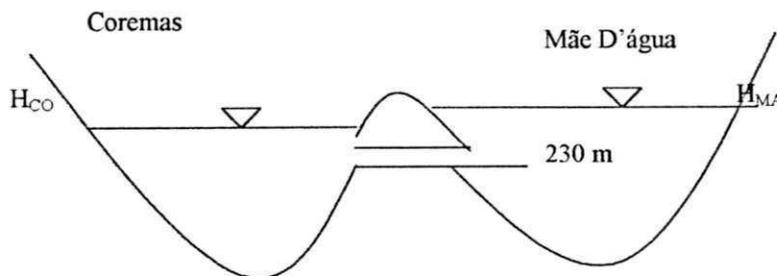


Figura 7.2 – Esquema dos reservatórios para o 2º caso.

**3º Caso:**  $H_{CO}(t_0) > H_{LIG} > H_{MA}(t_0)$

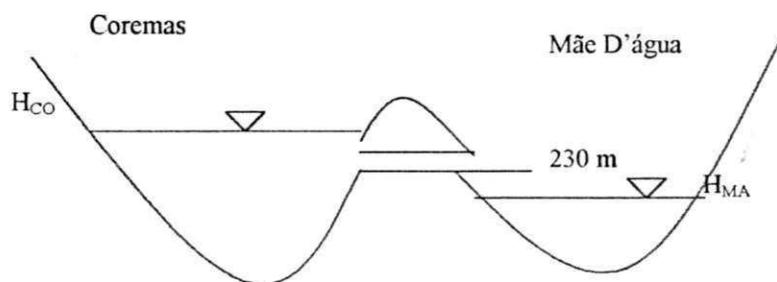


Figura 7.3 – Esquema dos reservatórios para o 3º caso.

**4º Caso:**  $H_{MA}(t_0) > H_{LIG} > H_{CO}(t_0)$

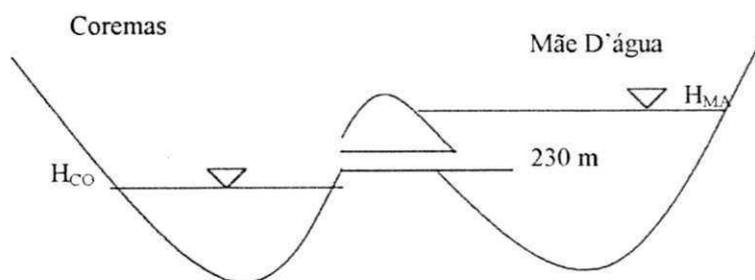


Figura 7.4 – Esquema dos reservatórios para o 4º caso.

**5º Caso:**  $H_{MA}(t_0) < H_{LIG} > H_{CO}(t_0)$

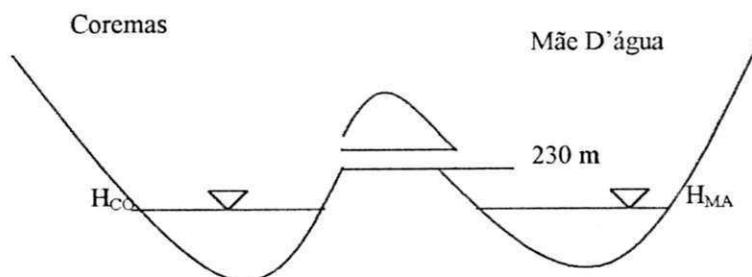


Figura 7.5 – Esquema dos reservatórios para o 5º caso.

Para este caso os reservatórios trabalham separadamente, já que não há passagem de água entre os mesmos.

Em cada uma destas etapas é efetuado um balanço entre os volumes para, a partir deste, transpor o excesso da água ( $\Delta V$ ) de um reservatório para o outro até que se consiga o ajustamento entre as cotas dos reservatórios.

### 7.3.2 – Balanço Hídrico Mensal

O balanço hídrico é efetuado em duas partes, um balanço para o Coremas e outro para o Mãe D'água, pois leva-se em consideração os afluxos em cada reservatório, os quais parte de diferentes fontes. Para o Coremas considera-se as contribuições de Piancó (89% de contribuição total) e Emas (5%), enquanto que para o Mãe D'água considera-se a contribuição de Aguiar (6%)

Para o Coremas teremos:

$$V_{CO}(t_0+1) = V_{CO}(t_0) + Q_{Piancó}(t_0) + Q_{Emas}(t_0) + (P(t_0) - EV(t_0)) \times A_{CO}(t_0) - QD(t_0) - Q_{LIG}(t_0) \quad (7.3)$$

Em que:

$V_{CO}(t_0 + 1)$  – volume de água armazenado no reservatório Coremas no início do intervalo de tempo  $(t_0 + 1)$ ;

$V_{CO}(t_0)$  – volume de água armazenado no reservatório Coremas no início do intervalo de tempo  $(t_0)$ ;

$P(t_0)$  – Pluviometria mensal na bacia hidráulica do sistema Coremas/Mãe D'água no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$EV(t_0)$  – evaporação mensal na bacia hidráulica do sistema no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$A_{CO}(t_0)$  – área de espelho d'água do reservatório Coremas no tempo  $t_0$ ;

$Q_{LIG}$  – é o volume mensal de água transferido entre os reservatórios através do túnel de ligação no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_{Piancó}$  – é o volume de água afluente ao reservatório Coremas através do rio Piancó no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_{Emas}(t_0)$  – é o volume de água afluente ao reservatório Coremas através do rio Emas no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_D(t_0)$  – é o volume defluente no intervalo de tempo  $t_0$ ;

Enquanto que para o Mãe D'água:

$$V_{MA}(t_0+1) = V_{MA}(t_0) + Q_{AGUAR}(t_0) + (P(t_0) - EV(t_0)) \times A_{MA} - Q_{IR}(t_0) + Q_{LIG}(t_0) - Q_S(t_0) \quad (7.4)$$

$V_{MA}(t_0 + 1)$  – volume de água armazenado no reservatório Mãe D'água no início do intervalo de tempo  $(t_0 + 1)$ ;

$V_{MA}(t_0)$  – volume de água armazenado no reservatório Mãe D'água no início do intervalo de tempo  $(t_0)$ ;

$P(t_0)$  – Pluviometria mensal na bacia hidráulica do sistema Coremas/Mãe D'água no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$EV(t_0)$  – evaporação mensal na bacia hidráulica do sistema no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$A_{MA}(t_0)$  – área de espelho d'água do reservatório Coremas no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_{IR}(t_0)$  – é o volume de água liberado para irrigação no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_{LIG}(t_0)$  – é o volume mensal de água transferido entre os reservatórios através do túnel de ligação no intervalo de tempo  $t_0$ ;

$Q_S(t_0)$  – Volume extravasado no intervalo de tempo  $t_0$ ;

### 7.3.3 – Limite de Armazenamento nos Reservatórios

$$Vr_{min_i} \leq Vr \leq Vramx_{ii} \quad (7.5)$$

Sendo  $Vr_{max_i}$  o armazenamento máximo do reservatório permitido no mês  $i$  ( $m^3$ ) e  $Vr_{min_i}$  o armazenamento mínimo do reservatório permitido no mês  $i$  ( $m^3$ ) os armazenamentos do volume mínimo acima da cota de porão e do nível operacional máximo do reservatórios. Considera-se o nível operacional máximo dos reservatório na cota 245 m. O nível mínimo na

cota 217,96 m para o Coremas e 219,60 m para o Mãe D'água. A cota mínima dos reservatórios é de 200 m.

#### **7.3.4 – Capacidade dos Reservatórios**

$$VR = S_{M\acute{A}X} - S_{M\acute{I}N} \quad (7.6)$$

Os reservatórios quando trabalhando em conjunto possuem uma capacidade de 1358,7 milhões de m<sup>3</sup>. Entretanto, o volume útil (VR) para cada reservatório separadamente fica em torno de 698 milhões de m<sup>3</sup> para o Coremas e de 622,700 milhões de m<sup>3</sup> para o Mãe D'água.

#### **7.3.5 – Capacidade da Turbina Geradora de Energia**

A turbina para geração de energia elétrica também é utilizada para regularização do rio Piancó. O sistema de geração de energia tem uma capacidade de vazão turbinada de 7,30 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, havia uma regularização de vazão para o Rio Grande do Norte de 6 m<sup>3</sup>/s mas devido a ocorrência de dois anos consecutivos de escassez hídrica, este valor foi reduzido para 4 m<sup>3</sup>/s. O valor adotado para este trabalho como regularização mínima é de 5m<sup>3</sup>/s.

#### **7.3.6 – Capacidade do Canal**

Este canal, referido no capítulo V, possui uma capacidade de 4 m<sup>3</sup>/s e transporta água para o perímetro irrigado do município de Sousa.

#### **7.3.7 – Área dos Perímetros Irrigados**

O sistema é composto por dois perímetros, o primeiro trata-se do perímetro das várzeas de Sousa com 4880 ha e é abastecido pelo canal enquanto que, o segundo perímetro, trata-se de manchas de solos próximas ao reservatório que juntas possuem 1880 ha sendo abastecidas através de bombeamento direto da água do reservatório.

### 7.3.8 – Garantia de Abastecimento

Um dos usos do reservatório em análise é o abastecimento humano, o qual neste trabalho considerou-se toda a população da bacia do Piancó, como mostra a estimativa de demanda feita no Capítulo V, estimou-se para este uso uma vazão de 0,7314 m<sup>3</sup>/mês.

### 7.3.9 – Equações de Cálculo dos Espelhos D'água dos Reservatórios

Estas equações foram obtidas a partir do ajuste da função à curva cota x área, em que dada uma determinada cota obteríamos a área de espelho d'água para os reservatórios em conjunto e separadamente.

Para o Coremas temos a seguinte equação:

$$A_{CO} = 5,253781 * (H_{CO} - 202)^{2,485718} * 1000 \quad (7.7)$$

Para o Mãe D'água o espelho d'água é calculado através da equação a seguir:

$$A_{MA} = 0,21 * (H_{MA} - 202)^{3,351252} * 1000 \quad (7.8)$$

Em que:

$A_{CO}$  é a área do espelho d'água para o reservatório Coremas;

$A_{MA}$  é a área do espelho d'água para o reservatório Mãe D'água;

$H_{CO}$  é a cota do nível de água do reservatório Coremas;

$H_{MA}$  é a cota do nível de água do reservatório Mãe D'água.

### 7.3.10 – Equações dos Volumes dos Reservatórios

Através do ajuste da função à curva cota x volume, obteve-se as equações que determinam o volume dos reservatórios através de uma cota.

Para o Coremas o volume do reservatório foi calculado através da seguinte fórmula:

$$V_{CO} = 8,90998 * (H_{CO} - 202)^3 * 1000 \quad (7.9)$$

Para o Mãe D'água o volume foi calculado através da fórmula 7.8, mostrada a seguir

$$V_{MA} = 0,2429808 * (H_{MA} - 202)^{3,932144} * 1000 \quad (7.10)$$

Em que:

$V_{CO}$  é o volume do reservatório Coremas;

$H_{CO}$  é a cota do nível de água do Coremas;

$V_{MA}$  é o volume do reservatório Mãe D'água;

$H_{MA}$  é a cota do reservatório Mãe D'água.

### 7.3.11 – Gerenciamento agrônômico e critério de mercado

Uma restrição do modelo são as áreas máximas e mínimas de cada cultura. Através desta restrição se pode estabelecer um valor fixo ou um intervalo de valores de área a ser plantada com uma determinada cultura. A fixação destas áreas para cada uma das culturas torna-se importante pois caso se tenha a necessidade de plantar, por exemplo, apenas 2 ha de coco o modelo não irá alocar uma área maior e nem menor do que este valor, assim como poderemos fixar que a área a ser plantada como o coco deve ser maior que 10 ha e menor que 20 ha.

$$A_{\min_j}(k) \leq A_{c_j}(k) \leq A_{\max_j}(k) \quad (7.11)$$

Em que:

$A_{\min_j}(k)$  - é a área mínima cultivada com a cultura j dentro do k-ésimo lote de irrigação (ha);

$A_{\max_j}(k)$  é a área máxima cultivada com a cultura j (ha).

### 7.3.12 – Disponibilidade de Solo

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^{nc} a_{ij} \cdot Ac_j(k) \leq Atot(k) \quad (7.12)$$

$$Ac_j(k) \geq 0 \quad (7.13)$$

Em que:

$Ac_j(k)$  é a área cultivada com a cultura  $j$  no perímetro  $k$ -ésimo lote de irrigação;

$Atot(k)$  é a área cultivada máxima total no  $k$ -ésimo lote de irrigação (ha),  $a_{ij}=1$  se a cultura  $j$  é cultivada no mês  $i$  e  $a_{ij}=0$  se a cultura  $j$  não é cultivada no mês  $i$ .

### 7.3.13 – Critérios de Operação do Reservatório

$$Vr_{end} \geq Vr_{min_{end}} \quad (7.14)$$

$$Qext_i \leq Qext_{max} \quad (7.15)$$

$$Qd_i \geq 0 \quad (7.16)$$

Em que:

$Vr_{end}$  é o armazenamento do reservatório no último mês de análise ( $m^3$ );

$Vr_{min_{end}}$  é o armazenamento mínimo requerido pelo reservatório no último mês de análise ( $m^3$ );

$Qext_i$  é o extravasamento do reservatório Coremas durante o mês  $i$  ( $m^3/mês$ );

$Qext_{max}$  é a capacidade mensal do extravasador do reservatório ( $m^3/mês$ );

$Qd_i$  é a liberação do reservatório Coremas no mês  $i$  ( $m^3/mês$ ), pelas turbinas.

### 7.3.14 – Restrições do Sistema

$$10 \sum_{j=1}^{nc} NI_{ij}(k) \cdot Ac_j(k) \leq Q_{canal}(k) \quad (7.17)$$

$$Qd_i + Q_{ext_i} \leq Q_{criver} \quad (7.18)$$

$$Qd_i \leq Q_{cturbine} \quad (7.19)$$

Em que:

$NI_{ij}(K)$  é a água para irrigação requerida para cada tipo de cultura  $j$  num mês  $i$ , em mm/mês

$Q_{canal}(k)$  é a capacidade de fluxo ( $m^3/mês$ ) do canal, que conecta o reservatório ao perímetro de irrigação;

$Q_{criver}$  é a capacidade mensal máxima de vazão do rio Piancó (jusante) ( $m^3/mês$ );

$Q_{cturbine}$  é a capacidade de fluxo ( $m^3/mês$ ) do conduto que alimenta as turbinas.

## 7.4 – Fluxograma do Modelo

O modelo utilizado é composto por vários arquivos que trabalham em conjunto. A seguir é apresentado o fluxograma do modelo.

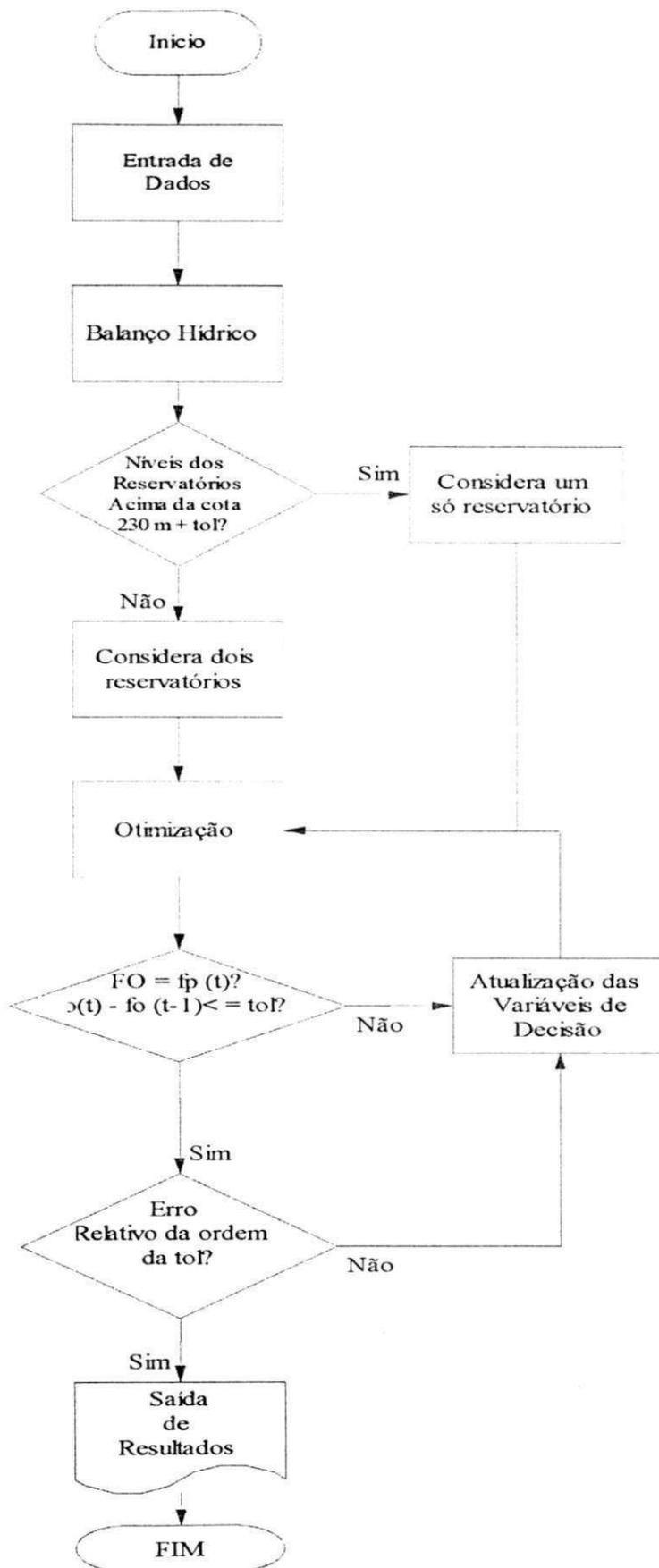


Figura 7.6 – Fluxograma do Modelo.

## 7.5 – Dados de Entrada do Modelo

Os dados de entrada do modelo de otimização utilizado são:

- Número de meses do estudo;
  
- Dados sobre os reservatórios:
  - Volumes afluentes dos contribuintes;
  - Precipitação mensal;
  - Evaporação mensal;
  - Volume necessário para abastecimento;
  - Dados sobre o vertedor (comprimento, cota de soleira do extravasor, lâmina vertente máxima);
  - Capacidade do rio a jusante do reservatório;
  - Cotas do canal de ligação;
  - Cota da entrada de água para a turbina;
  - Volumes iniciais dos reservatórios;
  - Volumes mínimos e máximos mensais dos reservatórios;
  - Garantia de sustentabilidade;
  - Volume de ligação;
  - Volume de regularização do rio Piancó.
  
- Dados sobre a Hidroelétrica
  - Potência máxima instalada;
  - Rendimento do sistema turbina/gerador;
  - Cotas de entrada de água para as turbinas;
  - Percentual de perda de carga nos condutos;
  - Preço de venda do kwh gerado;
  - Capacidade do conduto forçado.
  
- Dados sobre a Piscicultura
  - Custo da alevinagem;
  - Produção do pescado;

- Preço médio do pescado;
  - Despesa média anual por pescador.
- Dados sobre a área irrigada
    - Número de anos;
    - Número de perímetros irrigados;
    - Número de culturas;
    - Produtividade por cultura;
    - Preço médio unitário de comercialização da cultura;
    - Custo de produção da cultura;
    - Trabalho requerido médio por cultura em cada ano;
    - Custo do trabalho para cada tipo de cultura;
    - Distribuição das culturas mensais com os respectivos coeficientes de cultivo, dado o seu estágio de desenvolvimento naquele mês;
    - Taxa anual de desvalorização da moeda;
    - Taxa anual para o retorno do investimento;
    - Taxa anual que reflete a expectativa de aumento da receita que pode ser mais ou menos indicando o aumento ou a diminuição de lucros.
- Dados sobre o sistema de irrigação
    - Eficiência do sistema de distribuição;
    - Eficiência do sistema de aplicação (por cultura);
    - Custo por ha para implantação do sistema de irrigação;
    - Vida útil média do sistema (período de retorno do investimento).
- Dados sobre os Perímetros Irrigados
    - Área total mensal a ser plantada (ha) em cada mês e o limite máximo a ser plantado;
    - Área máxima plantada de cada cultura;
    - Capacidade de adução na área irrigável;
    - Preço da água.

## 7.6 – Saída de Resultados

A saída do modelo é realizada através de arquivo txt., neste arquivo são impressos diversas variáveis entre elas:

- Áreas mensais para cada cultura em cada perímetro;
- Volumes mensais dos reservatórios;
- Cotas mensais dos reservatórios;
- Áreas mensais de espelho d'água;
- Volume mensal para geração de energia elétrica;
- Volume mensal para irrigação;
- Volume mensal extravasado;
- Mão-de-Obra por cultura e por perímetro;
- Mão-de-Obra para a piscicultura;
- Receita líquida gerada com irrigação;
- Receita líquida gerada com piscicultura;
- Receita líquida gerada com a geração de energia elétrica;

Para verificarmos se os resultados obtidos são satisfatórios o modelo nos fornece algumas variáveis tais como:

- Valor da função objetivo;
- Valor da função de penalidades;
- Valor do erro relativo entre as funções

Um bom indicador ocorre quando o valor da função objetivo é igual ao valor da função de penalidades, entretanto isto não é suficiente. Para garantirmos que os resultados obtidos são satisfatórios o erro relativo deve ser zero ou da ordem de  $10^{-4}$ .

## Capítulo VIII

### Descrição dos Cenários Estudados

---

## *DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS*

### **8.1 – Introdução**

Para verificarmos o comportamento do sistema em termos dos valores das funções objetivo assim como os valores das variáveis de decisão, além das demais variáveis que caracterizam o sistema, foram criados diversos cenários. Estes cenários tiveram como base variações hidro-climáticas, tanto em termos de precipitação como de vazões afluentes ao sistema de reservatórios, e variações na variável de estado inicial do problema, que são os volumes iniciais dos reservatórios.

### **8.2 – Cenário Pluviométrico**

Conforme visto no Capítulo III, a série pluviométrica total foi dividida em três séries que caracterizam apenas anos secos, normais e chuvosos. De cada uma dessas séries foi extraído um valor médio para cada mês do ano, caracterizando assim valores mensais representativos de três situações pluviométricas.

- Ano seco;
- Ano Normal;
- Ano Chuvoso;

Cada uma destas situações pluviométrica serviu como entrada/cenário do modelo. O objetivo era verificar como o sistema se comportava quando sujeito a diferentes injunções climáticas.

### **8.3 – Cenário Fluviométrico**

Associado ao cenário pluviométrico, temos o cenário fluviométrico, onde há variações da vazão correspondente, a cada um dos cenários pluviométricos. Por exemplo, as vazões do ano seco são compatíveis com a pluviometria, ou seja, se os valores de pluviometria do ano seco são uma média dos valores de pluviometria da série seca, da mesma forma o são valores de vazões médias mensais de vazão dos anos caracterizados como anos secos.

### **8.4 – Cenário de Variação nos Volumes Iniciais do Reservatório**

Os modelos que simulam o comportamento de um sistema de reservatórios, sujeitos à múltiplos usos, assim como modelos de otimização da operação de reservatórios, principalmente os que tenham como uma de suas restrições o critério de sustentabilidade hídrica, ou seja, que ao final do período estudado as variáveis de estado que são o volume de água armazenada no reservatório tenham valores iguais ou maiores aos valores iniciais, tem seus resultados bastante influenciados pelos valores iniciais das variáveis de estado. Por esta razão testou-se o sistema para três situações, quais sejam:

- Volume Inicial igual a 80% do volume máximo;
- Volume Inicial igual a 60% do volume máximo;
- Volume inicial igual ao volume crítico (cota 230 m).

A partir destas situações para precipitação, vazão e volume criou-se a Tabela 8.1 apresentada a seguir.

Tabela 8.1 – Caracterização dos cenários utilizados no modelo.

Volume Inicial	Condições climatológicas	Culturas
Vol. Inicial = 80% Vol. Máx.	Ano Seco	Grupo I Grupo II
	Ano Normal	Grupo I Grupo II
	Ano Chuvoso	Grupo I Grupo II
Vol. Inicial = 60% Vol. Máx.	Ano Seco	Grupo I Grupo II
	Ano Normal	Grupo I Grupo II
	Ano Chuvoso	Grupo I Grupo II
Vol. Inicial = Vol. Crítico (Cota 230 m).	Ano Seco	Grupo I Grupo II
	Ano Normal	Grupo I Grupo II
	Ano Chuvoso	Grupo I Grupo II

Temos, portanto, um total de 78 cenários testados. Como exemplo de um deles podemos citar um cenário que se caracterize por um volume inicial dos reservatórios de 80% da capacidade máxima dos mesmos, ano seco, culturas do grupo I, com redução de vazão de 40% da vazão afluyente ao sistema de reservatórios.

Estes cenários foram analisados para frutas e para um conjunto de culturas, como foi citado anteriormente no Capítulo V. O objetivo de analisar estas situações é verificar o que é mais rentável para o agricultor plantar, se as frutas ou um conjunto de culturas variadas, como também verificar o comportamento do sistema como um todo para estas duas situações de cenário agrícola.

## Capítulo IX

### Análise dos Resultados

---

## *ANÁLISE DE RESULTADOS*

### **9.1 – Introdução**

As otimizações efetuadas objetivam, mediante cenários, obter a maximização da receita líquida assim como a maximização da mão de obra. A maximização da receita líquida foi realizada para vários cenários climatológicos e condições iniciais das variáveis de estado do problema, enquanto que a maximização da mão de obra foi realizada para o período normal. A caracterização destas situações, permite-nos verificar o limite de atendimento do reservatório às demandas estipuladas para múltiplos usos, para cada uma das funções objetivo.

### **9.2 – Aspectos Gerais da Otimização**

Para efetuarmos o processo de otimização as seguintes situações foram consideradas:

- 1- Foi considerado como período de estudo o ano civil (de janeiro a dezembro);
- 2- Considerou-se a sustentabilidade hídrica do reservatório, ou seja, ao fim do período de estudo o reservatório deve estar com o volume final igual, ou superior, ao volume inicial considerado.
- 3- Caracterizou-se o conjunto de precipitações médias mensais da bacia em anos secos, normais e chuvosos, como descrito no Capítulo III;
- 4- Caracterizou-se o conjunto de vazões médias mensais, assim como a precipitação, em anos secos, normais e chuvosos, como descrito no Capítulo IV;

- 5- Efetuaram-se reduções de vazões afluentes ao sistema, a cada 20% para anos secos e chuvosos e a cada 10% para anos normais, a fim de representar a apropriação de água a montante do reservatório Coremas/ Mãe D'água;
- 6- Realizaram-se variações nos volumes iniciais do sistema: 60% da capacidade máxima, 80% da capacidade máxima e considerou-se como volume crítico o volume de água dos reservatórios na cota 230m;
- 7- Considerou-se uma capacidade máxima para irrigação de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor este que irá atender ao canal para as várzeas de Sousa com  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  e irá atender às terras em volta do reservatório Mãe D'água com  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 8- A vazão demandada para abastecimento humano é de  $0,7314 \text{ m}^3/\text{s}$ . Valor este calculado através do método da projeção geométrica conforme descrito no capítulo V para o ano de 2029;
- 9- A vazão mínima demandada para regularização do rio Piancó é de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  que é um valor intermediário entre a expectativa a ser liberada ( $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), e o atualmente liberado ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Levando-se em consideração o grande volume de resultados obtido, a análise dos mesmos foi realizada de acordo com a seqüência apresentada a seguir:

Função objetivo que maximiza a receita Líquida

Ano seco

Volume inicial de 60% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Volume inicial de 80% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Análise dos resultados entre o volume inicial de 60% e 80% da capacidade máxima.

#### Ano normal

Volume inicial de 60% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Volume inicial de 80% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Análise dos resultados entre o volume inicial de 60% e 80% da capacidade máxima.

#### Ano chuvoso

Volume inicial de 60% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Volume inicial de 80% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada.

Análise dos resultados entre o volume inicial de 60% e 80% da capacidade máxima.

#### Análise dos resultados para ano seco, normal e chuvoso

Volume inicial de 60% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;

Receita Líquida;

Mão de obra gerada;

Vazão para irrigação;

Abastecimento;

Regularização do rio Piancó.

Volume inicial de 80% da capacidade máxima

Áreas irrigadas;  
Receita Líquida;  
Mão de obra gerada;  
Vazão para irrigação;  
Abastecimento;  
Regularização do rio Piancó.

### **9.3 – Resultados e Análises Para a Função Objetivo que Maximiza a Receita Líquida**

Neste item se analisará qual o comportamento da alocação, realizada pelo modelo, das áreas a serem cultivadas com cada cultura do grupo I e II, cultivadas tanto no perímetro de Sousa como nas áreas localizadas nas margens do reservatório, a receita líquida gerada com irrigação, geração de energia elétrica e piscicultura e a mão de obra gerada para cada um destes usos, para cada cenário hidroclimático e para um volume inicial do reservatório de 60% e 80% da capacidade máxima. As Tabelas e Gráficos citados neste capítulo, encontram-se no final do mesmo.

#### **9.3.1 – Ano Seco**

##### **9.3.1.1 – Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima**

###### **9.3.1.1.1 - Áreas Irrigadas**

###### **• Culturas do Grupo I**

Observamos através dos resultados otimizados, apresentados na Tabela 9.2 a 9.4, sumarizadas nos Gráficos 9.1 a 9.12, que para um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima e culturas do grupo I, foi alocada para a uva a área máxima disponibilizada para a mesma. Em segundo lugar o modelo alocou a maior área para a banana, e em terceiro lugar para o melão. Para as margens do reservatório o modelo priorizou a irrigação do melão, uma cultura sazonal, considerada para este trabalho no período de safra.

Em segundo lugar temos a uva, e em terceiro lugar o modelo alocou a maior área para a banana.

#### • Culturas do Grupo II

Para as culturas do grupo II, observamos que há uma maior alocação de área, no perímetro de Sousa, para a batatinha, em segundo lugar encontra-se o algodão, o tomate encontra-se em terceiro lugar. Nas margens do reservatório esta situação não ocorreu, verificamos que para este cenário foi alocada, para o tomate, a área máxima disponível para esta cultura. Em segundo lugar temos a cebola e em terceiro lugar apresenta-se o milho no período de safra.

Podemos observar que para este cenário, houve um melhor aproveitamento da área a ser irrigada com as culturas do grupo I para o perímetro de Sousa (96,36% da área total), já para as culturas do grupo II o melhor aproveitamento foi para as áreas localizadas nas margens do reservatório com 91,53% da área total deste perímetro.

### 9.3.1.1.2 - Receita Líquida

#### - Irrigação

#### • Culturas do Grupo I

As Tabelas 9.8 e 9.9, Gráficos 9.25 a 9.36, apresentam as receitas líquidas geradas com a irrigação. Podemos observar que para as culturas do grupo I que o perímetro de Sousa contribui com 80,35% da receita global (somatório das receitas obtidas com irrigação, piscicultura e geração de energia elétrica, Tabelas 9.14 e 9.15), enquanto que as margens do reservatório contribuem com 15,88 % da receita global.

As áreas cultivadas, no perímetro de Sousa, que geraram a maior receita foram a uva, a banana e o coco. Observa-se que o melão foi a terceira cultura que teve a maior área alocada entretanto, a mesma não gerou a maior receita. Enquanto que o coco, que teve uma área menor que o melão, gerou uma receita maior. As margens do reservatório apresentam como maior receita a área cultivada com a uva, podemos observar que foi alocada para o melão uma área maior que a uva.

### • Culturas do Grupo II

Para o perímetro de Sousa, através da Tabela 9.8 (Gráfico 9.26), observamos que a área cultivada que gerou a maior receita foi o tomate. Sendo esta cultura a que possui a maior receita líquida por hectare entre as culturas do grupo II. Observamos que para o perímetro de Sousa o tomate apresenta-se em terceiro lugar em termos de alocação de área.

Para as margens do reservatório, a área cultivada que apresentou a maior receita foi o tomate. Para este caso o tomate foi a cultura que obteve a maior área a ser irrigada.

Podemos observar que mesmo com uma área menor, algumas culturas podem nos oferecer uma maior receita líquida, caso este que irá depender do valor da receita líquida por hectare destas culturas.

#### - Piscicultura

As Tabelas 9.12 e 9.13 apresentam os resultados obtidos com a piscicultura para os dois grupos de culturas. Podemos observar que quando se utiliza, para o processo de otimização, as culturas do grupo II, há uma maior receita líquida gerada para a piscicultura a qual corresponde a 3,60% da receita global.

#### - Geração de Energia Elétrica

A receita líquida para a geração de energia se manteve constante para todos os cenários de R\$ 1235,00 MIL, correspondente a aproximadamente 1,74% da receita global, gerando uma potência firme, a qual é a potência que está garantida em 100% do tempo, de 24700 Mwh. Como esta receita se manteve constante em todos os cenários não será referida nas próximas descrições dos cenários.

### 9.3.1.1.3 - Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida

#### - Irrigação

De acordo com a conta cultural do banco do Nordeste, para cada cultura faz-se necessário a seguinte mão-de-obra (homens/dia/ha):

Tabela 9.1 – Mão de obra requerida para cada cultura.

Grupo I	Homens-dia/ha	Grupo II	Homens-dia/ha
Banana	188	Feijão safra	61
Mamão	175	Feijão entressafra	61
Melancia	115	Milho safra	105
Melão	137	Milho entressafra	105
Graviola	97	Algodão	155
Uva	470	Arroz	107
Coco	100	Batata Inglesa	85
Manga	100	Cebola	211
		Tomate	252

Fonte: Conta Cultural do Banco do Nordeste, 1997.

Por exemplo cada ha de banana necessita de 188 dias de trabalho de 1 trabalhador.

Haverá uma maior geração de empregos caso seja locada uma maior área, principalmente para o tomate, cebola, uva, banana e algodão que são as culturas que exigem um maior emprego da mão de obra. Entretanto, como o primeiro objetivo deste trabalho é a maximização da receita líquida, o modelo irá alocar uma maior área para as culturas mais rentáveis, desde que haja condições favoráveis para estas culturas.

#### • Culturas do Grupo I

Na Tabela 9.7, Gráfico 9.14, estão apresentadas os resultados obtidos para a mão de obra através da função objetivo que maximiza a receita líquida. Podemos verificar que para o perímetro de Sousa as áreas irrigadas que apresentavam a maior necessidade de mão de obra foram as áreas alocadas para a uva, a banana e o melão. Verificamos que estas mesmas áreas também geraram os maiores requerimento de mão de obra para as áreas localizadas nas margens do reservatório. Observamos que o cultivo da uva, que apresenta-se em segundo

lugar em termos de áreas alocadas para as culturas, contribui com a maior necessidade de mão de obra (470 homens-dia).

#### • **Culturas do Grupo II**

A Tabela 9.6 apresenta os resultados para as culturas do grupo II. No perímetro de Sousa, Tabela 9.6 (Gráfico 9.21) a área cultivada que apresenta a maior necessidade de mão de obra é a área irrigada com o tomate com 201588 diárias, já que esta cultura, entre as culturas deste grupo, é a que apresenta a maior necessidade de mão de obra por hectare (252 homens-dia/ha). Podemos verificar que o algodão, mesmo tendo sido alocada uma área pequena, gerou a terceiro maior requerimento de mão de obra.

Para as margens do reservatório, verificamos que as áreas alocadas para o tomate e a cebola apresentam as maiores necessidades de mão de obra, assim como no perímetro de Sousa. Entretanto, a terceira área cultivada que apresentou o maior requerimento de mão de obra foi a área alocada para o milho, diferente da área que foi alocada no perímetro de Sousa que foi para a cultura do algodão.

#### - **Geração de Energia Elétrica**

Não foi estudada variações na mão de obra com relação ao uso da água para geração de energia elétrica, em virtude da configuração do sistema gerador instalado na micro-usina, que não permitiria grandes variações nos valores assumidos por esta variável tornando-a praticamente fixa.

#### - **Piscicultura**

As Tabelas 9.12 e 9.13 apresentam os resultados obtidos para a piscicultura. Observa-se que houve um aumento na área de espelho d'água, produção, mão de obra e receita líquida oriundas da atividade de piscicultura quando compara-se os resultados onde utiliza-se as culturas do grupo II, em relação às culturas do grupo I. Verificou-se que a taxa de aumento foi de aproximadamente 0,9% para todos os itens (área, produção, mão de obra e receita líquida).

### **9.3.1.2 – Ano Seco Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima**

#### **9.3.1.2.1 - Áreas Irrigadas**

##### **• Culturas do Grupo I**

Observamos na Tabela 9.2 que para um volume inicial igual a 80% da capacidade máxima, o perímetro de Sousa apresenta um aproveitamento de 71,63% (3495,49 ha) da área total para o primeiro semestre e 76,75% (3745,47 ha) para o segundo semestre. Para as margens do reservatório o mesmo comportamento se verifica, ou seja, houve um maior aproveitamento no segundo semestre com 54,10% da área total. Para o grupo I de culturas, no perímetro de Sousa, observamos que para a uva e a manga foram alocadas as áreas máximas. Já para as margens do reservatório a cultura que apresenta uma maior alocação de área é o coco, em segundo lugar encontra-se a graviola.

##### **• Culturas do Grupo II**

Para o grupo II de culturas, perímetro de Sousa, observamos que foi alocada as áreas máximas para a batatinha, o algodão e a cebola. Para as margens do reservatório só o tomate teve sua área máxima alocada. O aproveitamento para este grupo de culturas no perímetro de Sousa foi de 89,05% para o primeiro semestre e de 75,76% para o segundo semestre. Para as margens do reservatório este aproveitamento foi de 71,57% para o primeiro semestre e de 73,76% para o segundo semestre. Observamos que para o perímetro de Sousa o maior aproveitamento ocorreu no primeiro semestre, enquanto que para as margens do reservatório o melhor aproveitamento ocorreu no segundo semestre.

#### **9.3.1.2.2 - Receita Líquida**

##### **- Irrigação**

##### **• Culturas do Grupo I**

Para as culturas deste grupo, observamos nas Tabelas 9.8, Gráfico 9.25 a 9.36, que a receita líquida gerada para o perímetro de Sousa corresponde a 87,07% da receita global. Já as áreas localizadas nas margens do reservatório contribuem com 8,0% da receita global. Para o perímetro de Sousa, a área irrigada que oferece a maior receita é a área da uva,

enquanto que as margens do reservatório a área irrigada com o coco contribui com a maior receita.

- **Culturas do Grupo II**

Para o cenário agrícola composto de culturas do grupo II, o perímetro de Sousa apresenta uma contribuição de 58,77% para a receita global, enquanto que as margens do reservatório esta contribuição é de 33,22% da receita global. Observamos que as culturas do grupo I oferecem uma maior contribuição para a receita global para o perímetro de Sousa, enquanto que para as margens do reservatório a maior contribuição vem das culturas do grupo II. Verificamos que o melhor aproveitamento da área para as culturas do grupo I ocorre para o perímetro de Sousa, enquanto que para as culturas do grupo II as margens do reservatório apresentam um aproveitamento melhor se compararmos com as culturas do grupo I.

- **Piscicultura**

Para este cenário verificou-se, pela Tabela 9.11, que houve um aumento para a área e consequentemente para a produção, mão de obra e receita líquida oriundas da atividade de piscicultura quando compara-se os resultados onde utiliza-se o cenário agrícola composto pelo grupo II de culturas em relação cenário composto pelo grupo I de culturas. Observamos que a taxa de aumento para estes itens foram iguais entre eles e de aproximadamente de 1,16%.

### **9.3.1.2.3 - Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida**

- **Irrigação**

- **Culturas do Grupo I**

Observamos que para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I a área irrigada com a uva apresenta o maior requerimento de mão de obra, em segundo lugar apresenta-se a área irrigada para a manga. Para as margens do reservatório temos a área da banana como a área que apresenta o maior requerimento de mão de obra. Observamos que

para as margens do reservatório a cultura que apresenta a maior área irrigada é o coco, entretanto descrevemos que a banana apresenta a maior necessidade de mão de obra, a Tabela 9 apresenta as necessidades de mão de obra por hectare para cada cultura de acordo com a conta cultural do Banco do Nordeste.

#### • Culturas do Grupo II

Para este grupo temos as áreas alocadas para o tomate e para a cebola como as áreas que apresentam o maior requerimento de mão de obra, para o perímetro de Sousa. Para as margens do reservatório as áreas das culturas que apresentam os maiores necessidades de mão de obra são as áreas do tomate e da batatinha. De acordo com a Conta Cultural do Banco do Nordeste, o tomate e a cebola são as culturas que apresentam a maior necessidade de mão de obra por hectare entre as culturas do grupo II. Observamos que a batatinha apresenta a maior área alocada para o perímetro de Sousa e para as margens do reservatório, entretanto verifica-se que a mesma não apresenta uma maior necessidade de mão de obra. Isto ocorre devido a necessidade de mão de obra por hectare para estas culturas (Tabela 9.1)

#### - Piscicultura

Quando o cenário agrícola está caracterizado com as culturas do grupo II, verifica-se que há um aumento na mão de obra requerida para a piscicultura de 1,16%, quando comparado com o cenário agrícola que utiliza as culturas do grupo I.

### 9.3.1.3 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima

Quando comparamos os resultados em termos de áreas alocadas para as culturas de cada grupo e para cada perímetro, para o ano seco e para os volumes iniciais de 60% e 80% da capacidade máxima, verificamos que:

- 1) Para as culturas do grupo I e para o perímetro de Sousa, houve uma maior alocação de área para Sousa (4702,16 ha) para o volume inicial do reservatório de 60% da capacidade máxima. Observamos que para esta área ocorre a maior receita líquida para este cenário

- 2) A maior alocação de área irrigada, para o grupo I de culturas, na região localizada nas margens do reservatório(1385,56 ha) também ocorre para um volume inicial de 60% da capacidade máxima. Verificamos que também nas margens do reservatório esta área irrigada alocada corresponde a maior receita líquida para este cenário.
- 3) Para o grupo II, perímetro de Sousa, a maior alocação de área irrigada (4745,58 ha) ocorre para um volume inicial do reservatório igual a 80% da capacidade máxima. Entretanto verificamos que a maior receita ocorre para um volume inicial do reservatório de 60% da capacidade máxima.
- 4) Para as margens do reservatório, grupo II, a maior alocação de áreas irrigadas (1720,83 ha) ocorre para um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima. Verificamos que esta área apresenta uma receita 4,5% maior que a receita gerada por irrigação com um volume inicial dos reservatórios igual a 60% da capacidade máxima.
- 5) O modelo alocou a área máxima disponível para a uva pois trata-se da cultura que possui a maior receita líquida por hectare entre as culturas do grupo I. Observamos que o critério de alocação de área para cada cultura varia entre o perímetro de Sousa e as margens do reservatório, isto ocorre pois estes perímetros apresentam diferentes disponibilidades hídricas, tanto quanto a capacidade de adução quanto de precipitação nas áreas irrigadas.
- 6) Podemos verificar que a alocação de áreas para o perímetro de Sousa e para as margens do reservatório diferencia uma da outra, isto ocorre devido à diferença entre as precipitações locais e as disponibilidades hídricas dos perímetros, o de Sousa com 4 m<sup>3</sup>/s e as margens do reservatório com 1 m<sup>3</sup>/s.
- 7) Observa-se uma redução da área irrigada quando comparado com o cenário de volume inicial igual a 60% da capacidade máxima devido a critérios de sustentabilidade hídrica do reservatório.

Portanto para as culturas do grupo I, o critério de sustentabilidade mais adequado e por conseguinte de operação inicial do reservatório, sob o ponto de vista de área cultivada é o de 60% da capacidade máxima. Já para as culturas do grupo II, ocorre uma divergência entre os perímetros, com o de Sousa se adequando mais a 80% do volume inicial e as margens do reservatório a 60% da capacidade máxima.

### **9.3.2 – Ano Normal**

#### **9.3.2.1 – Volume Inicial Igual a 60% da Capacidade Máxima**

##### **9.3.2.1.1 – Áreas Irrigadas**

###### **• Culturas do Grupo I**

Os resultados otimizados mostram a alocação da área máxima da uva no perímetro de Sousa. Para as margens do reservatório o modelo não alocou a área máxima para nenhuma cultura. Verificamos que a cultura que apresenta a maior área alocada para as margens do reservatório, assim como no perímetro de Sousa é a uva. Observamos que para este cenário houve um melhor aproveitamento da melancia para os dois perímetros se compararmos com o cenário anterior. O aproveitamento da área total do perímetro de Sousa foi de 85,46% para o primeiro semestre e de 95,56% para o segundo semestre. Para as margens do reservatório este aproveitamento foi de 68,55% para o primeiro semestre e de 67,66% para o segundo semestre.

###### **• Culturas do Grupo II**

Para este grupo de culturas, verificamos que, para o perímetro de Sousa, houve alocação da área máxima para a batatinha, cebola e tomate. Para as margens do reservatório houve alocação de área máxima para o milho safra e para o tomate. Podemos observar que no perímetro de Sousa houve uma melhor exploração das culturas no período de safra e entressafra, o mesmo não ocorreu para as margens do reservatório que tirou um maior proveito, em termos de alocação de áreas, as culturas no período de safra.

##### **9.3.2.1.2 – Receita Líquida**

###### **- Irrigação**

###### **• Culturas do Grupo I**

Observamos que o perímetro de Sousa para este grupo de culturas no ano normal, contribui com 76,26% da receita global. Já as margens do reservatório contribuem com 20,37% da receita global. As áreas irrigadas, para o perímetro de Sousa, que ofereceram

as maiores receitas foram a áreas com as culturas da uva e do coco, para as margens do reservatório o mesmo ocorre. Verificamos que para o perímetro de Sousa estas também foram as culturas que apresentaram as maiores áreas irrigadas, já para as margens do reservatório houve uma maior alocação de áreas para as culturas da uva, mas a cultura do coco está em quinto lugar em termos de alocação de área.

- **Culturas do Grupo II**

O perímetro de Sousa contribui com 59,10% da receita global para este grupo de culturas. As margens do reservatório contribuem com 34,07%. Observa-se que para o grupo I o aproveitamento, em termos de receita líquida, foi maior para o perímetro de Sousa, as margens do reservatório apresentam um melhor aproveitamento para o grupo II. As áreas alocadas para o tomate e para a batatinha apresentam, para os dois perímetros, as maiores receitas para as culturas do grupo II.

- **Piscicultura**

Observa-se que para a piscicultura houve um aumento de 1,17% na receita líquida quando se utiliza, para o processo de otimização, o cenário agrícola composto por culturas do grupo II em relação aos resultados obtidos quando se otimiza para o cenário agrícola formado por culturas do grupo I. Verificamos que esta mesma taxa corresponde a todos os itens relativos à piscicultura (área de espelho d'água, produção, mão de obra e receita líquida). O cenário agrícola formado por culturas do grupo II geram uma maior receita líquida para uma área de espelho d'água de 75.425 km<sup>2</sup>.

### **9.3.2.1.3 - Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida**

- **Irrigação**

- **Culturas do Grupo I**

Para o perímetro de Sousa, assim como as margens do reservatório, a área irrigada que apresenta a maior necessidade de mão de obra é a área da uva. Em segundo lugar

no perímetro de Sousa apresenta-se a área irrigada com coco, já para as margens do reservatório temos a área do melão em segundo lugar precedido pela área da uva.

- **Culturas do Grupo II**

Para o cenário composto por culturas do grupo II, as áreas que apresentam as maiores necessidades de mão de obra, tanto para o perímetro de Sousa como para as margens do reservatório, são as áreas alocadas para o tomate e para a cebola.

- **Piscicultura**

Para a piscicultura verificamos que ao haver um aumento na área de espelho d'água há um aumento na necessidade de mão de obra. Para um ano normal houve um aumento de 0,95% para o cenário agrícola composto por culturas do grupo II, comparando-as com o cenário agrícola composto por culturas do grupo I.

### **9.3.2.2 – Volume Inicial Igual a 80% da Capacidade Máxima**

#### **9.3.2.2.1 – Áreas Irrigadas**

- **Culturas do Grupo I**

Para este grupo de culturas no perímetro de Sousa alocou-se a área máxima alocada foi para a cultura da uva. Para as margens do reservatório, os resultados otimizados apresentam o melão como a cultura que obteve a sua área máxima alocada.

- **Culturas do Grupo II**

Observamos que para este grupo de cultura, no perímetro de Sousa, o modelo alocou área máxima para a batatinha, cebola e tomate. Para as margens do reservatório o modelo alocou área máxima para o milho no período de safra e para o tomate. Observamos que para este grupo de culturas, nas margens do reservatório não foram alocadas áreas para o feijão entressafra, para o algodão e para o arroz. O mesmo não ocorre para o perímetro de Sousa, como a disponibilidade hídrica para este perímetro é maior,  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , se compararmos com as margens do reservatório,  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , o modelo permite, para o perímetro de Sousa, um maior emprego de áreas para as culturas no período de entressafra.

### **9.3.2.2.2 – Receita Líquida**

#### **- Irrigação**

##### **• Culturas do Grupo I**

As maiores receitas geradas com irrigação das culturas do grupo I ocorrem com o cultivo da uva e da graviola, no perímetro de Sousa e com o cultivo da uva e do melão nas margens do reservatório. Como a cultura da uva apresenta a maior receita líquida por hectare, mesmo apresentando uma área menor que o melão para as margens do reservatório, a área irrigada com a uva apresenta a maior receita para este perímetro.

##### **• Culturas do Grupo II**

Para este grupo de culturas, tanto para o perímetro de Sousa como para as margens do reservatório, os resultados otimizados apresentam as maiores receitas para as áreas irrigadas com tomate, batatinha e cebola.

#### **- Piscicultura**

Para a piscicultura houve um aumento de 28,97% na receita líquida para esta atividade quando se utilizou como cenário agrícola o cultivo de culturas do grupo II, quando comparado com o cultivo de culturas do grupo I.

### **9.3.2.2.3 - Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida.**

#### **- Irrigação**

##### **• Culturas do Grupo I**

As áreas que apresentam as maiores necessidades de mão de obra para os dois perímetros são as áreas cultivadas com a uva, com 1500 ha, para Sousa e 372,31 ha para as margens do reservatório, e o melão, com 799,80 ha para Sousa e 400 ha para as margens do

reservatório. Observa-se que para os dois perímetros estas culturas apresentam as maiores áreas alocadas.

#### • Culturas do Grupo II

As áreas irrigadas que apresentam os maiores requerimentos de mão de obra para os dois perímetros são as áreas alocadas para o tomate e para a cebola (ambas com suas áreas máximas alocadas para os dois perímetros). Para o perímetro de Sousa os resultados apresentam as maiores áreas para as culturas da batatinha e do algodão, respectivamente. Verificamos que a área do algodão apresenta-se em terceiro lugar em termos de necessidade de mão de obra.

#### - Piscicultura

O maior requerimento de mão de obra para a piscicultura ocorre quando se usa o cenário agrícola culturas do grupo II, apresentando um aumento de 28,97% em relação a mão de obra gerada para a piscicultura usando um cenário agrícola de culturas do grupo I. Verificamos que para a mão de obra o aumento ou diminuição da mesma está condicionada ao aumento ou diminuição da área de espelho d'água do reservatório.

#### 9.3.3.2 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima

Ao compararmos os resultados obtidos em termos de áreas alocadas para as culturas dos dois grupos, para o ano normal considerando os volumes iniciais de 60% e de 80% da capacidade máxima, observamos que:

- 1) No perímetro de Sousa, para o grupo I de culturas, houve um melhor aproveitamento das áreas alocadas (4929,36 ha) para um volume inicial de 80% da capacidade máxima. A receita líquida gerada para esta área é 4,96% menor que a maior receita líquida para este perímetro, a qual é gerada para um volume inicial de 60% da capacidade máxima. Vale ressaltar que este valor, superior ao limite do perímetro (4880 ha), deve-se ao fato de que aqui está sendo considerado o somatório das áreas totais de

todas as culturas (safra e entressafra). A receita líquida para esta área é 4,96% menor que a maior receita líquida que ocorre para um ano normal e um volume inicial de 60% da capacidade máxima.

- 2) Para as margens do reservatório a maior alocação de áreas ocorre para um volume inicial de 60% da capacidade máxima. Verifica-se que a receita líquida gerada para este cenário é 13,86% maior que a receita líquida gerada para um volume inicial de 80% da capacidade máxima.
- 3) Para o segundo grupo de culturas no perímetro de Sousa, e margens do reservatório, a maior alocação de área ocorre para um volume igual a 60% da capacidade máxima. Para este grupo de culturas, perímetro de Sousa, a receita líquida gerada para este cenário é 1,5% menor que a receita líquida gerada para um volume inicial de 80% da capacidade máxima. Já para as margens do reservatório observa-se que este comportamento muda. A receita gerada para um volume inicial de 60% da capacidade é 3,06% maior que para um volume inicial de 80% da capacidade máxima.

Logo para as culturas do grupo I o critério de sustentabilidade mais adequado e para operação inicial do reservatório, sob ponto de vista de aproveitamento da área cultivada é o de 80%, já para o segundo grupo de culturas este critério para operação inicial muda, o critério de sustentabilidade mais adequado ocorre para o reservatório com 60% da capacidade máxima.

### **9.3.3 – Ano Chuvoso**

#### **9.3.3.1 – Volume Inicial Igual a 60% da Capacidade Máxima**

##### **9.3.3.1.1 – Áreas Irrigadas**

###### **• Culturas do Grupo I**

Para o ano chuvoso e o reservatório com 80% da capacidade máxima, observamos que, para o perímetro de Sousa, as maiores áreas alocadas foram para a uva (área máxima) e para o coco. Para as margens do reservatório as maiores áreas alocadas foram para

a uva e para a melancia, esta última toda a área disponível. O perímetro de Sousa apresenta um aproveitamento de 84% para o primeiro semestre e de 93,8% para o segundo semestre. O maior aproveitamento no segundo semestre deve-se ao fato da maior alocação de área para a melancia a qual foi considerada, para este trabalho, no período de entressafra. Para as margens do reservatório verificamos um aproveitamento de 47,17% para o primeiro semestre e de 67,65% para o segundo semestre. Para este perímetro ocorre o mesmo comportamento que ocorreu no perímetro de Sousa, houve uma maior alocação de área para a melancia no período de entressafra, daí ocorrer o melhor aproveitamento no segundo semestre.

#### • Culturas do Grupo II

Para o perímetro de Sousa, observamos que houve alocação de áreas máximas para o feijão safra, milho safra, milho entressafra, batatinha, cebola e tomate. Para as margens do reservatório as áreas máximas foram alocadas para o feijão safra, para o milho safra e para o tomate. O aproveitamento do perímetro de Sousa para o primeiro semestre foi de 90,33% da área total, enquanto que para o segundo semestre este aproveitamento foi de 78,15%. Para as margens do reservatório o aproveitamento com as culturas deste grupo foi de 95,54% para o primeiro semestre e de 74,27% para o segundo semestre.

### 9.3.3.2.2 – Receita Líquida

#### - Irrigação

#### • Culturas do Grupo I

Para o perímetro de Sousa, as maiores receitas ocorrem para culturas que apresentaram as maiores áreas, a uva e o coco. Para as margens do reservatório as maiores receitas ocorrem para as áreas da uva e da melancia. Tanto para o perímetro de Sousa como para as margens do reservatório estas culturas correspondem as culturas que foram alocadas as maiores áreas. O perímetro de Sousa contribui com 73,28% para a receita global, e as margens do reservatório contribuem com 23,37% da receita global.

- **Culturas do Grupo II**

A área alocada para o tomate apresenta a maior receita líquida para os dois perímetros. Observa-se que para este grupo de culturas a receita com irrigação para os dois perímetros corresponde à 93,20% da receita global.

- **Piscicultura**

Observa-se que a receita líquida gerada com a piscicultura, ocorre quando se usa o grupo II de culturas como cenário agrícola. Um aumento de 0,64% em relação ao uso do cenário agrícola composto por culturas do grupo I.

### **9.3.3.2.3 - Mão de Obra Gerada com Irrigação, Piscicultura e Energia Elétrica com Critérios de Maximização da Receita Líquida.**

- **Irrigação**

- **Culturas do Grupo I**

Para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I, temos uma maior mão de obra, para o perímetro de Sousa para as áreas alocadas para a uva e para a banana. Observa-se que a banana classifica-se em quinto lugar em termos de alocação de área e apresenta a segunda maior necessidade de mão de obra. Isto ocorre pois a cultura possui uma necessidade, por hectare, de 188 homens-dia. Sendo ultrapassada pela uva que possui uma necessidade de 470 homes-dia/ha. Para as margens do reservatório temos a área da uva e a área da melancia que apresentam as maiores necessidades de mão de obra.

- **Culturas do Grupo II**

Observa-se que, tanto para o perímetro de Sousa como para as margens do reservatório, as áreas que apresentam os maiores requerimentos de mão de obra são as áreas alocadas para o tomate e para a cebola.

#### **- Piscicultura**

A maior necessidade de mão de obra com piscicultura apresenta-se quando se otimiza com o cenário agrícola de culturas do grupo II, já que este grupo é o que fornece a maior área de espelho d'água.

### **9.3.3.2 – Volume Inicial Igual a 80% da Capacidade Máxima**

#### **9.3.3.1.1 – Áreas Irrigadas**

##### **• Culturas do Grupo I**

A cultura cuja área máxima foi alocada no perímetro de Sousa foi a uva enquanto que nas margens do reservatório nenhuma cultura apresentou sua área máxima alocada. Observamos que, para este grupo de culturas, o perímetro de Sousa apresentou um aproveitamento de 95,34% da área máxima para o primeiro semestre e de 83,72% para o segundo semestre. Já para as margens do reservatório este aproveitamento foi de 60,76% para o primeiro semestre e de 45,43% para o segundo semestre. Observa-se que tanto para o perímetro de Sousa como para as margens do reservatório o melhor aproveitamento das áreas ocorreram no primeiro semestre.

##### **• Culturas do Grupo II**

Para este grupo as culturas que tiveram suas áreas máximas alocadas no perímetro de Sousa foram a o feijão no período de safra, a batatinha, a cebola e o tomate. Para as margens do reservatório temos o feijão safra e o tomate com suas áreas máximas alocadas. Observa-se que para o perímetro de Sousa o aproveitamento para as culturas do segundo grupo foi de 96,29% para o primeiro semestre e de 67,65% para o segundo semestre. Para as margens do reservatório temos um aproveitamento de 95,52% para o primeiro semestre e de 74,26 para o segundo semestre.

### **9.3.3.1.2 – Receita Líquida**

#### **- Irrigação**

##### **• Culturas do Grupo I**

Para o perímetro de Sousa e para as margens do reservatório, as maiores receitas ocorrem para as áreas alocadas com a uva e com o coco. A irrigação de áreas no perímetro de Sousa contribuem com 72,65% para a receita global. Enquanto que as margens do reservatório contribuem com 22,63% para a receita global.

##### **• Culturas do Grupo II**

As áreas irrigadas que oferecem as maiores receitas para o perímetro de Sousa são aquelas com o cultivo do tomate e da batatinha. Para as margens do reservatório as áreas alocadas para o tomate e para a cebola apresentam as maiores receitas. Para o grupo II de culturas o perímetro de Sousa contribui com 56,95% da receita global e as margens do reservatório com 33,67% da receita global.

#### **- Piscicultura**

A maior receita líquida gerada pela piscicultura quando se usa um cenário agrícola com culturas do grupo II. Neste caso, este cenário apresenta um aumento de 0,053% na receita líquida com piscicultura em relação a receita líquida da piscicultura gerada quando se utiliza um cenário agrícola com culturas do grupo II.

### **9.3.3.3 – Análise dos Resultados entre o Volume Inicial de 60% e 80% da Capacidade Máxima**

Ao compararmos os resultados obtidos através da otimização, observamos que, em termos de áreas alocadas para as culturas de cada grupo e para cada perímetro, para os volumes iniciais de 60% e 80% da capacidade máxima:

- 1) Para o perímetro de Sousa, e culturas do grupo I, houve uma maior alocação de área para a melancia (período de entressafra) para um volume inicial de 60% da

capacidade máxima. A área alocada para esta cultura oferece uma receita líquida que corresponde a 2,75% da receita líquida gerada para este perímetro.

- 2) Para um volume inicial de 80% da capacidade máxima a cultura sazonal, do grupo I, que apresentou uma maior alocação de área foi o melão no período de safra. Esta área contribui com 3,19% da receita líquida total gerada com irrigação para este perímetro.
- 3) Para as margens do reservatório ocorreu o mesmo comportamento, exploração da área para a melancia no período de entressafra para o volume de 60% da capacidade máxima e maior alocação de área para o melão safra para o volume de 80% da capacidade máxima. Isto ocorre devido ao critério de sustentabilidade hídrica do reservatório. Para garantir que o reservatório termine o período de estudo considerado, com um volume final igual ou superior a 80% da capacidade máxima, há uma maior exigência do sistema no segundo semestre. Para o primeiro semestre há o período de chuvas da região, o que favorece a irrigação do melão nesta época. Para um volume inicial de 60% da capacidade máxima, a exigência para o critério de sustentabilidade é menor, logo há uma maior alocação de área para a melancia no segundo semestre.
- 4) Observou-se que para um ano chuvoso a variação de volume inicial pouco alterou a área total do perímetro. Para o perímetro de Sousa a área total alocada para as culturas do grupo I foi de 4879,99 ha para o volume inicial de 60% da capacidade máxima e de 4878,97 ha para um volume inicial de 80% da capacidade máxima. Para este cenário verifica-se que a receita líquida para um volume inicial de 60% da capacidade máxima é 0,53% maior que para um volume inicial igual a 80% da capacidade máxima.
- 5) Para as margens do reservatório verifica-se que houve uma maior alocação de áreas com as culturas do grupo I, 1286,65 ha, para um volume inicial de 60% da capacidade máxima, enquanto que para um volume inicial de 80% esta alocação foi de 1148,38 ha. O mesmo ocorre com a receita líquida gerada para estas áreas. A receita líquida gerada para um volume inicial correspondente a 60% da capacidade máxima é 2,93% maior que o volume inicial de 80% da capacidade máxima.
- 6) Para as culturas do grupo II e volume inicial de 60% da capacidade máxima do reservatório, o perímetro de Sousa apresenta um melhor aproveitamento, em

termos de alocação da área, para o feijão safra e para o milho safra e entressafra. O mesmo não ocorre para um volume inicial de 80% da capacidade máxima. Verifica-se que a receita líquida gerada para um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima é 76,7% maior que a receita líquida gerada para um volume inicial igual a 80% da capacidade máxima.

- 7) Para as margens do reservatório, o modelo praticamente não alocou área para as culturas no período de entressafra, tanto para um volume inicial de 60% como de 80% da capacidade máxima.

### **9.3.4 – Análise dos Resultados entre Ano seco, Ano Normal e Ano Chuvoso**

#### **9.3.4.1 – Volume Inicial de 60% da capacidade máxima**

##### **9.3.4.1.1-Áreas Irrigadas**

Para as áreas irrigadas observou-se que:

- 1) A medida que o cenário climatológico varia, varia também o aproveitamento das áreas irrigadas para os dois grupos de culturas para os dois perímetros.
- 2) A proporção que temos um cenário com maior precipitação ocorre um melhor aproveitamento das culturas no período de entressafra.
- 3) A uva teve sua área máxima alocada para todos os cenários.
- 4) Dos três cenários hidroclimáticos testados o que proporcionou o maior aproveitamento de área foi o cenário configurado por um ano normal, culturas do grupo II, com um volume igual a 60% da capacidade máxima do reservatório.

### **9.3.4.1.2-Receita Líquida**

#### **- Irrigação**

Para a irrigação observou-se que:

- 1) Como a uva apresenta a maior receita líquida por hectare irrigado, logo foi alocada sua área máxima para todos os cenários.
- 2) A receita total para a irrigação aumenta a medida que o cenário hidroclimático torna-se menos restritivo em termos de disponibilidade hídrica.
- 3) A maior receita líquida, para as culturas do grupo I, para o perímetro de Sousa ocorre para um ano normal, volume inicial igual a 60% da capacidade máxima, R\$ 57884,88 MIL.
- 4) Para as margens do reservatório a maior receita para as culturas do grupo I ocorre para um ano chuvoso, R\$ 18042,49 MIL.
- 5) Para as culturas do grupo II, verifica-se que no perímetro de Sousa há um crescimento da receita a medida que passa de ano seco para normal, e para chuvoso.
- 6) A maior receita gerada para as culturas do grupo II e perímetro de Sousa ocorre para um ano chuvoso, volume inicial igual a 60% da capacidade máxima, R\$ 22416,38 MIL.

#### **- Piscicultura**

Para a piscicultura verificou-se que:

- 1) A receita líquida aumenta a medida que o cenário climatológico favorece ao aumento da área de espelho d'água, já que esta atividade, ao contrário da receita com irrigação que depende de vários fatores, está diretamente ligada ao aumento da área de espelho d'água do reservatório.
- 2) A maior receita para a piscicultura foi obtida quando se usou o cenário agrícola composto por culturas do grupo II, ano chuvoso com volume inicial igual a 80% da capacidade máxima.

#### **- Geração de Energia Elétrica**

A receita líquida para a geração de energia, como descrito anteriormente, se manteve constante para todos os cenários em R\$ 1235,00 MIL, garantindo uma potência firme, a qual é a potência que está garantida em 100% do tempo, de 24700 Mwh.

#### **9.3.4.1.3 – Mão de Obra**

##### **- Irrigação**

Para as culturas do grupo I observa-se que o aumento da mão de obra para os dois perímetros e volume inicial de 60% da capacidade máxima foi de 2,65% entre o ano seco e o ano chuvoso. A maior quantidade de mão de obra gerada foi de 1553442 diárias que ocorre para as culturas do grupo I, ano normal e volume inicial igual a 80% da capacidade máxima, sendo 36,5% superior ao menor valor desta variável que foi de 1137248 diárias e ocorreu para as culturas do grupo I, ano seco, volume inicial de 80% da capacidade máxima.

##### **- Piscicultura**

Para a piscicultura, a diferença de mão de obra entre o ano seco e o ano chuvoso foi de 2,13%, para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I e de 0,35% para o cenário agrícola composto por culturas do grupo II. Observa-se que a maior mão de obra ocorre para o ano chuvoso e cenário agrícola composto por culturas do grupo II.

#### **9.3.4.1.4 – Vazão para Irrigação**

As Tabelas 9.9 e 9.10 (Gráficos 9.35 a 9.46) mostram a liberação mensal de água para irrigação para todos os cenários. Podemos verificar que nos meses de janeiro a junho ocorre uma liberação pequena, chegando a zerar em alguns cenários. Isto ocorre por este período tratar-se do período mais chuvoso da região em estudo. Podemos observar também, que para todos os cenários a vazão destinada para as várzeas de Sousa, atinge os 4 m<sup>3</sup>/s nos meses de setembro a dezembro, para os dois grupos de culturas com exceção das culturas do grupo II,

ano seco e normal com volume inicial igual a 60% da capacidade máxima. Para as áreas localizadas nas margens do açude a disponibilidade hídrica de 1 m<sup>3</sup>/s é alcançada nos meses de setembro e novembro, para os dois grupos de culturas.

Analisando as Figuras 9.37, 9.39, 9.41, 9.43, 9.45 e 9.47, todas para culturas do grupo I, observa-se que o comportamento foi bastante similar entre eles, onde nos anos secos e normais, para o mês de março praticamente não houve necessidade de apropriação hídrica do canal e atingindo a apropriação máxima a partir de setembro. Para o ano chuvoso, observou-se um maior intervalo de meses, de fevereiro a abril, sem apropriação hídrica no canal.

Analisando as Figuras 9.38, 9.40, 9.42, 9.44, 9.46 e 9.48 para as culturas do grupo II, observou-se para os cenários de anos secos e normal, uma queda na apropriação hídrica do canal entre os meses de junho e julho, que não ocorre no ano chuvoso nem com as culturas do grupo I. Isto pode ser explicado, provavelmente, como consequência do plano cultural.

#### **9.3.4.1.5 – Abastecimento**

Foi garantida para todos os cenários um abastecimento de 0.731 m<sup>3</sup>/s para toda a bacia do rio Piancó, tanto para uso urbano como rural.

#### **9.3.4.1.6 – Regularização do rio Piancó**

Podemos observar, através da Tabela 9.16 (Gráficos 9.49 a 9.60) para ano seco e reservatório com 60% do volume máximo a variação nas vazões liberadas é um pouco menor, como uso de culturas do grupo I (de 5.000 m<sup>3</sup>/s a 5.531 m<sup>3</sup>/s), do que com o uso de culturas do grupo II, para o qual a vazão mínima liberada é de 5.000 m<sup>3</sup>/s e máxima é de 6.903 m<sup>3</sup>/s.

Para o volume inicial igual ao volume crítico, o sistema não atende os usos estipulados entrando, portanto, em colapso. Para reduções de vazão iguais ou superiores a 20% da vazão total afluente, nas condições consideradas neste trabalho, o sistema não atende as demandas estimadas para múltiplos usos.

Tabela 9.16 – Vazões destinadas a Geração de Energia e Regularização.

Meses		Vazões Mensais para Regularização (m <sup>3</sup> /s)					
		Coremas					
		ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
GRUPO I	Janeiro	5,531	5,479	6,498	6,313	6,236	7,395
	Fevereiro	5,109	5,187	7,400	6,354	7,400	7,297
	Março	5,000	5,003	6,092	6,385	6,700	7,255
	Abril	5,005	5,357	6,966	5,000	6,183	7,365
	Maio	5,168	5,001	7,400	5,437	6,581	7,264
	Junho	5,001	5,000	7,400	5,037	7,157	6,000
	Julho	5,050	5,008	7,311	5,000	6,978	7,282
	Agosto	5,067	5,013	7,400	5,561	6,638	6,282
	Setembro	5,069	5,133	6,383	5,020	7,371	6,043
	Outubro	5,105	5,296	6,044	5,402	7,357	6,060
	Novembro	5,001	5,221	6,132	5,242	7,400	6,131
	Dezembro	5,000	5,030	6,299	5,008	7,108	6,289
GRUPO II	Janeiro	5,873	6,044	6,390	6,340	6,407	7,386
	Fevereiro	5,052	5,634	6,020	6,001	6,003	7,400
	Março	5,000	5,553	6,055	6,655	6,059	7,218
	Abril	5,094	5,870	6,024	6,252	7,223	6,092
	Maio	6,763	5,360	5,155	6,020	6,686	6,598
	Junho	5,689	5,450	5,000	6,397	6,201	5,022
	Julho	6,903	5,385	6,232	6,847	7,392	6,675
	Agosto	5,026	5,888	6,278	6,006	6,071	6,842
	Setembro	5,326	5,203	6,391	6,315	7,356	5,609
	Outubro	5,000	5,000	6,613	6,280	7,082	5,333
	Novembro	6,141	5,122	6,139	6,167	7,381	6,181
	Dezembro	5,246	5,023	6,360	6,033	6,141	6,387

#### 9.3.4.2 – Volume Inicial de 80% da Capacidade Máxima

##### 9.3.4.2.1-Áreas Irrigadas

Observa-se que para um volume inicial de 80% da capacidade máxima, para o perímetro de Sousa, grupo I e grupo II de culturas, o melhor aproveitamento em termos de maior área alocada ocorre para o ano normal. Verifica-se que, para o grupo I de culturas, a

menor área foi 19,09% menor que a maior área. Para as margens do reservatório o mesmo comportamento se verifica sendo a menor área 21,08% menor que a maior área alocada.

Para o grupo II, perímetro de Sousa, a menor área alocada para irrigação, 4700,91 ha, ocorre para o ano chuvoso, enquanto que a maior, 5055,52 ha, ocorre para o ano normal. Para as margens do reservatório verificamos que a menor área alocada ocorre para um ano seco, 1401,02 ha, enquanto que a maior área alocada ocorre para o ano chuvoso, 1795,80 ha.

#### **9.3.4.2.2-Receita Líquida**

##### **- Irrigação**

Verifica-se para a irrigação:

- 1) Para as culturas do grupo I a maior receita ocorre para o ano normal, a qual representa 95,28% da receita global.
- 2) A maior receita líquida para o grupo I, é 23,20% superior a menor receita que ocorre para o ano seco.
- 3) O mesmo ocorre para as culturas do grupo II sendo, para este grupo, a diferença entre a maior é de 3,98%.
- 4) A diferença entre as receitas é maior para o grupo I de culturas.

##### **- Piscicultura**

Para a piscicultura verificamos:

- 1) O uso do cenário agrícola com as culturas do grupo I, fornece a maior receita com a piscicultura para o ano chuvoso é cerca 29,67% superior a menor receita, que ocorreu para um ano seco.
- 2) A receita gerada para piscicultura utilizando o cenário agrícola composto pelo grupo I de culturas, ano seco é 0,24% menor que para o ano normal.
- 3) O cenário agrícola composto pelo grupo I, para o ano normal fornece uma receita líquida para a piscicultura 29,50% menor que o ano chuvoso.
- 4) Para o cenário agrícola composto pelo grupo II de culturas, a maior receita com piscicultura apresenta-se, para o ano chuvoso, 29,09% superior a menor receita que ocorre para o ano seco.

- 5) A diferença entre a receita líquida gerada com piscicultura para o ano seco e para o ano normal, para o cenário agrícola formado com culturas do grupo II é 28,6%.
- 6) A receita gerada para a piscicultura para o ano chuvoso é 0,68% maior que para o ano normal.

#### **9.3.4.2.3 – Mão de Obra**

##### **- Irrigação**

- 1) A maior geração de mão de obra, para os dois perímetros, quando se usa culturas do grupo I ocorre para o ano normal.
- 2) O perímetro das margens do reservatório a maior mão de obra gerada ocorre para o ano chuvoso.
- 3) Para as culturas do grupo I, a maior geração total de mão de obra ocorre para o ano normal.
- 4) Quando observamos cada perímetro separadamente, verificamos que o comportamento descrito no item anterior não se verifica.
- 5) A maior mão de obra para o perímetro de Sousa, culturas do grupo II, ocorre para o ano normal.
- 6) Para as margens do reservatório, a maior mão de obra ocorre para o ano chuvoso

##### **- Piscicultura**

- 1) Para as culturas do grupo I observamos que a maior mão de obra com piscicultura (ano chuvoso) é 29,64% maior que a menor mão de obra (ano seco).
- 2) Do ano normal para o chuvoso a mão de obra gerada com piscicultura é 29,55% maior para o grupo I.
- 3) Para o grupo II do ano seco para o normal a mão de obra gerada com piscicultura apresenta um aumento de 28,66%.

- 4) o ano normal para o chuvoso, há uma diferença de 0,64% para a mão de obra gerada com piscicultura quando se usa o cenário agrícola composto por culturas do grupo II.
- 5) A maior mão de obra gerada para a piscicultura quando considera-se o cenário agrícola composto com culturas do grupo I é 0,091% menor que a maior mão de obra gerada para o cenário agrícola composto com grupo II de culturas.

#### **9.3.4.2.4 – Abastecimento**

Foi garantida para todos os cenários um abastecimento de 0.731 m<sup>3</sup>/s para toda a bacia do rio Piencó, tanto para uso urbano como rural.

#### **9.3.4.1.6 – Regularização do rio Piencó**

A regularização do rio Piencó é feita através dos geradores de energia variando de acordo com o período. Podemos observar, através da Tabela 9.16 (Gráficos 9.37 a 9.48) para ano seco e volume inicial de 80% do volume máximo e culturas do grupo I a variação da regularização fica de 5.000 m<sup>3</sup>/s, valor mínimo, a 5.521 m<sup>3</sup>/s. Enquanto para o segundo grupo de culturas esta variação é maior, variando de 5.000 m<sup>3</sup>/s a 6.044 m<sup>3</sup>/s.

## CONCLUSÕES GERAIS PARA A MAXIMIZAÇÃO DA RECEITA LÍQUIDA

Para a irrigação conclui-se que:

- 1) No ano normal e chuvoso culturas do grupo II, no perímetro de Sousa, houve um maior aproveitamento das áreas alocadas para um volume de 60% da capacidade máxima do reservatório. Ocorrendo o contrário para o ano seco
- 2) A proporção que temos um cenário com maior precipitação ocorre um maior aproveitamento das áreas alocadas para as culturas no período de entressafra.
- 3) Quando se observa individualmente cada cenário climatológico, avaliando a variação do volume inicial, verifica-se que, em geral, houve um maior aproveitamento da área para um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima. Indicando que os critérios de sustentabilidade hídrica do sistema interferem sobremaneira no processo de otimização.

Para a receita líquida, verifica-se que:

- 1) As culturas do grupo I, para todos os cenários contribuem com uma receita maior que as culturas do grupo II.
- 2) A receita com piscicultura é maior a medida que a área de espelho d'água do reservatório aumenta.
- 3) As maiores receitas líquidas com piscicultura ocorrem quando se usa cenários agrícolas com culturas do grupo II.
- 4) Para a piscicultura, quanto as variações nos resultados da receita líquida devido a variações hidroclimáticas, não foi detectada alterações substanciais a não ser para o ano chuvoso com volume inicial de 80% da capacidade máxima, que forneceu uma receita líquida maior que a do ano normal e ano seco de 42,19% e 41,8% respectivamente.

Para a mão de obra, observou-se que:

- 1) De todos os cenários testados o que forneceu a maior geração de mão de obra foi o ano normal, com volume inicial igual a 80% da capacidade máxima, culturas do

- grupo I, tanto para as várzeas de Sousa como para as margens do reservatório, de 1145167 e 408275 diárias, respectivamente, gerando um total de 1553442 diárias.
- 2) A menor geração de mão de obra ocorre para o ano seco, volume inicial de 60% da capacidade máxima, culturas do grupo II, com um total de 752427 diárias. Uma redução de 51,56% em relação ao cenário de maior geração de empregos. Isto nos possibilita verificar a grande variabilidade de geração de empregos dependendo do cenário climático, do critério de sustentabilidade e do tipo de cultura que se pretende trabalhar.
  - 3) Para a piscicultura vale ressaltar a diferença de mão de obra gerada e de receita líquida obtida dentro de um mesmo cenário climático e para um mesmo grupo de culturas. Por exemplo, para o cenário chuvoso, culturas do grupo I, a mão de obra e receita líquida gerada com piscicultura, para um volume inicial de 80% da capacidade máxima é 79% maior que a gerada com um volume inicial de 60% da capacidade máxima. O que mostra a influência que a garantia de sustentabilidade hídrica tem na solução ótima do problema. Já para o grupo II de culturas esta diferença entre os volumes iniciais para a geração de mão de obra e receita líquida é de 78,15%.

Com relação a vazão para irrigação verificamos que:

- 1) Para o reservatório com 60% da capacidade máxima há uma maior liberação do que se compararmos com o reservatório com 80% da capacidade máxima. Isto ocorre pois o sistema precisa garantir a sustentabilidade hídrica do reservatório. Para um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima o sistema tem uma maior liberdade tanto para o aproveitamento da água para irrigação como para liberar para a geração de energia. Observamos que a vazão regularizada está garantindo no mínimo a vazão de regularização para o rio Piancó, que é de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- 2) O cenário que possui a maior apropriação de água para a irrigação não corresponde ao cenário que possui a maior alocação de área e a maior receita líquida. A maior alocação de água foi verificada para um ano seco, enquanto que as maiores áreas e maiores receitas se verificam para um ano normal.
- 3) Para o volume inicial igual ao volume crítico, o sistema não atende aos usos estipulados, entrando, portanto, em colapso. Para reduções de vazão iguais ou

superiores a 20% do total afluyente, nas condições consideradas neste trabalho, o sistema não atende as demandas estimadas para os múltiplos usos.

## 9.4 – Resultados e Análises para a Função Objetivo que Maximiza a Mão de Obra

O objetivo deste estudo é, através da aplicação de um modelo com base na programação não linear, estabelecer uma operação ótima para o sistema Coremas/Mãe D'água para múltiplos usos, atendendo a objetivos econômicos e sociais. Os resultados analisados anteriormente foram obtidos através do objetivo econômico da maximização da receita líquida, analisaremos aqui os resultados obtidos através da otimização do sistema tendo como função objetivo a maximização da mão de obra, que representa aqui um objetivo social. Esta função objetivo foi processada para o cenário configurado por uma precipitação caracterizada como um ano normal, uma vazão afluyente sem redução e um volume inicial igual a 60% da capacidade máxima do reservatório. As análises aqui desenvolvidas para este cenário e com função objetivo que maximiza a mão de obra comparadas com o mesmo cenário climático, mas utilizando a função objetivo que maximiza a receita líquida.

### 9.4.1 - Áreas Irrigadas

#### • Culturas do Grupo I

Podemos verificar através das Tabela 9.17 e 9.18, sumarizada no Gráfico 9.61, que assim como a maximização da receita líquida, para o perímetro de Sousa há a alocação da área máxima da uva (1500 ha). Observa-se que, quando o cenário agrícola é composto por este grupo de culturas, há um aumento de 0,49% na área do perímetro de Sousa, enquanto que nas áreas localizadas nas margens do reservatório há uma redução de 14,64%.

#### • Culturas do Grupo II

Para o perímetro de Sousa, Tabelas 9.19 e 9.20, Gráfico 9.62, observa-se a alocação de área máxima para o milho safra e entressafra, cebola e para o tomate. Para as margens do reservatório houve alocação de área máxima para o feijão safra e para o tomate.

## **9.4.2 – Mão – de – Obra**

### **9.4.2.1 – Irrigação**

Observamos através da Tabela 9.20 e 9.21, Gráficos 9.63 e 9.64 que, ao aumentar a área a ser irrigada, conseqüentemente aumenta-se a mão de obra. Observamos que para o perímetro de Sousa, e cenário agrícola composto por culturas do grupo I, quando comparamos com a mão de obra empregada para o cenário com as mesmas características mas cuja função objetivo maximiza a receita líquida, houve um aumento de 6,68% na mão de obra requerida. Já para as margens do reservatório houve uma redução de 21,1%. Para o cenário agrícola composto por culturas do grupo II, observa-se que, para o perímetro de Sousa houve um aumento na mão de obra requerida de 8,2%, enquanto que para as margens do reservatório este aumento foi de 3,13%.

### **9.4.2.2 – Piscicultura**

As Tabelas 9.27 e 9.28 apresentam os resultados obtidos para a piscicultura. Podemos observar que para a piscicultura também houve um aumento no requerimento de mão de obra. Verifica-se que a maior necessidade de mão de obra ocorre para um cenário agrícola composto por culturas do grupo II, sendo este o que apresenta uma maior área de espelho d'água.

### **9.4.2.3 – Geração de Energia Elétrica**

Como referido anteriormente, não foi estudada variações na mão de obra com relação ao uso da água para geração de energia elétrica, em virtude da configuração do sistema gerador instalado na micro-usina, que não permitiria grandes variações nos valores assumidos por esta variável tornando-a praticamente fixa.

### **9.4.3 – Receita Líquida**

#### **9.4.3.1 – Irrigação**

As Tabelas 9.23 e 9.24, Gráficos 9.65 e 9.66, apresentam os resultados otimizados quando a função objetivo maximiza a mão de obra. Podemos verificar que para o cenário configurado com culturas do grupo I, para o perímetro de Sousa, houve uma redução de 6,7% na receita líquida gerada para a irrigação. Já para as margens do reservatório, esta redução foi de 0,77% da receita líquida. Para o cenário configurado com o grupo II de culturas, perímetro de Sousa, houve uma redução de 11,55% da receita líquida, enquanto que para as áreas nas margens do reservatório esta redução foi menor, 4,58%. Verificamos através das tabelas acima mencionadas que o modelo maximizou a mão de obra total para os dois perímetros.

#### **9.4.3.2 – Piscicultura**

Da Tabela 9.27 e 9.28, podemos verificar que a maior receita ocorre para uma maior área de espelho d'água. Observamos que ao compararmos com o cenário que maximiza a receita líquida o modelo apresentou uma maior área de espelho d'água, favorecendo à geração de uma maior receita líquida. O aumento da receita líquida gerada com piscicultura é de 1,60%, quando comparamos com a função objetivo que maximiza da receita líquida.

#### **9.4.3.3 – Geração de Energia Elétrica**

Assim como a função objetivo que maximiza a receita líquida, a aplicação da função objetivo que maximiza a mão de obra apresentou a mesma receita líquida, constante para todos os cenários de R\$ 1235,00, gerando uma potência firme, a qual é a potência que está garantida em 100% do tempo, de 24700 Mwh.

#### **9.4.4 – Análise dos Resultados para o Cenário Normal, Volume Inicial de 60% da Capacidade Máxima, entre a Maximização da Receita Líquida e a Maximização da Mão de Obra.**

##### **9.4.4.1 - Irrigação**

Observou-se que:

- 1) Para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I, a maximização da mão de obra apresenta um aumento de 0,49% na área alocada para o perímetro de Sousa e uma redução de 12,77% para as margens do reservatório. O mesmo padrão ocorre para a alocação de mão de obra.
- 2) O cenário agrícola composto por culturas do grupo II apresenta uma redução de áreas alocadas para os dois perímetros. Para o perímetro de Sousa a redução é de 2,83% enquanto que as áreas localizadas nas margens do reservatório esta redução é de 0,95%.

##### **9.4.4.2 – Mão de Obra**

O cenário agrícola composto por culturas do grupo I apresentou um aumento no requerimento de mão de obra de 3.422 diárias, enquanto que o cenário agrícola formado com culturas do grupo II apresentam um aumento no requerimento de mão de obra de 80.939 diárias. Podemos concluir que o cenário agrícola que apresenta o maior requerimento de mão de obra é o cenário composto por culturas do grupo II. Verificamos que, mesmo com uma redução da área alocada para as culturas, o modelo apresentou uma maximização da mão de obra.

##### **9.4.4.3 – Receita Líquida**

- 1) Houve uma redução de 10,2% para o cenário agrícola composto por culturas do grupo I, entre a maximização da receita líquida e a maximização da mão de obra.
- 2) Para o cenário agrícola composto por culturas do grupo II esta redução foi de 9,00%.

- 3) A receita líquida para a geração de energia, como descrito anteriormente, se manteve constante para todos os cenários em R\$ 1235,00 MIL, garantindo uma potência firme, a qual é a potência que está garantida em 100% do tempo, de 24700 Mwh.

#### **9.4.5 – Conclusões Gerais**

Quando o objetivo é a maximização da mão de obra a operação ótima favorece a irrigação utilizando o cenário agrícola formado por culturas grupo II. Isto ocorre porque o grupo II é basicamente composto por culturas sazonais empregando mão de obra, com a mesma cultura, duas vezes ao ano, enquanto que o grupo I emprega a mesma mão de obra durante o ano todo, ou seja, para o cálculo da mão de obra se a cultura tiver área locada na safra e entresafra irá somar duas vezes a sua mão de obra. Verificamos que mesmo levando em consideração o preço de cada cultura e a disponibilidade hídrica de cada perímetro, o modelo maximizou a mão de obra a ser empregada na irrigação.

Tabela 9.2 – Áreas alocadas para culturas do grupo I para cada perímetro para todos os cenários (ha).

ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (ha)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
S O U S A	BANANA	1075.33	135.73	380.35	489.39	662.86	209.07
	MAMÃO	184.82	194.62	113.35	305.90	107.69	480.40
	MELANCIA (ES)	55.90	492.92	709.74	230.62	780.66	226.43
	MELÃO (S)	797.75	242.94	216.44	799.80	302.24	793.32
	GRAVIOLA	411.48	368.17	175.60	610.63	365.71	778.66
	UVA	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00
	COCO	656.25	254.03	997.97	568.27	996.64	853.73
	MANGA	20.63	800.00	786.55	424.75	164.19	37.36
MARGENS DO AÇUDE	BANANA	241.59	205.38	145.24	82.74	10.01	5.00
	MAMÃO	98.88	119.75	109.18	90.65	33.02	9.07
	MELANCIA (ES)	39.06	70.70	383.22	102.49	399.85	6.10
	MELÃO	399.65	44.10	399.94	400.00	14.90	294.25
	GRAVIOLA	128.10	218.68	10.09	143.19	131.19	119.85
	UVA	247.17	17.25	406.09	372.31	557.55	540.12
	COCO	148.77	235.51	143.87	106.32	59.26	107.67
	MANGA	82.34	149.79	74.39	46.87	80.87	66.32
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>4702.16</b>	<b>3988.41</b>	<b>4880.00</b>	<b>4929.36</b>	<b>4879.99</b>	<b>4878.97</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>1385.56</b>	<b>1061.16</b>	<b>1672.02</b>	<b>1344.57</b>	<b>1286.65</b>	<b>1148.38</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>6087.72</b>	<b>5049.57</b>	<b>6552.02</b>	<b>6273.93</b>	<b>6166.64</b>	<b>6027.35</b>

Tabela 9.3 – Percentual de áreas alocadas para culturas do grupo I para cada perímetro para todos os cenários (%).

PERCENTUAL DE ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (%)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
SOUSA	BANANA	22,03	2,78	7,79	10,03	13,58	4,28
	MAMÃO	3,78	4,00	2,32	6,27	2,21	9,84
	MELANCIA (ES)	1,16	10,10	14,54	4,73	15,99	4,64
	MELÃO (S)	16,35	4,98	4,44	16,40	6,19	16,26
	GRAVIOLA	8,43	7,54	3,60	12,51	7,49	15,96
	UVA	30,73	30,73	30,73	30,73	30,73	30,73
	COCO	13,45	5,20	20,45	16,64	20,42	17,49
	MANGA	0,42	16,39	16,12	8,70	3,36	0,76
MARGENS DO AÇUDE	BANANA	12,85	10,92	7,73	4,40	0,53	0,27
	MAMÃO	5,26	6,37	5,81	4,82	1,76	0,48
	MELANCIA (ES)	2,08	3,76	20,38	5,45	21,27	0,32
	MELÃO (S)	21,26	2,35	21,27	21,28	0,79	15,65
	GRAVIOLA	6,81	11,63	0,54	7,62	6,98	6,37
	UVA	13,15	0,92	21,60	19,80	29,66	28,73
	COCO	7,91	15,53	7,65	5,66	3,15	5,73
	MANGA	4,38	7,97	3,96	2,49	4,30	3,53
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>96,36</b>	<b>81,73</b>	<b>100</b>	<b>101,01</b>	<b>100</b>	<b>99,98</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>73,7</b>	<b>56,44</b>	<b>88,94</b>	<b>71,52</b>	<b>68,44</b>	<b>61,08</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>90,05</b>	<b>74,70</b>	<b>96,91</b>	<b>91,71</b>	<b>91,22</b>	<b>89,16</b>

Tabela 9.4 – Áreas alocadas para culturas do grupo II para cada perímetro para todos os cenários (ha).

ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (ha)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
S O U S A	Feijão (s)	23.95	598.87	599.80	593.77	599.82	599.99
	Feijão (es)	597.57	2.62	594.02	15.01	5.94	2.03
	Milho (s)	20.00	274.39	799.19	798.71	799.61	799.44
	Milho (es)	7.22	222.38	780.87	0.00	798.76	0.00
	Algodão	835.90	899.95	64.50	899.10	609.04	899.51
	Arroz	7.48	350.00	0.00	348.93	0.00	0.00
	Batatinha	899.99	900.00	900.00	900.00	900.00	900.00
	Cebola	698.19	700.00	699.90	700.00	700.00	699.94
Tomate	799.95	797.37	799.90	800.00	800.00	800.00	
MARGENS DO AÇUDE	Feijão (s)	11.81	6.01	99.99	99.77	100.00	99.97
	Feijão (es)	22.64	1.52	34.08	0.00	0.08	0.00
	Milho (s)	299.71	8.18	300.00	203.77	299.98	299.64
	Milho (es)	0.05	54.01	30.11	79.69	0.00	0.00
	Algodão	52.14	1.83	19.51	0.00	0.00	0.00
	Arroz	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
	Batatinha	295.88	442.21	217.27	243.91	198.79	199.03
	Cebola	338.59	187.34	417.59	387.28	497.37	497.16
Tomate	699.99	699.85	699.96	700.00	700.00	700.00	
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>3890.25</b>	<b>4745.58</b>	<b>5238.27</b>	<b>5055.52</b>	<b>5213.17</b>	<b>4700.91</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>1720.83</b>	<b>1401.02</b>	<b>1818.51</b>	<b>1714.42</b>	<b>1796.13</b>	<b>1795.80</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>5611.08</b>	<b>6164.60</b>	<b>7056.78</b>	<b>6769.94</b>	<b>7009.30</b>	<b>6496.71</b>

Tabela 9.5 – Percentual de áreas alocadas para culturas do grupo II para cada perímetro para todos os cenários (%).

PERCENTUAL DE ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (%)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	0,49	12,27	12,29	12,17	12,29	12,29
	Feijão (es)	12,25	0,05	12,17	0,31	0,12	0,04
	Milho (s)	0,41	5,62	16,38	16,37	16,38	16,38
	Milho (es)	0,15	4,56	16,00	0,00	16,37	0,00
	Algodão	17,13	18,44	1,32	18,42	12,48	18,43
	Arroz	0,15	7,17	0,00	7,15	0,00	0,00
	Batatinha	18,44	18,44	18,44	18,44	18,44	18,44
	Cebola	14,31	14,31	14,31	14,31	14,31	14,31
Tomate	16,39	16,33	16,39	16,39	16,39	16,39	
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	0,63	0,32	5,32	5,31	5,32	5,32
	Feijão (es)	1,20	0,08	1,81	0,00	0,004	0,00
	Milho (s)	15,94	0,44	15,96	10,84	15,96	15,94
	Milho (es)	0,003	2,87	1,60	4,24	0,00	0,00
	Algodão	2,77	0,097	1,04	0,00	0,00	0,00
	Arroz	0,001	0,004	0,00	0,00	0,00	0,00
	Batatinha	15,74	23,52	11,56	12,97	10,57	10,59
	Cebola	18,01	9,96	22,21	20,60	26,46	26,44
Tomate	37,23	37,23	37,23	37,23	37,34	37,23	
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>79,72</b>	<b>97,25</b>	<b>107,34</b>	<b>103,60</b>	<b>106,83</b>	<b>96,33</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>91,53</b>	<b>74,52</b>	<b>96,73</b>	<b>91,19</b>	<b>95,54</b>	<b>95,52</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>83,00</b>	<b>91,19</b>	<b>104,39</b>	<b>100,15</b>	<b>103,69</b>	<b>95,71</b>

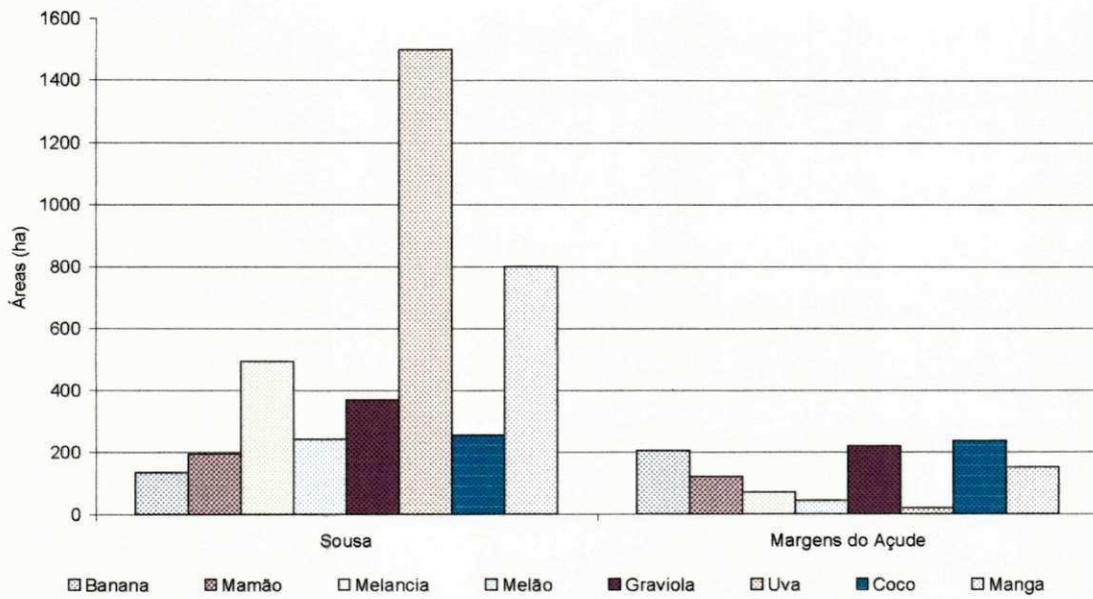


Gráfico 9.1 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

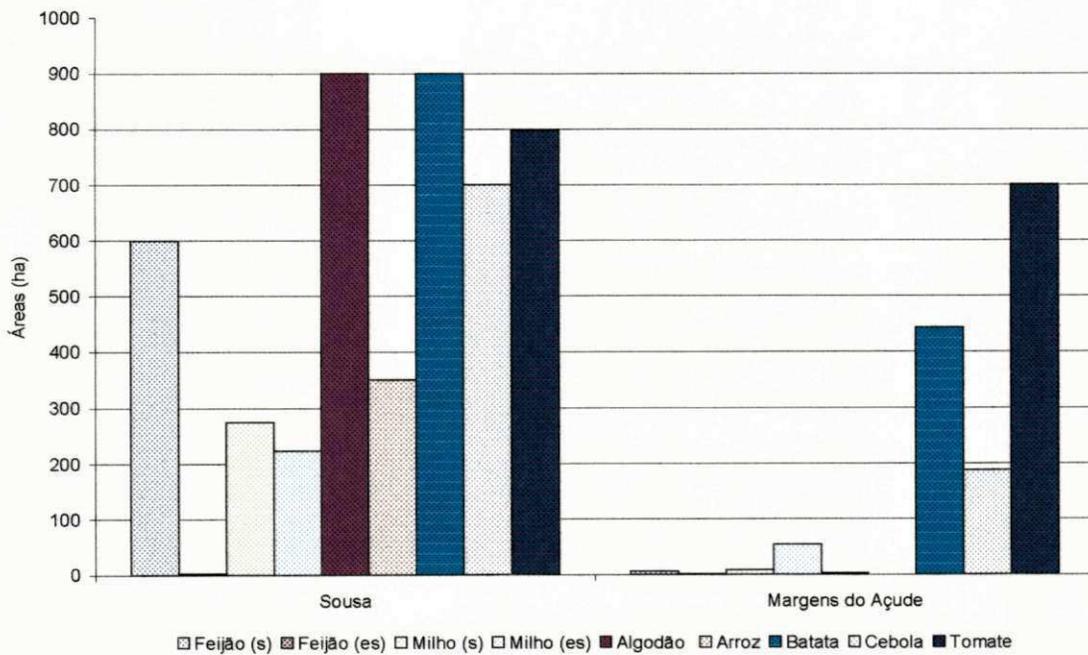


Gráfico 9.2 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

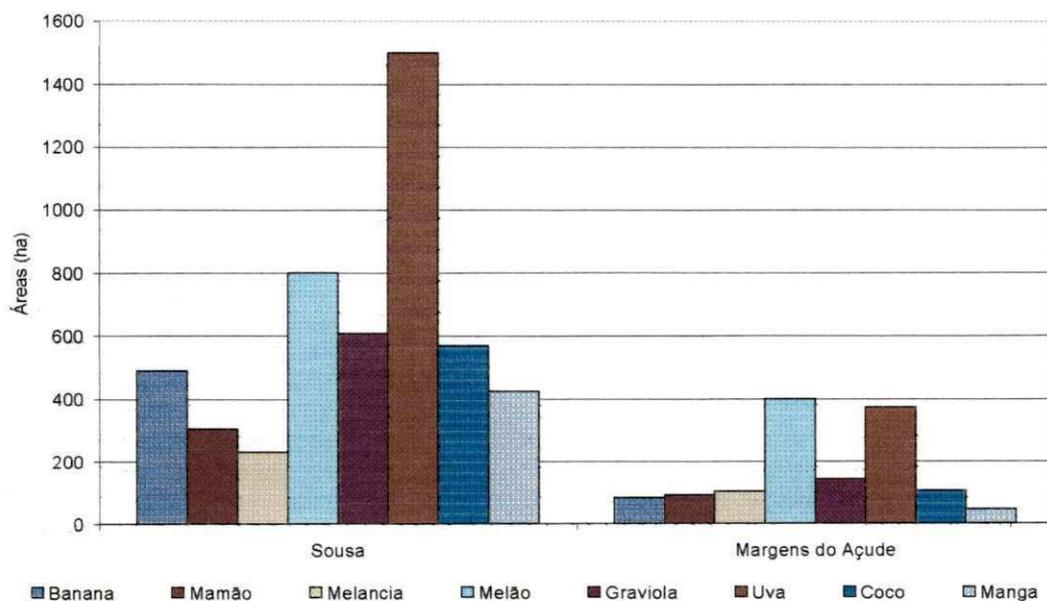


Gráfico 9.3 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

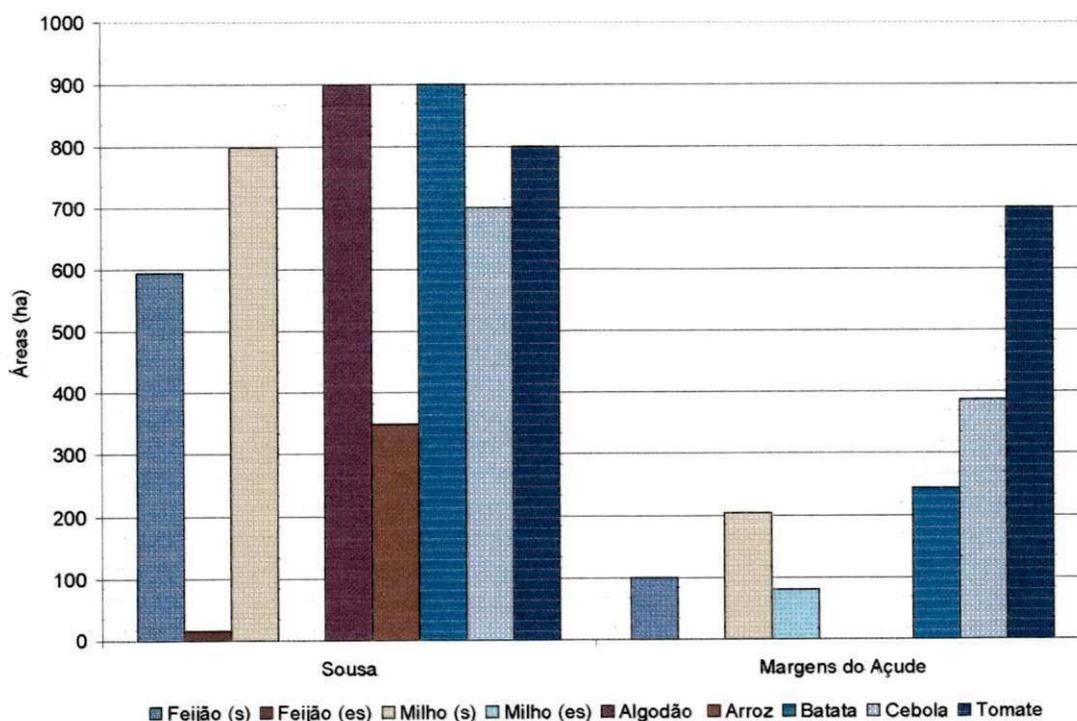


Gráfico 9.4 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume Inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

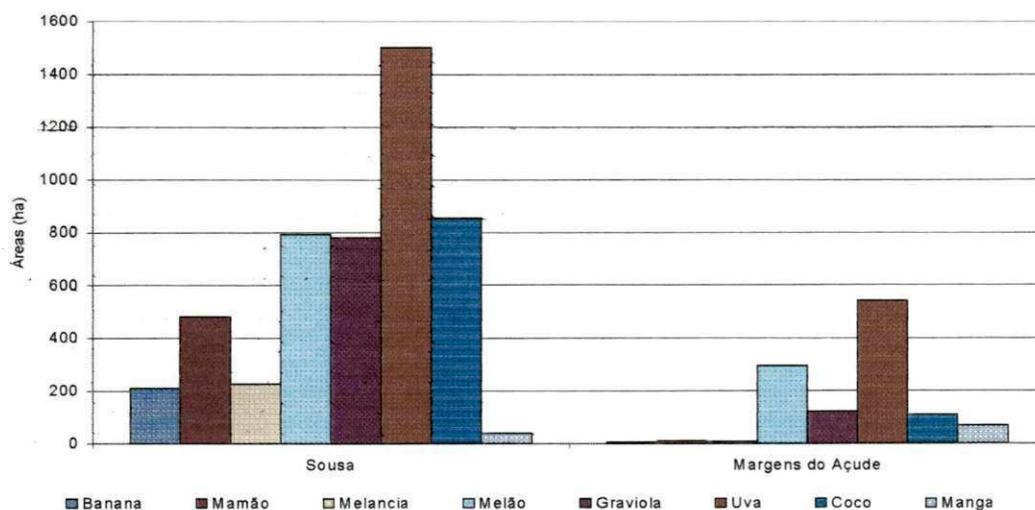


Gráfico 9.5 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo Grupo I

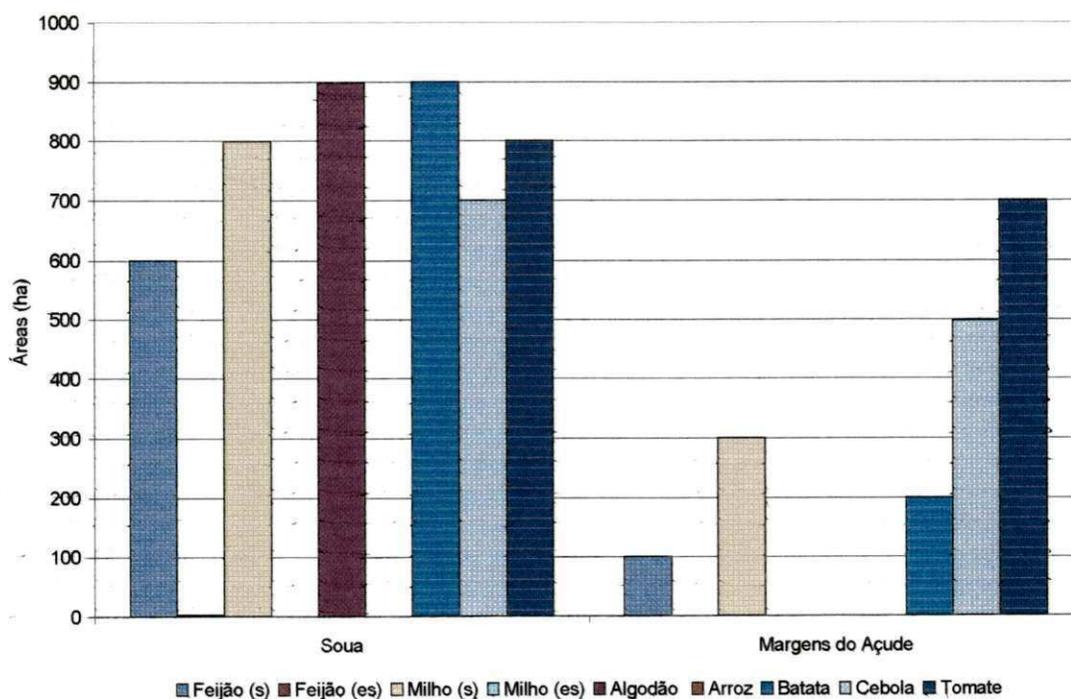


Gráfico 9.6 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

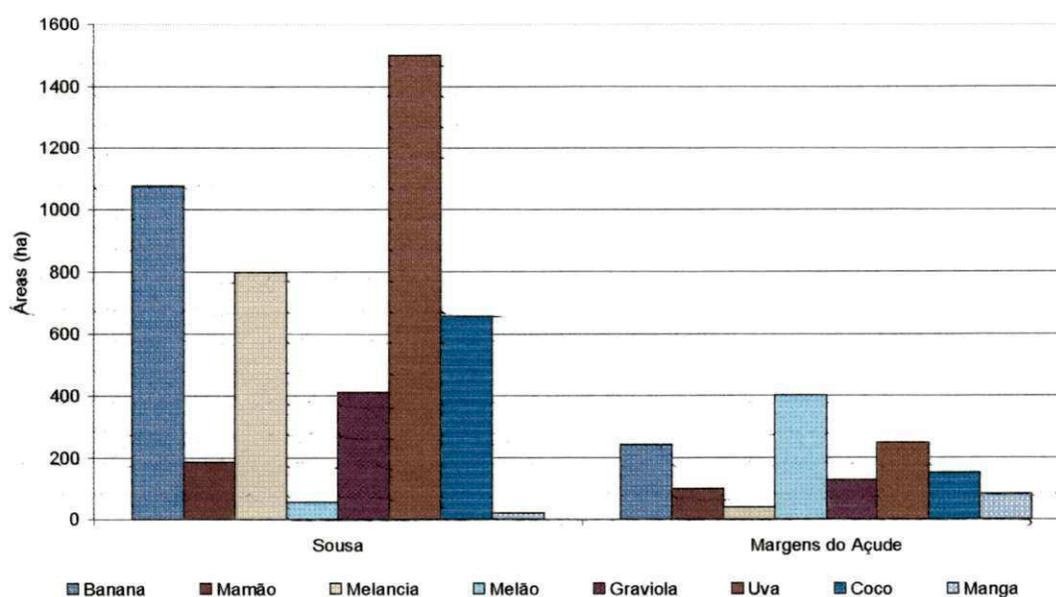


Gráfico 9.7 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

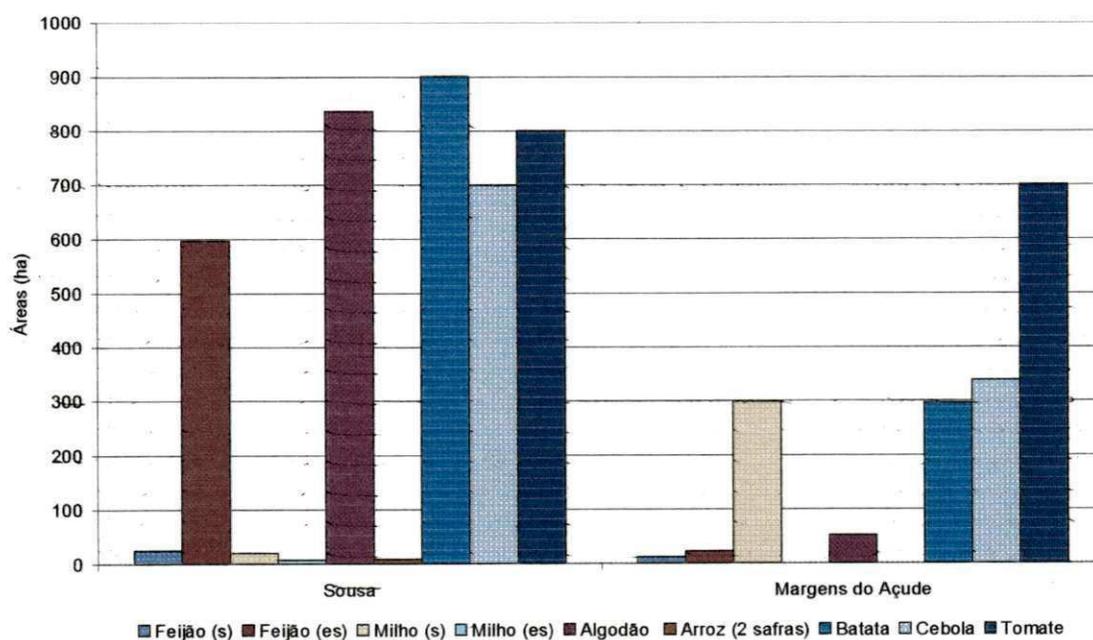


Gráfico 9.8 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

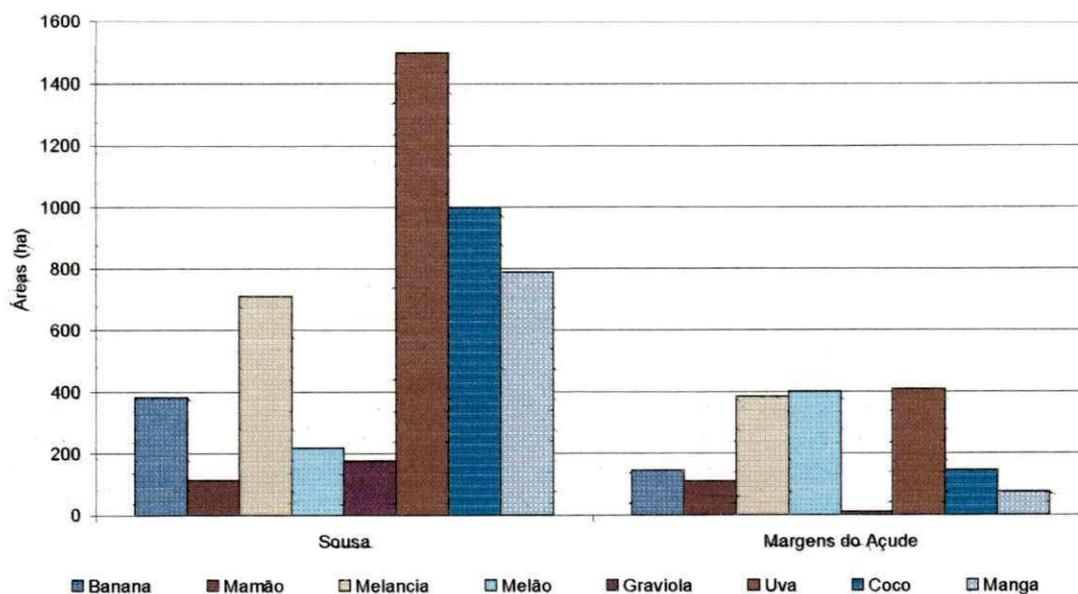


Gráfico 9.9 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

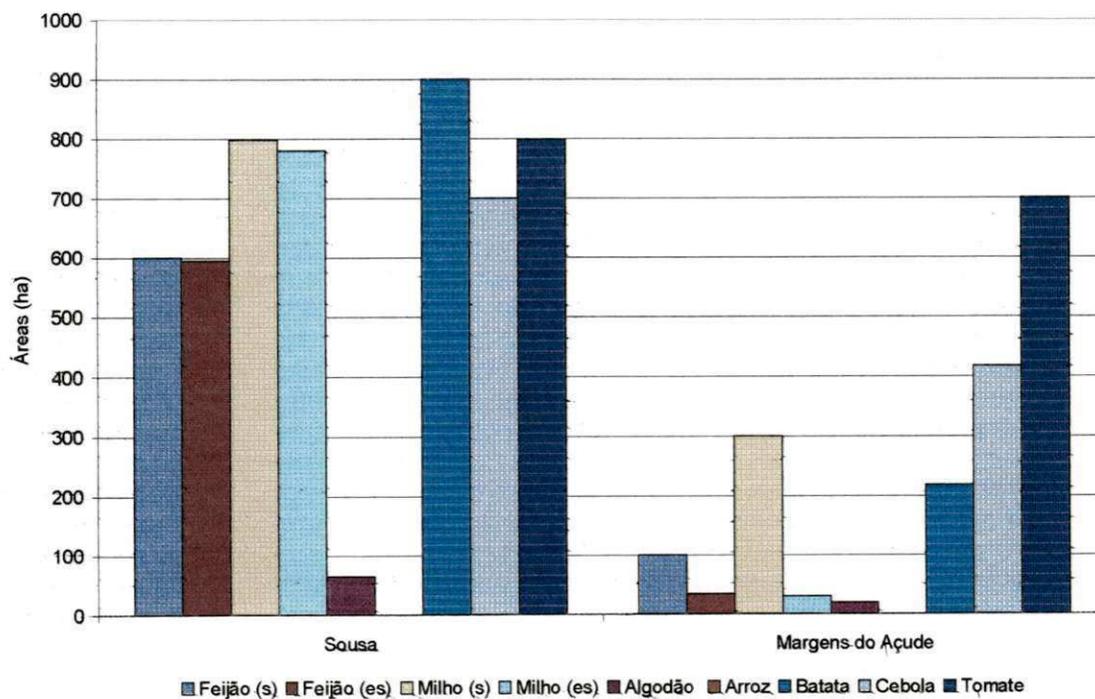


Gráfico 9.10 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

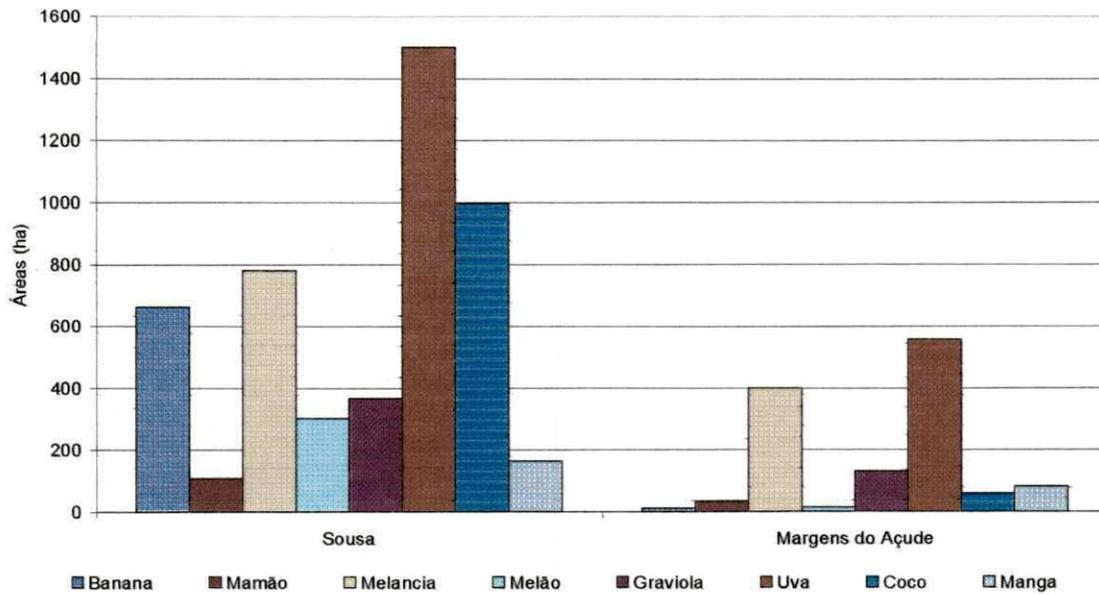


Gráfico 9.11 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

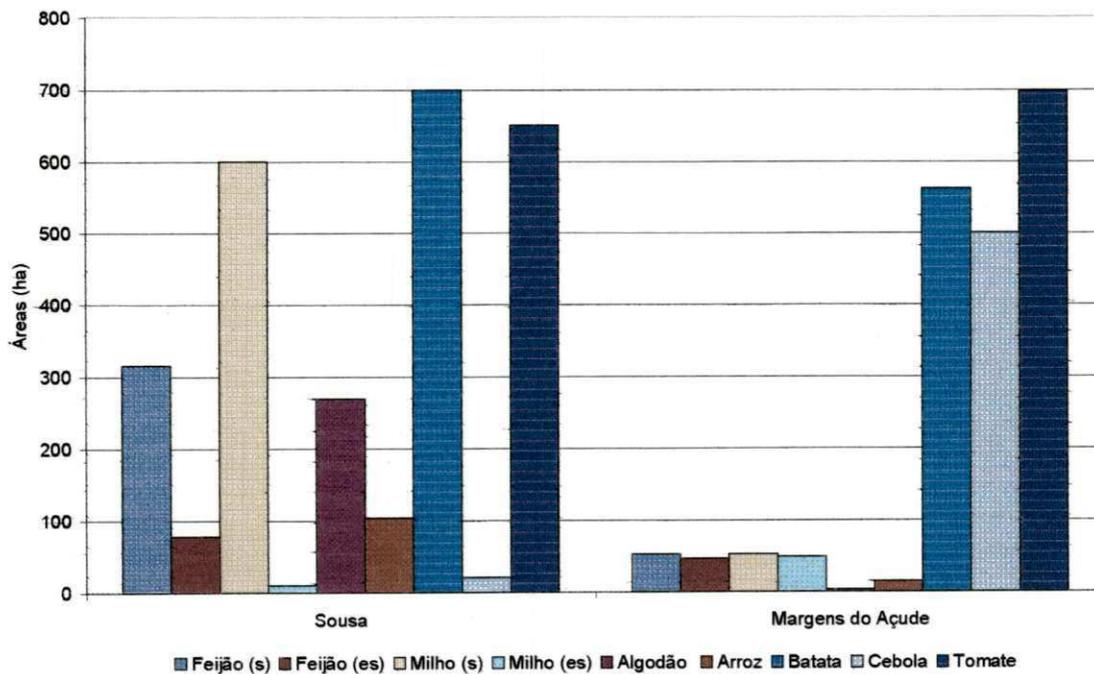


Gráfico 9.12 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.6 – Mão-de-obra alocada para culturas do grupo I para cada perímetro para todos os cenários (homens-dia).

Mão-de-obra alocada ( homens-dia)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
<b>S O U S A</b>	BANANA	202162	25516	71506	92006	124617	39305
	MAMÃO	32343	34058	19836	53533	18846	84071
	MELANCIA (ES)	6428	56686	81620	26522	89776	26040
	MELÃO (S)	109292	33282	29653	109573	41407	108685
	GRAVIOLA	39914	35713	17033	59231	35474	75530
	UVA	705000	705000	705000	705000	705000	705000
	COCO	65625	25403	99797	56827	99664	85373
	MANGA	2063	80000	78655	42475	16419	3736
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	BANANA	45419	38612	27305	15555	1881	940
	MAMÃO	17303	20956	19106	15863	5778	1587
	MELANCIA (ES)	4492	8130	44071	11786	45982	702
	MELÃO (S)	54751	6042	54791	54800	2042	40312
	GRAVIOLA	12426	21212	978	13889	12726	11625
	UVA	116172	8108	190863	174986	262047	253859
	COCO	14877	23551	14387	10632	5926	10767
	MANGA	8234	14979	7439	4687	8087	6632
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>1162827</b>	<b>995658</b>	<b>1103100</b>	<b>1145167</b>	<b>1131203</b>	<b>1127740</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>273674</b>	<b>141590</b>	<b>358940</b>	<b>408275</b>	<b>344469</b>	<b>326424</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>1436501</b>	<b>1137248</b>	<b>1462040</b>	<b>1553442</b>	<b>1475672</b>	<b>1454164</b>

Tabela 9.7 – Mão-de-obra alocada para culturas do grupo II para cada perímetro para todos os cenários (homens-dia).

Mão-de-obra alocada ( homens-dia)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	1460	36531	36587	36220	36589	36599
	Feijão (es)	36451	159	36234	915	362	123
	Milho (s)	2100	28811	83914	83864	72847	83941
	Milho (es)	758	23349	81991	0	83869	0
	Algodão	129564	139492	9997	139359	94401	139423
	Arroz	800	37449	0	37335	0	0
	Batatinha	76499	76499	76499	76499	76500	76500
	Cebola	147317	147699	147678	147699	147699	147686
	Tomate	201588	200936	201596	201599	201600	201600
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	720	366	6099	6085	6100	6090
	Feijão (es)	1380	92	2079	0	4	0
	Milho (s)	31470	858	31499	21395	31487	31462
	Milho (es)	5	5670	3161	8367	0	0
	Algodão	8081	284	3023	0	0	0
	Arroz	2	7	0	0	0	0
	Batatinha	25149	57588	18467	20732	16896	16917
	Cebola	71441	39529	88110	81716	104945	104900
	Tomate	176397	176362	176391	176399	176400	176399
<b>TOTAL SOUSA</b>	<b>596540</b>	<b>690930</b>	<b>674496</b>	<b>723494</b>	<b>713867</b>	<b>685874</b>	
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>	<b>314645</b>	<b>260760</b>	<b>328829</b>	<b>314697</b>	<b>335835</b>	<b>335778</b>	
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>911185</b>	<b>951690</b>	<b>993325</b>	<b>1038191</b>	<b>1049702</b>	<b>1021652</b>	

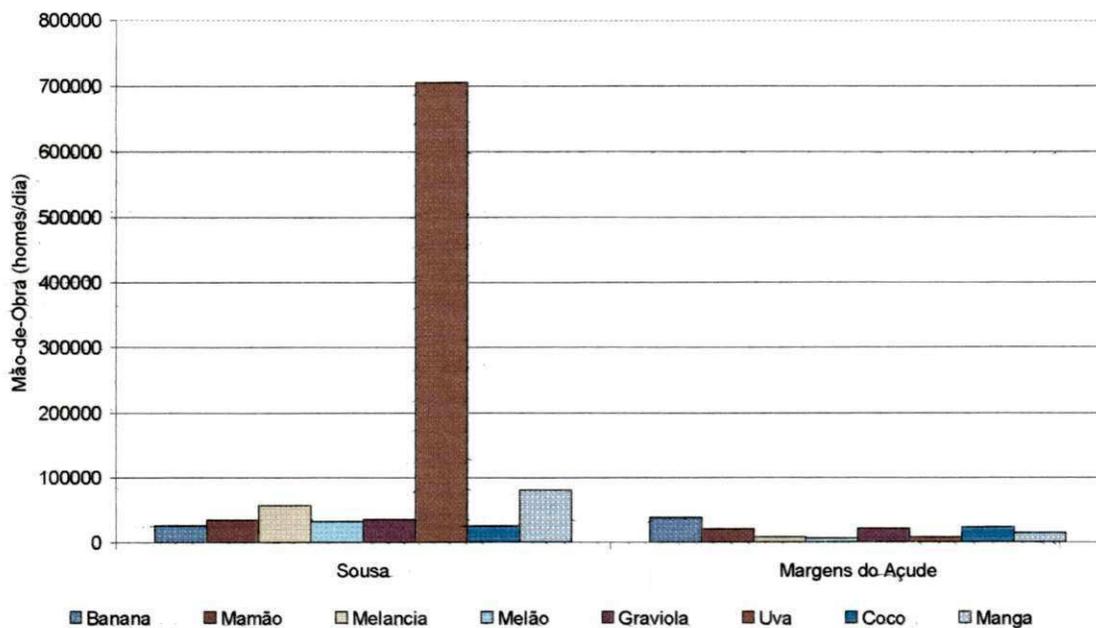


Gráfico 9.13 - Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

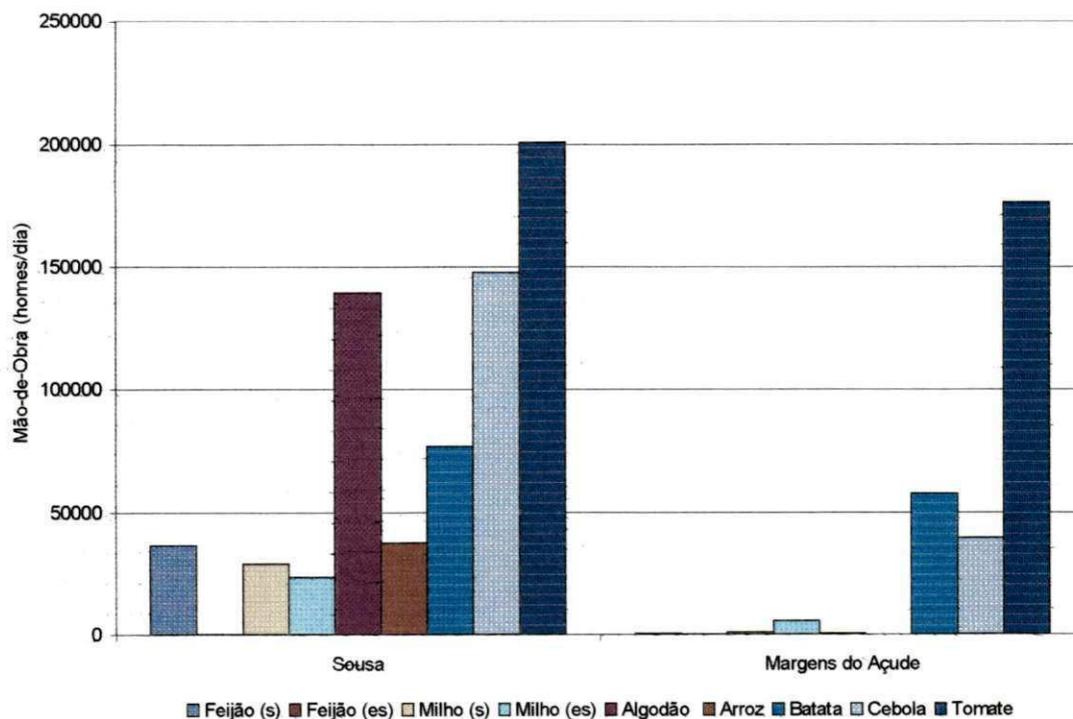


Gráfico 9.14- Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

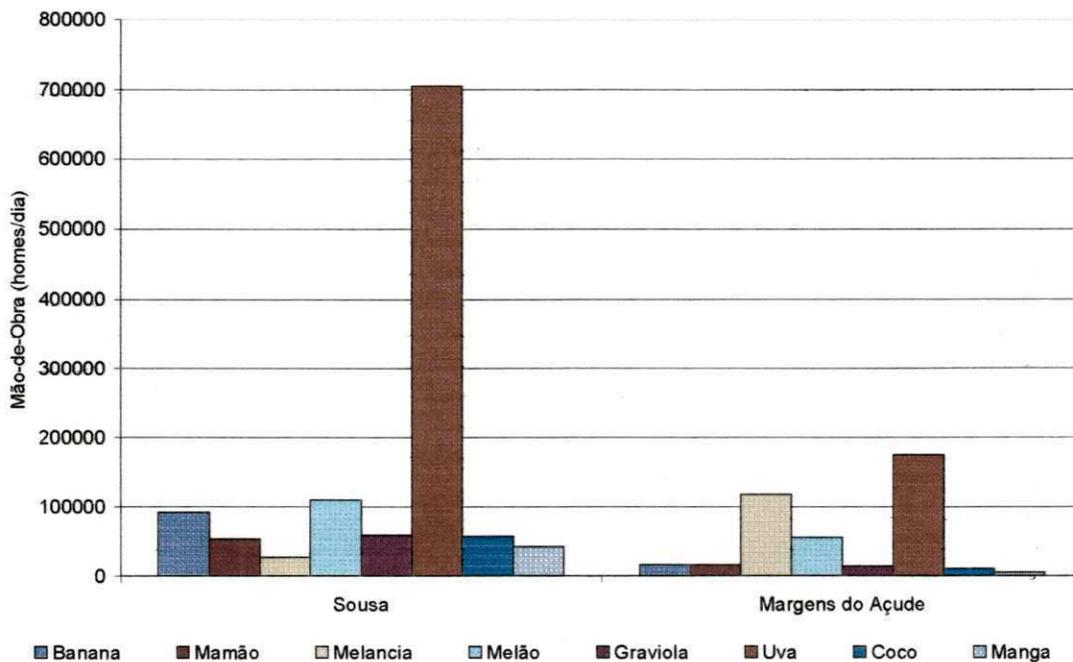


Gráfico 9.15 - Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume Inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

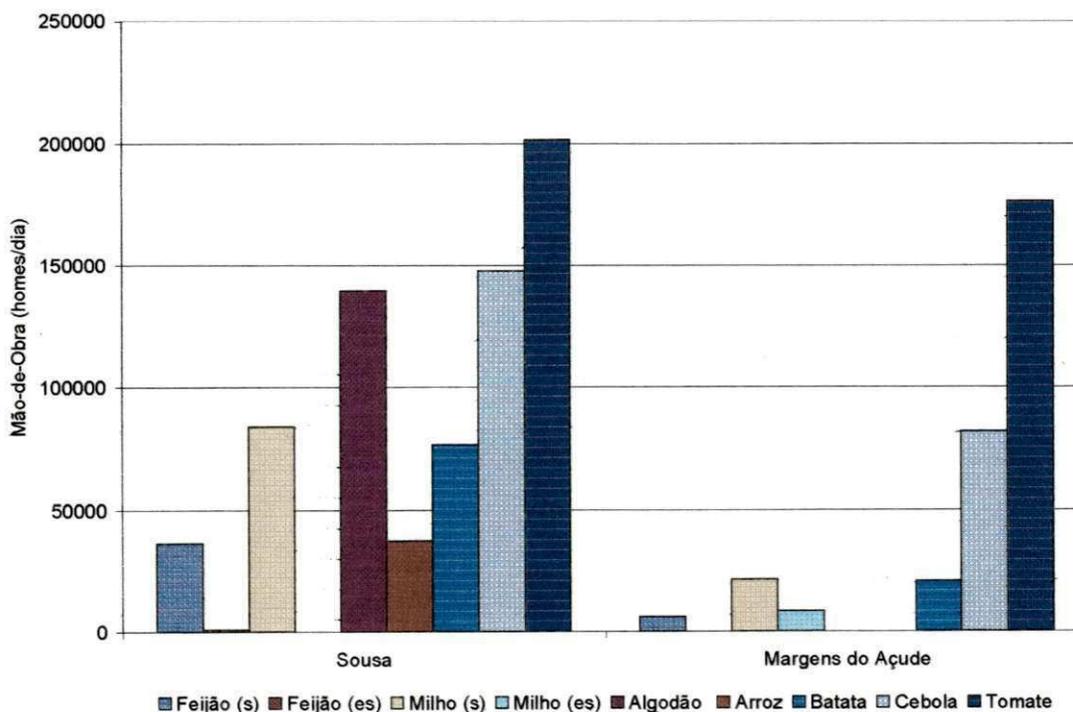


Gráfico 9.16 - Mão-de-obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

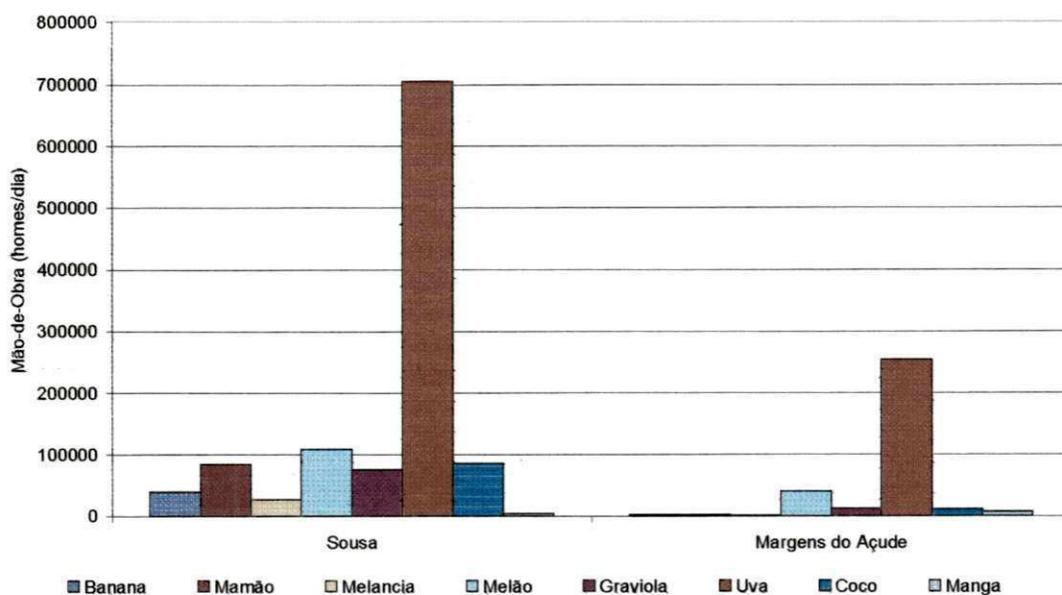


Gráfico 9.17 - Mão-de-Obra requerida por cultura e Por Perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

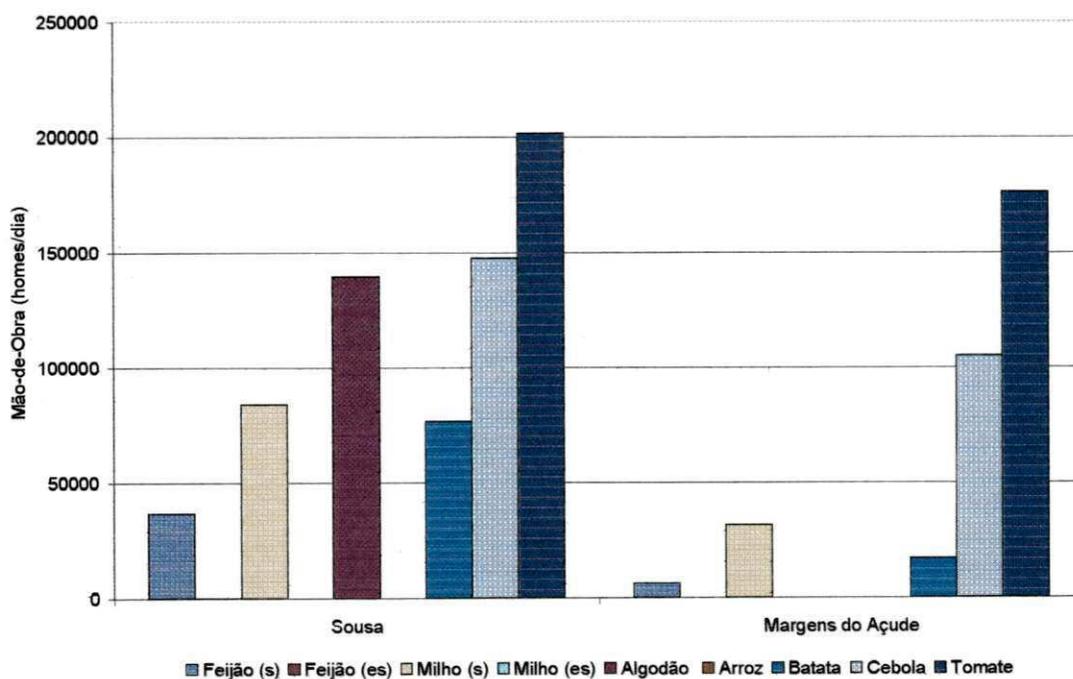


Gráfico 9.18 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

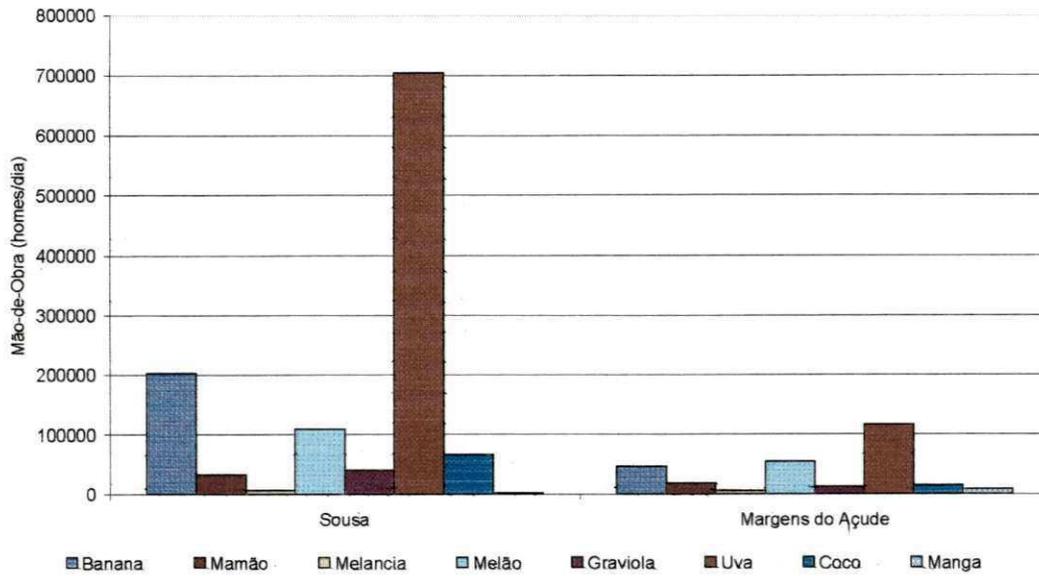


Gráfico 9.19 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

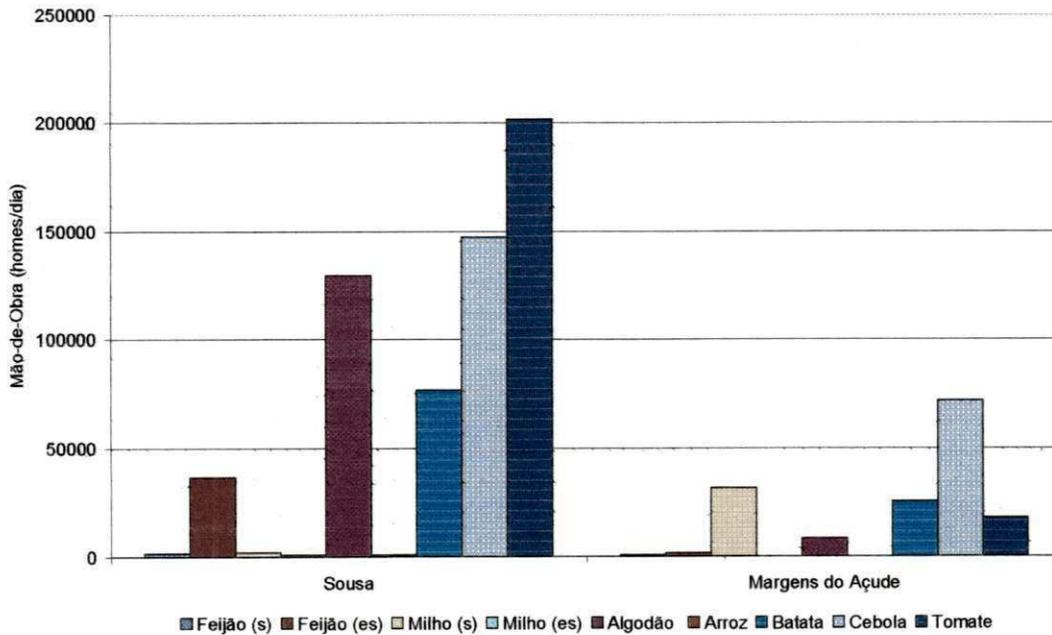


Gráfico 9.20 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

91

193

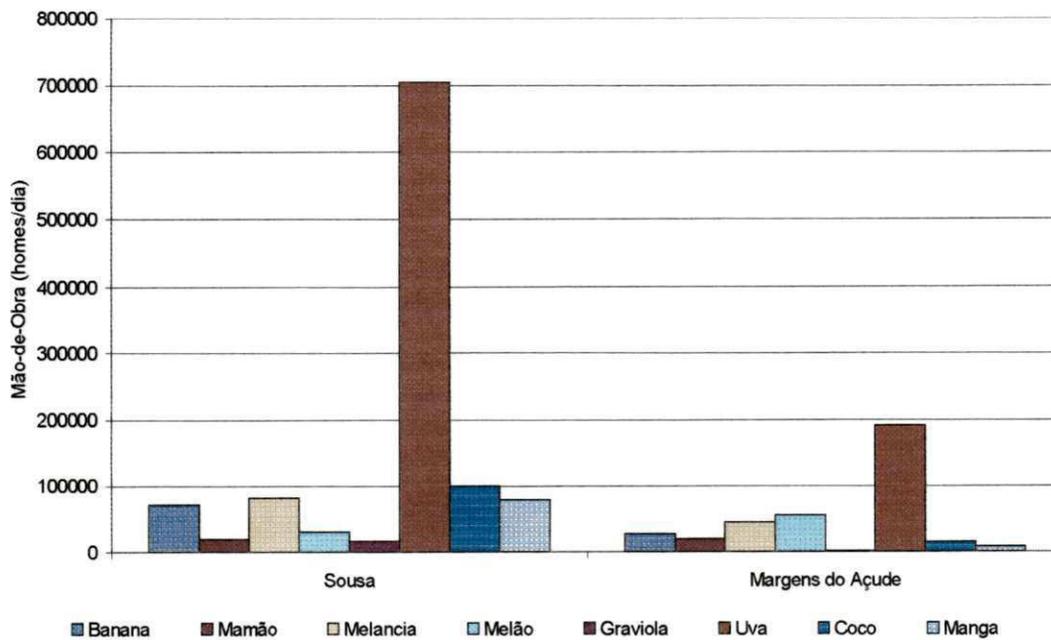


Gráfico 9.21 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

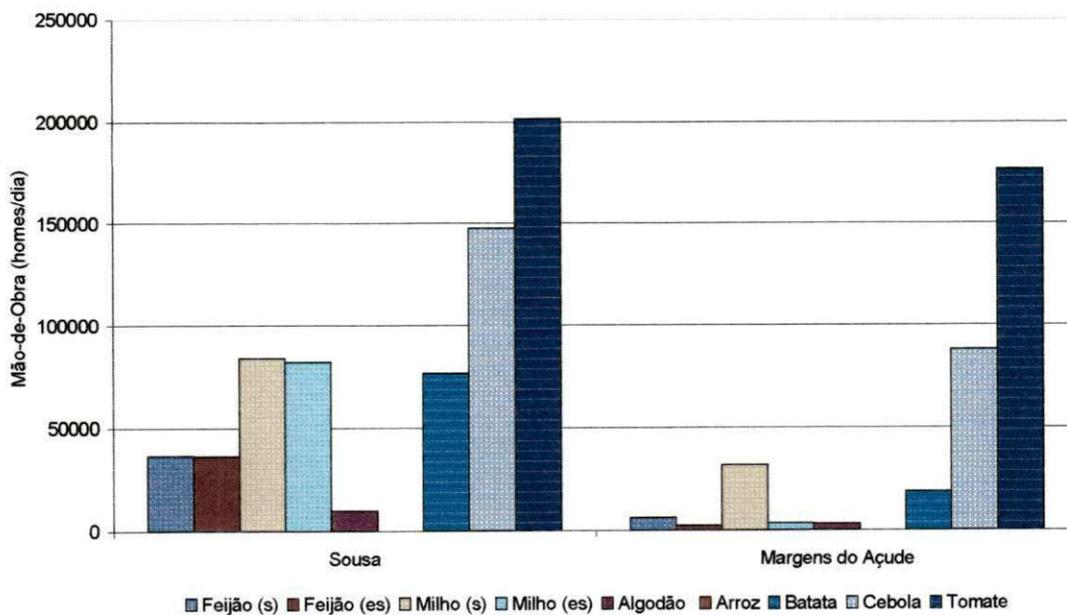


Gráfico 9.22 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

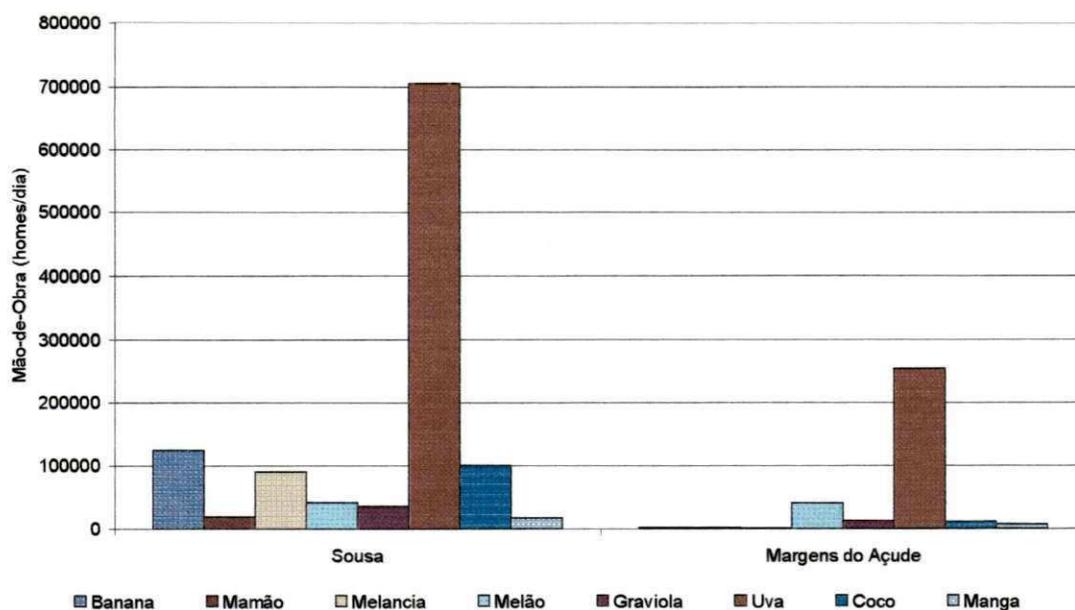


Gráfico 9.23 - Mão-de-Obra Requerida por cultura e por perímetro  
Ano Chuvoso - volume inicial = 60% do volume máximo-Grupo I

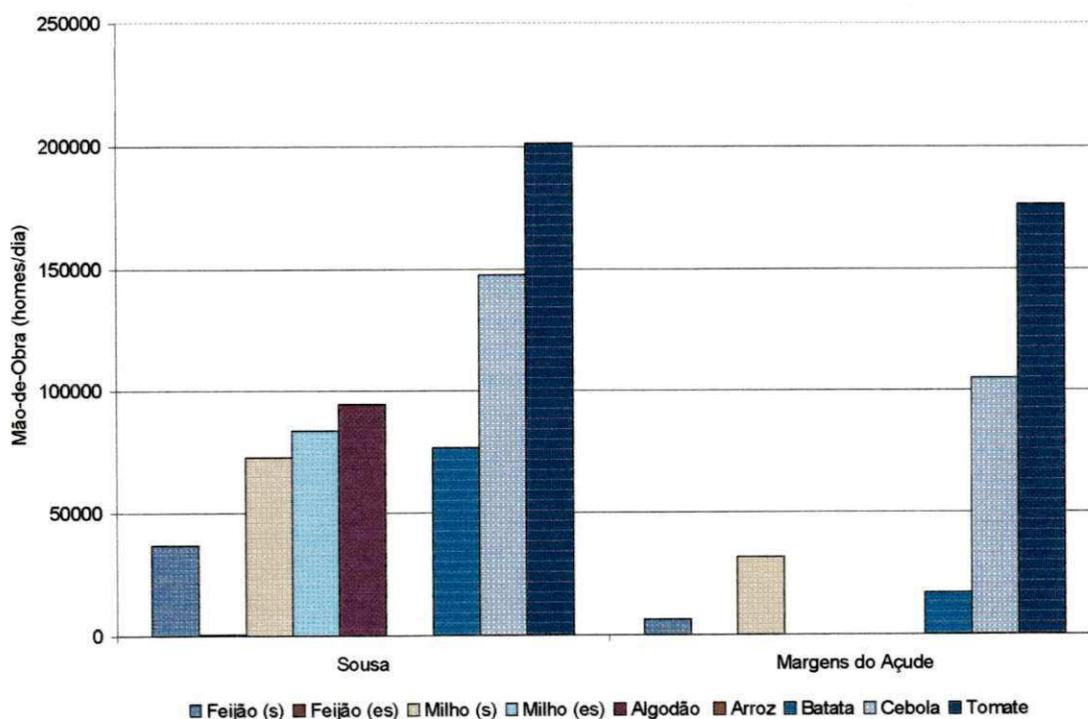


Gráfico 9.24 -Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Chuvoso- Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.8 – Receita Líquida gerada para culturas do grupo I para cada perímetro para todos os cenários (R\$ MIL).

Receita Líquida (R\$ MIL)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
<b>S O U S A</b>	BANANA	2616.16	345.36	967.82	1162.72	1612.67	496.72
	MAMÃO	578.17	620.15	361.17	945.45	336.90	1484.79
	MELANCIA (ES)	94.57	834.68	1459.26	390.18	1557.96	440.13
	MELÃO (S)	1847.35	489.11	514.28	1810.55	699.90	1795.88
	GRAVIOLA	1473.26	1348.77	643.29	2156.44	1309.39	2749.84
	UVA	42868.46	43080.59	43080.53	42760.05	42868.46	42760.66
	COCO	4962.87	1953.63	7674.97	4260.46	7537.01	6400.65
	MANGA	81.79	3238.00	3183.56	1661.53	650.93	146.15
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	BANANA	572.34	509.14	360.05	190.60	23.71	11.52
	MAMÃO	304.80	378.01	344.64	276.78	101.79	27.69
	MELANCIA (ES)	64.96	117.57	770.60	170.43	773.09	11.72
	MELÃO (S)	900.58	87.45	932.19	896.13	33.58	659.22
	GRAVIOLA	450.78	791.05	36.48	498.30	461.67	417.04
	UVA	7043.98	494.04	11629.38	10579.24	15889.02	15347.46
	COCO	1114.93	1792.27	1094.91	788.65	444.11	798.62
	MANGA	321.28	599.17	297.58	180.85	315.52	255.88
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>54522.63</b>	<b>51910.29</b>	<b>57884.88</b>	<b>55147.38</b>	<b>56573.22</b>	<b>56274.22</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>10773.65</b>	<b>4768.70</b>	<b>15462.83</b>	<b>13580.98</b>	<b>18042.49</b>	<b>17529.14</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>65296.28</b>	<b>56678.99</b>	<b>73347.71</b>	<b>68728.36</b>	<b>74615.71</b>	<b>73803.36</b>

Tabela 9.9 – – Receita Líquida gerada para culturas do grupo II para cada perímetro para todos os cenários (R\$ MIL).

Receita Líquida (R\$ MIL)							
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	4.56	45.46	114.17	113.02	95.59	95.62
	Feijão (es)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Milho (s)	14.37	163.35	574.16	573.81	533.29	533.18
	Milho (es)	4.37	134.62	472.49	0.00	482.42	0.00
	Algodão	696.39	749.99	53.74	749.04	506.72	748.38
	Arroz	2.64	0.00	0.00	123.12	0.00	0.00
	Batatinha	6760.11	6558.69	6760.16	6760.16	6651.34	6651.34
	Cebola	5462.13	5323.79	5475.52	5476.33	5395.98	5395.48
Tomate	8791.70	8669.39	8792.09	8792.22	8751.03	8751.03	
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	2.25	0.31	19.03	5.19	13.55	13.55
	Feijão (es)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Milho (s)	219.99	4.72	214.20	117.58	196.12	195.96
	Milho (es)	0.03	30.50	17.00	45.01	0.00	0.00
	Algodão	41.46	1.46	15.51	0.00	0.00	0.00
	Arroz	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Batatinha	2210.10	3193.53	1622.93	1761.45	1457.21	1458.98
	Cebola	2631.35	1410.66	3245.30	2916.16	3799.92	3798.31
Tomate	7690.57	7596.02	7690.32	7597.60	7644.46	7644.46	
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>21736.27</b>	<b>21645.28</b>	<b>22242.32</b>	<b>22587.70</b>	<b>22416.38</b>	<b>22175.03</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>12789.75</b>	<b>12237.20</b>	<b>12824.29</b>	<b>12442.99</b>	<b>13111.26</b>	<b>13111.26</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>34526.03</b>	<b>33882.48</b>	<b>35066.61</b>	<b>35030.69</b>	<b>35527.64</b>	<b>35286.29</b>

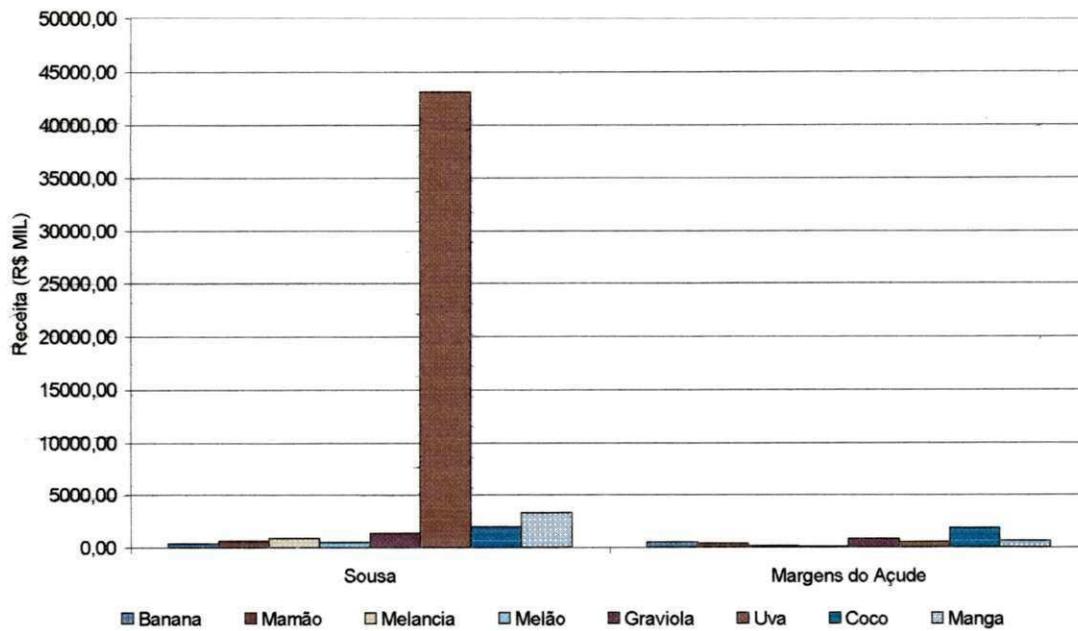


Gráfico 9.25 - Receita Líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do Volume máximo - Grupo I

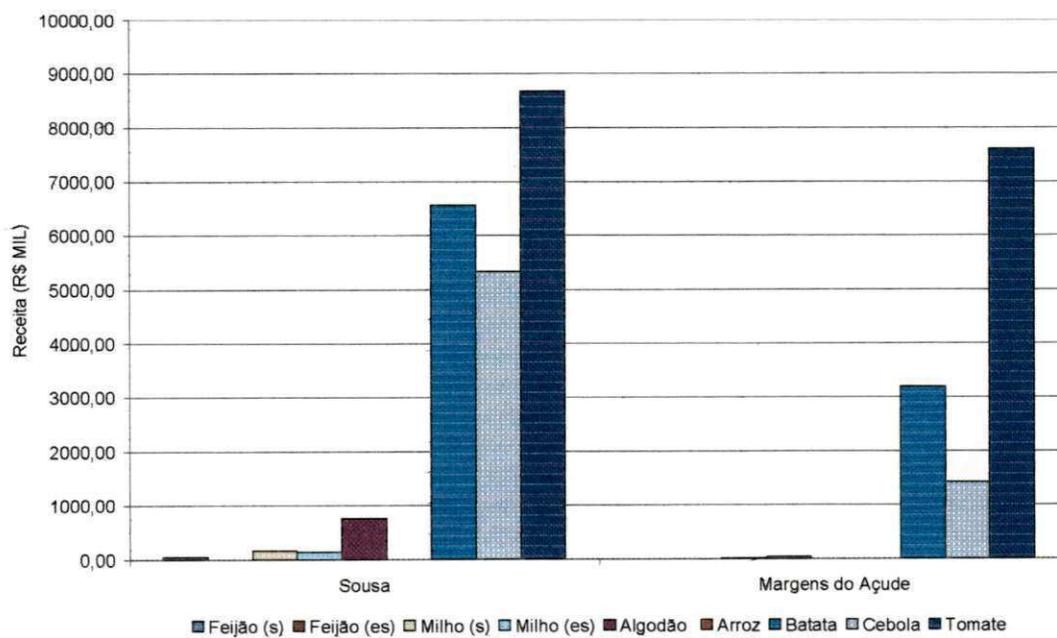


Gráfico 9.26 - Receita Líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Seco - volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

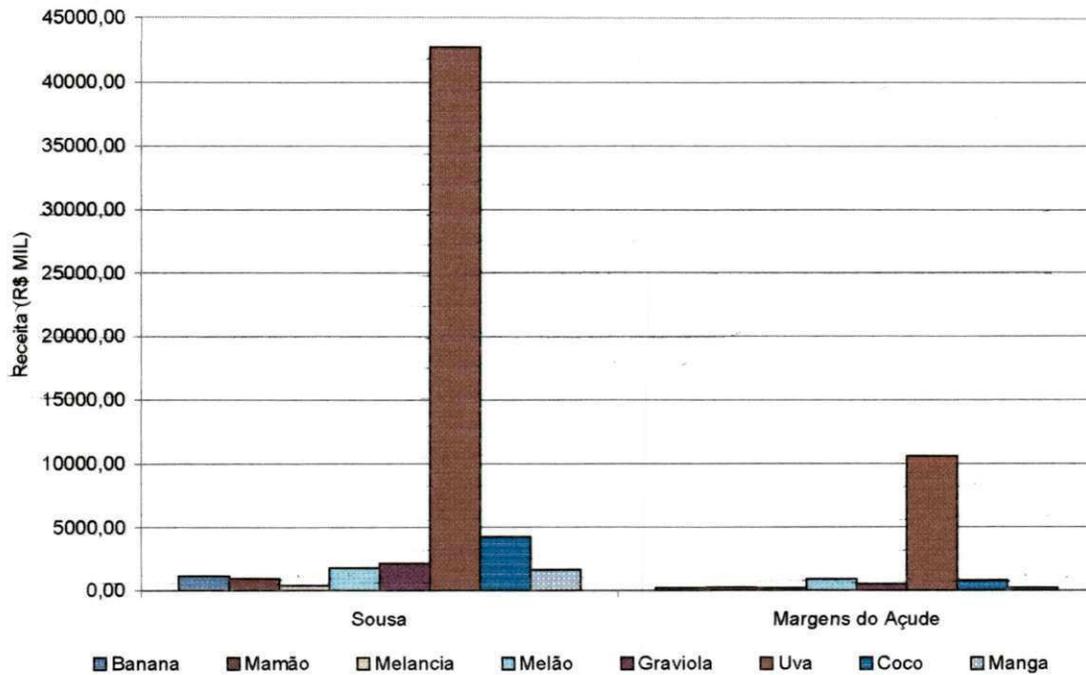


Gráfico 9.27 - Receita Líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

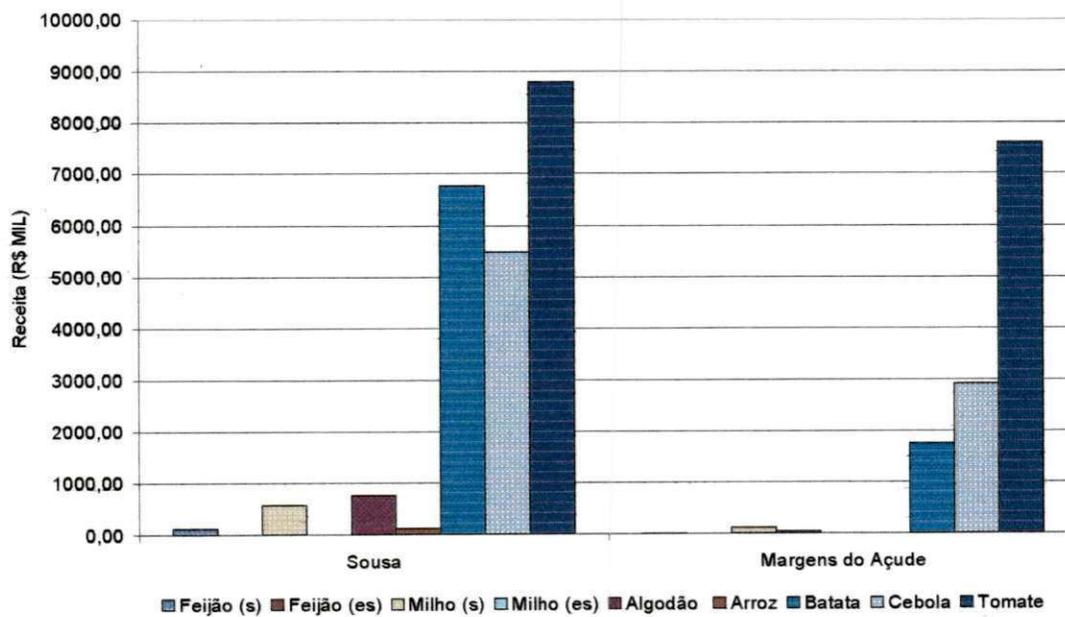


Gráfico 9.28 - Receita Líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

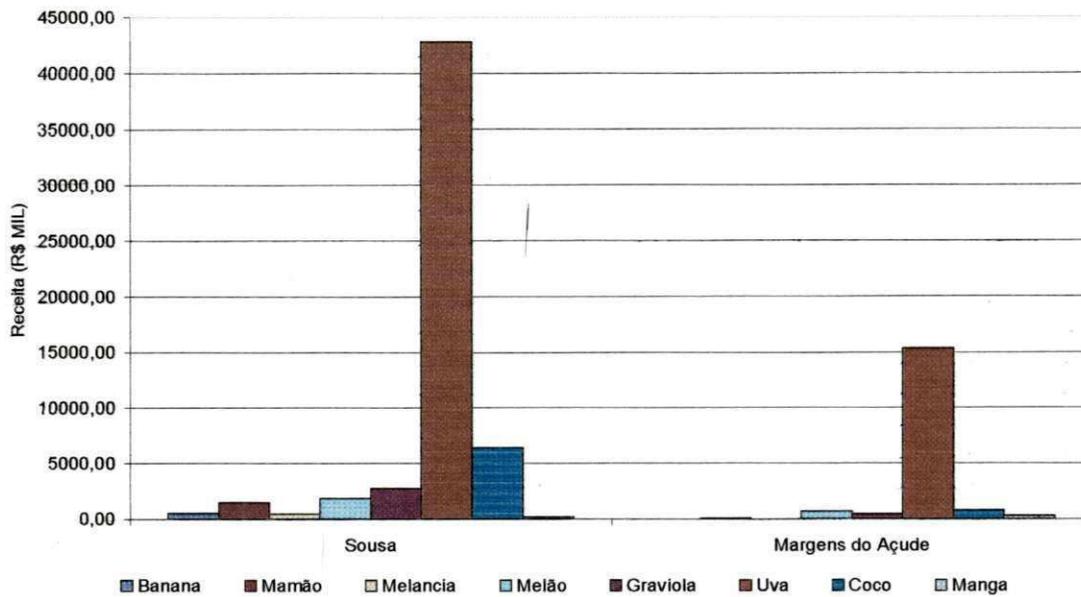


Gráfico 9.29 - Receita Líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

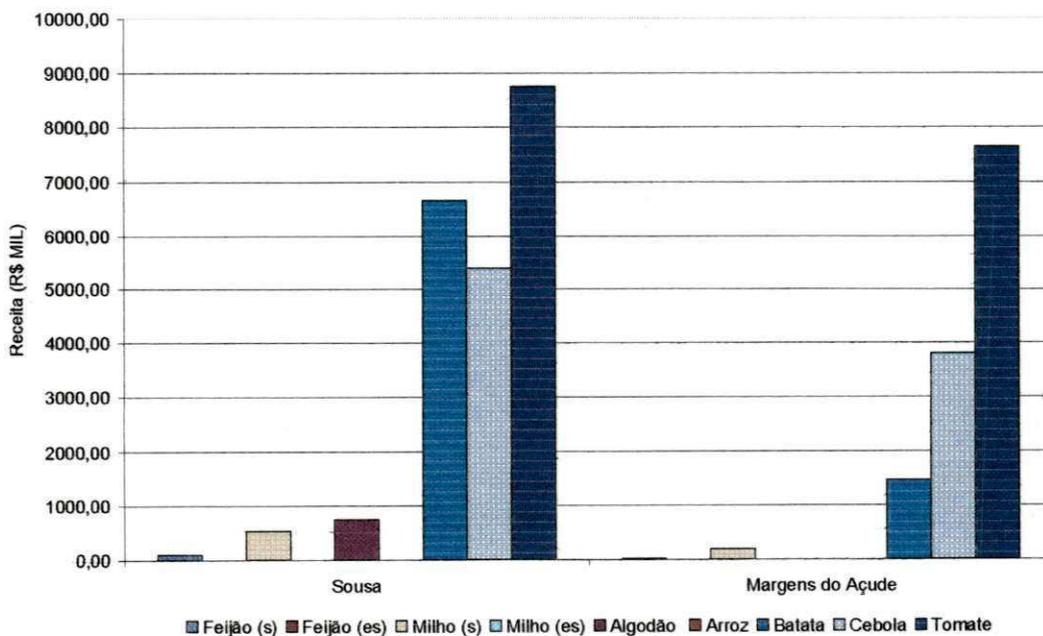


Gráfico 9.30 - Receita Líquida gerada por cultura e por perímetro  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

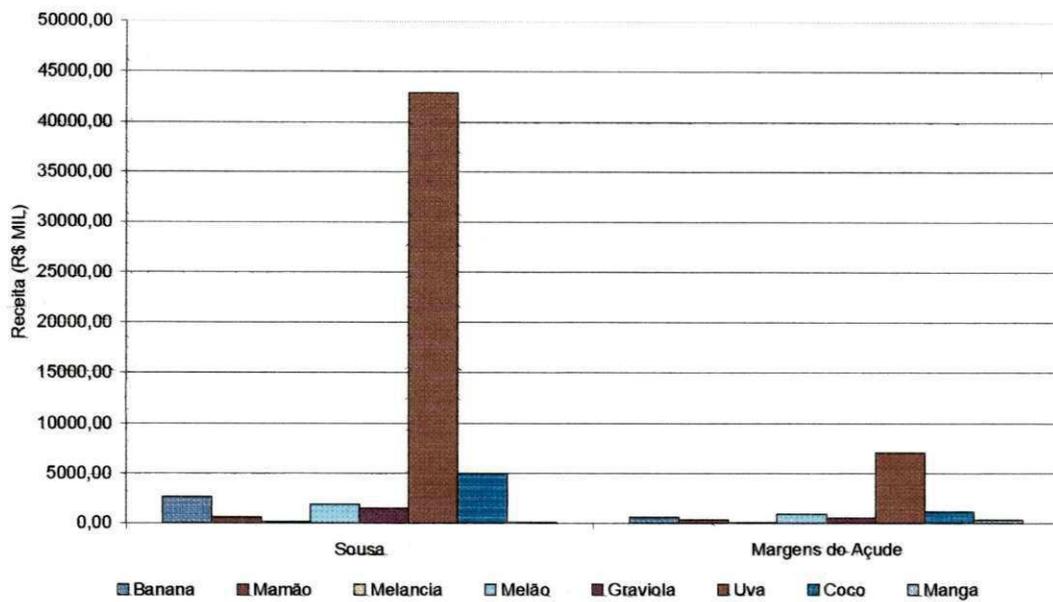


Gráfico 9.31 - Receita líquida por perímetro e por cultura  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

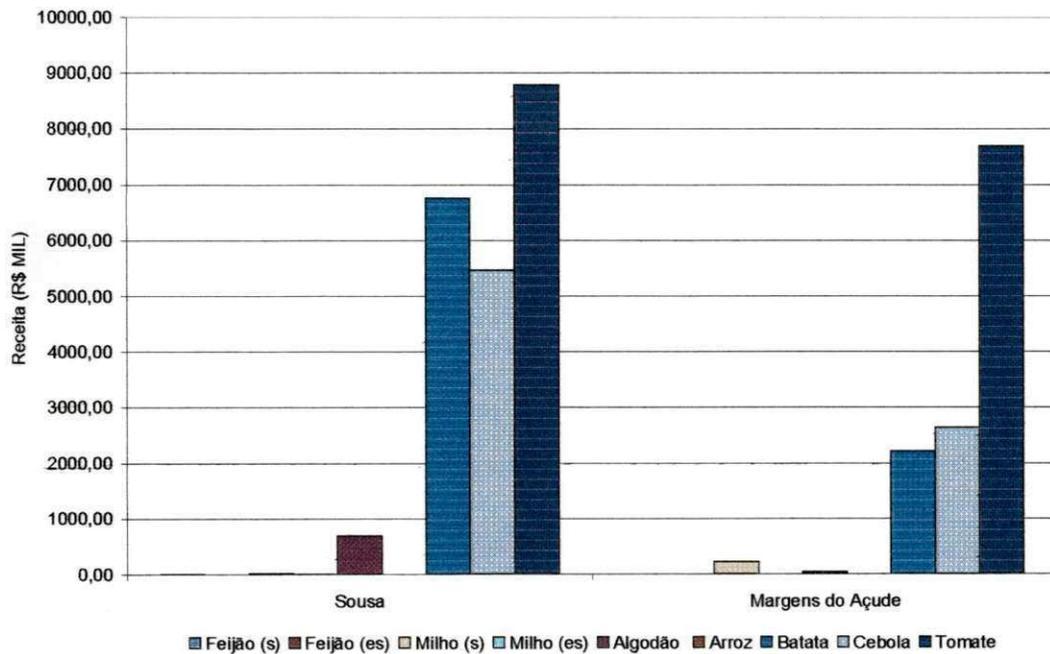


Gráfico 9.32 - Receita líquida por cultura e por perímetro  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

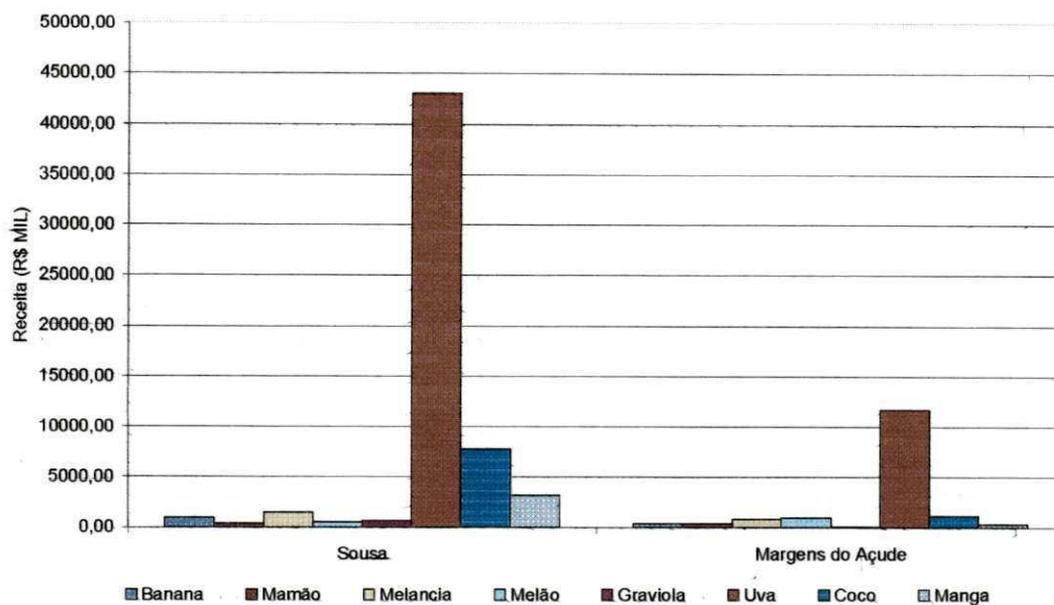


Gráfico 9.33 -Receita líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

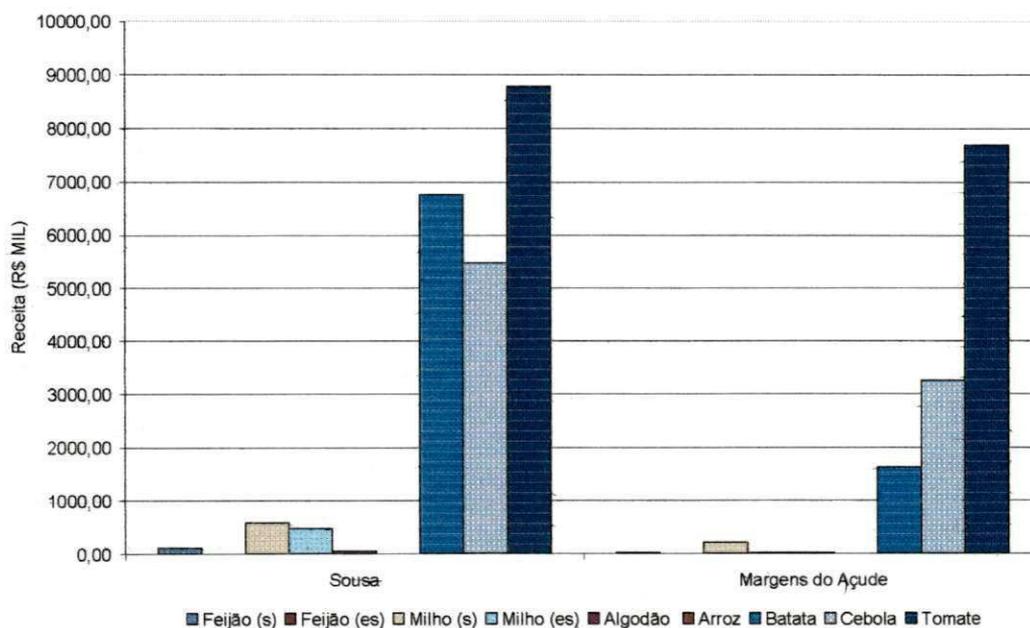


Gráfico 9.34 -Receita líquida gerada por cultura e por perímetro  
Ano Normal - volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

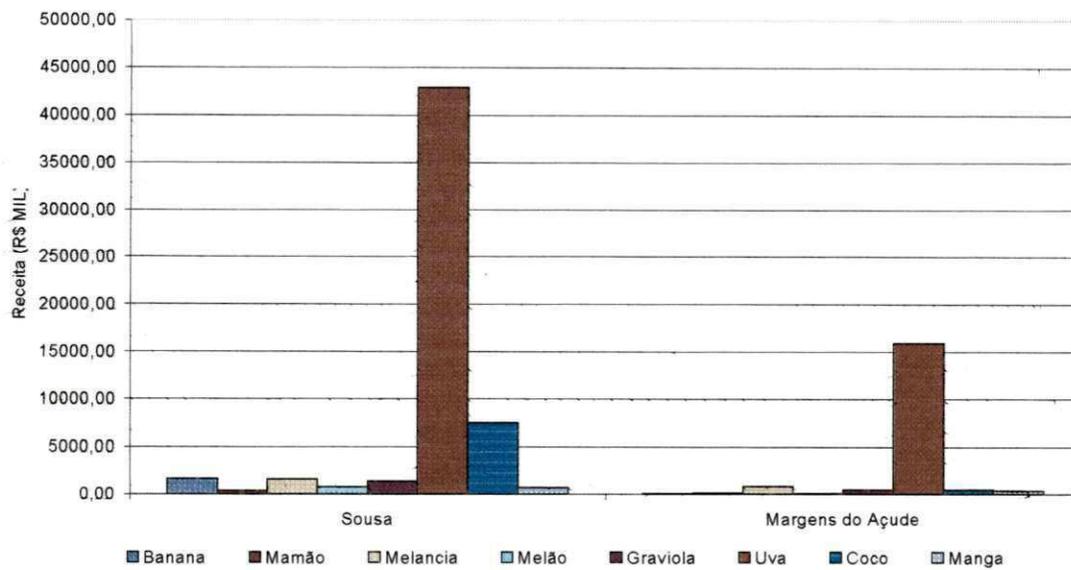


Gráfico 9.35 - Receita líquida por perímetro e por cultura  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

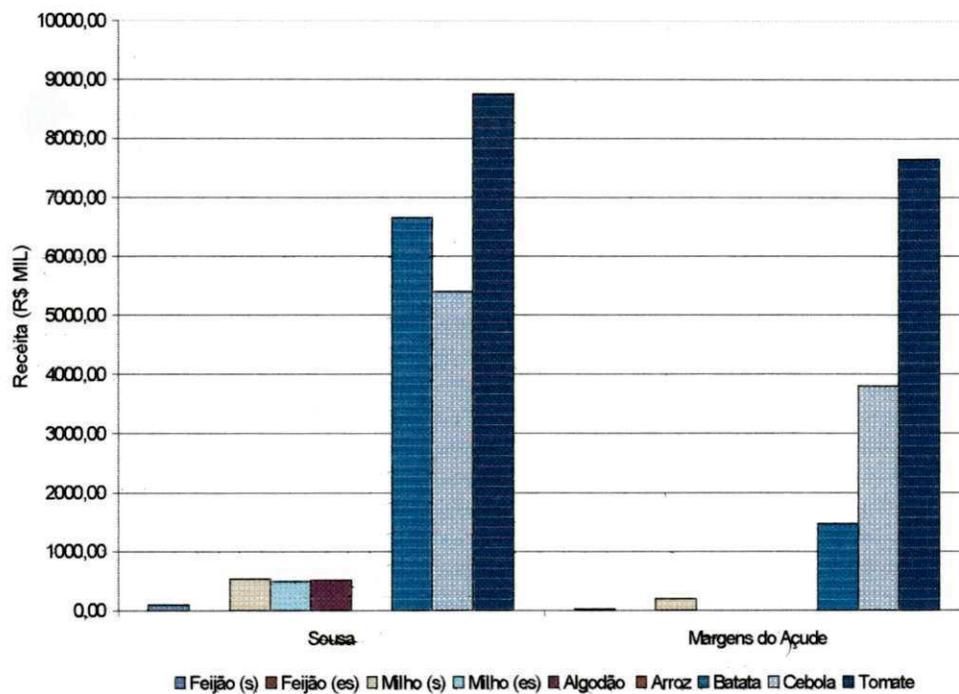


Gráfico 9.36 - Receita líquida por cultura e por perímetro.  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.10 – Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do Grupo I (m<sup>3</sup>/s).

Vazões Mensais para Irrigação (m <sup>3</sup> /s).							
PERÍMETROS	MESES	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
S O U S A	Janeiro	3.271	3.357	3.024	2.829	1.898	1.167
	Fevereiro	1.529	1.635	0.676	0.598	0.000	0.000
	Março	0.035	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000
	Abril	0.553	0.555	0.473	0.462	0.000	0.000
	Maio	2.020	2.044	1.824	1.838	0.785	0.579
	Junho	2.140	2.092	2.179	2.167	1.864	1.438
	Julho	2.752	2.779	2.788	2.812	2.757	2.216
	Agosto	3.361	3.094	3.328	3.361	3.383	3.288
	Setembro	4.000	3.745	3.761	3.863	3.815	4.000
	Outubro	3.999	3.682	3.961	4.000	3.987	3.871
	Novembro	3.960	3.999	3.967	4.000	3.998	3.215
	Dezembro	3.679	3.596	3.931	3.911	3.591	2.790
<b>TOTAL</b>		<b>31.299</b>	<b>30.631</b>	<b>29.912</b>	<b>29.841</b>	<b>26.078</b>	<b>22.564</b>
MARGENS DO AÇUDE	Janeiro	0.985	1.000	1.000	0.949	0.872	0.392
	Fevereiro	0.523	0.505	0.533	0.514	0.204	0.048
	Março	0.043	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000
	Abril	0.216	0.245	0.003	0.007	0.000	0.000
	Maio	0.463	0.489	0.393	0.396	0.207	0.167
	Junho	0.443	0.502	0.512	0.489	0.442	0.379
	Julho	0.621	0.657	0.669	0.670	0.656	0.589
	Agosto	0.830	0.829	0.830	0.830	0.804	0.807
	Setembro	0.998	0.911	0.927	0.982	0.941	1.000
	Outubro	1.000	0.999	1.000	1.000	0.969	0.972
	Novembro	0.929	0.981	0.997	1.000	1.000	0.900
	Dezembro	0.779	0.882	0.873	0.835	0.756	0.651
<b>TOTAL</b>		<b>7.83</b>	<b>8.045</b>	<b>7.737</b>	<b>7.672</b>	<b>6.851</b>	<b>5.905</b>

Tabela 9.11 – Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do Grupo II (m<sup>3</sup>/s).

Vazões Mensais para Irrigação (m <sup>3</sup> /s).							
PERÍMETROS	MESES	ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
S O U S A	Janeiro	0.178	0.649	0.540	0.540	0.178	0.178
	Fevereiro	0.138	0.819	0.543	0.543	0.000	0.003
	Março	0.000	1.147	0.046	0.046	0.000	0.000
	Abril	0.000	1.521	0.337	0.337	0.000	0.000
	Maio	1.325	2.152	1.632	1.633	1.013	0.707
	Junho	1.154	1.252	1.227	1.227	1.154	1.153
	Julho	1.315	1.364	1.364	1.364	1.314	1.313
	Agosto	1.914	2.016	1.914	2.130	1.842	1.883
	Setembro	3.101	3.315	3.090	3.625	3.611	3.561
	Outubro	3.218	3.548	3.199	4.000	4.000	4.000
	Novembro	2.781	3.057	2.787	3.570	3.682	3.421
	Dezembro	2.010	2.231	2.205	2.205	2.010	2.008
<b>TOTAL</b>		<b>17.134</b>	<b>23.071</b>	<b>18.884</b>	<b>21.22</b>	<b>18.804</b>	<b>18.227</b>
MARGENS DO AÇUDE	Janeiro	0.302	0.289	0.290	0.290	0.119	0.114
	Fevereiro	0.228	0.204	0.299	0.299	0.000	0.000
	Março	0.415	0.361	0.037	0.037	0.000	0.000
	Abril	0.778	0.619	0.291	0.291	0.000	0.000
	Maio	1.000	0.805	0.934	0.934	0.572	0.553
	Junho	0.468	0.514	0.488	0.488	0.425	0.443
	Julho	0.578	0.529	0.654	0.654	0.568	0.549
	Agosto	0.668	0.631	0.703	0.703	0.662	0.655
	Setembro	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Outubro	0.912	0.857	0.861	0.861	0.923	0.902
	Novembro	0.945	0.852	0.955	0.956	0.957	0.900
	Dezembro	0.788	0.865	0.830	0.830	0.694	0.725
<b>TOTAL</b>		<b>8.082</b>	<b>7.526</b>	<b>7.342</b>	<b>7.343</b>	<b>5.920</b>	<b>5.841</b>

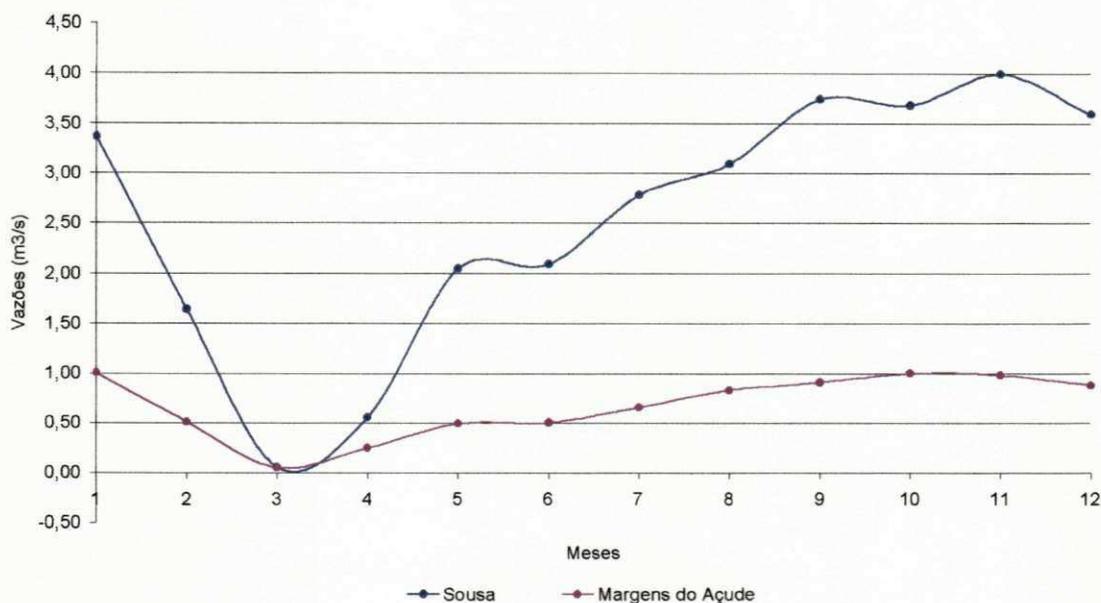


Gráfico 9.37 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano seco - Volume Inicial = 80% do Volume máximo - Grupo I

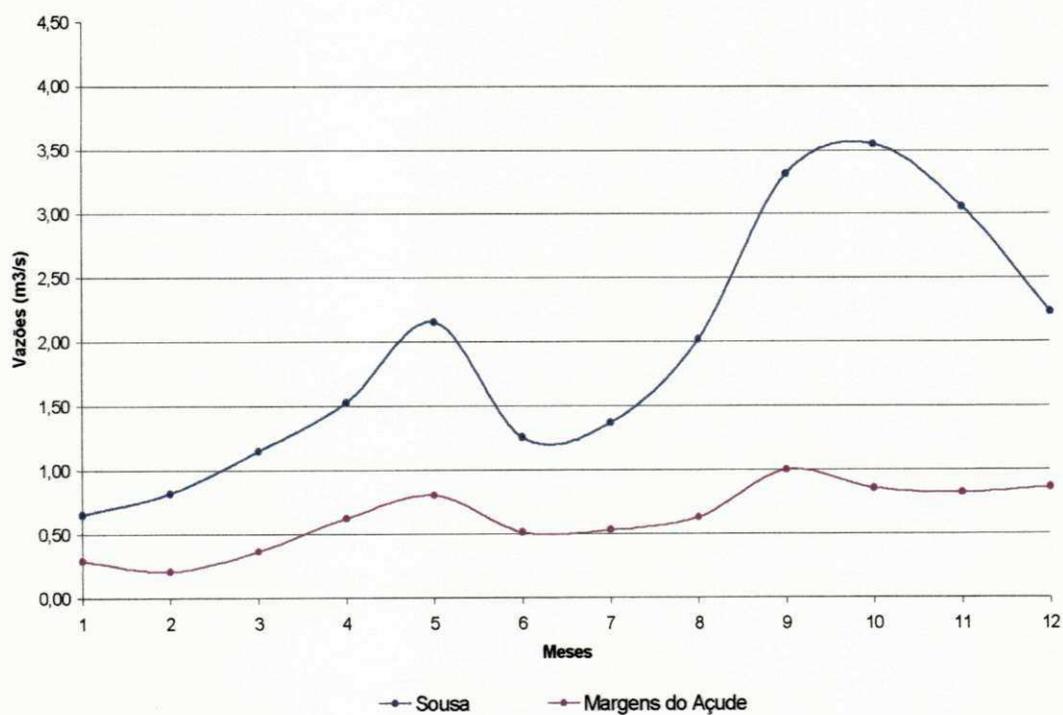


Gráfico 9.38 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

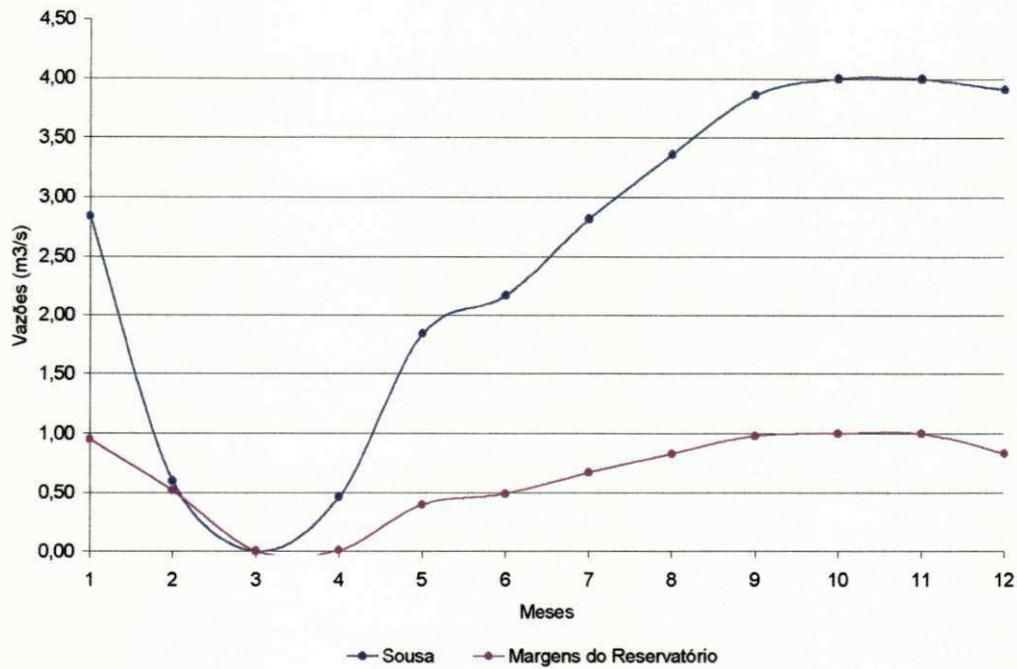


Gráfico 9.39 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

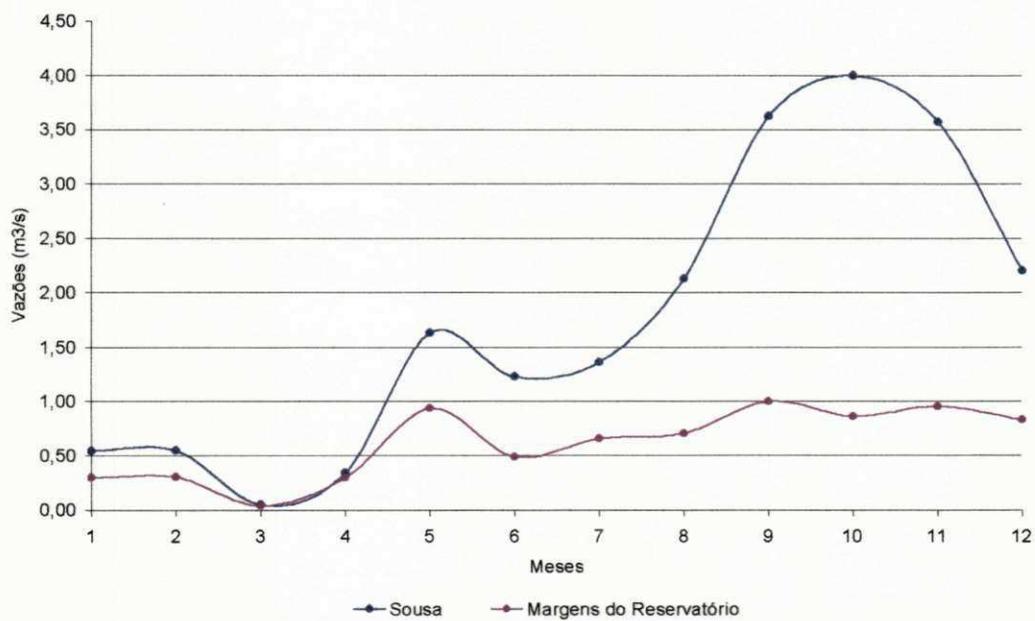


Gráfico 9.40 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

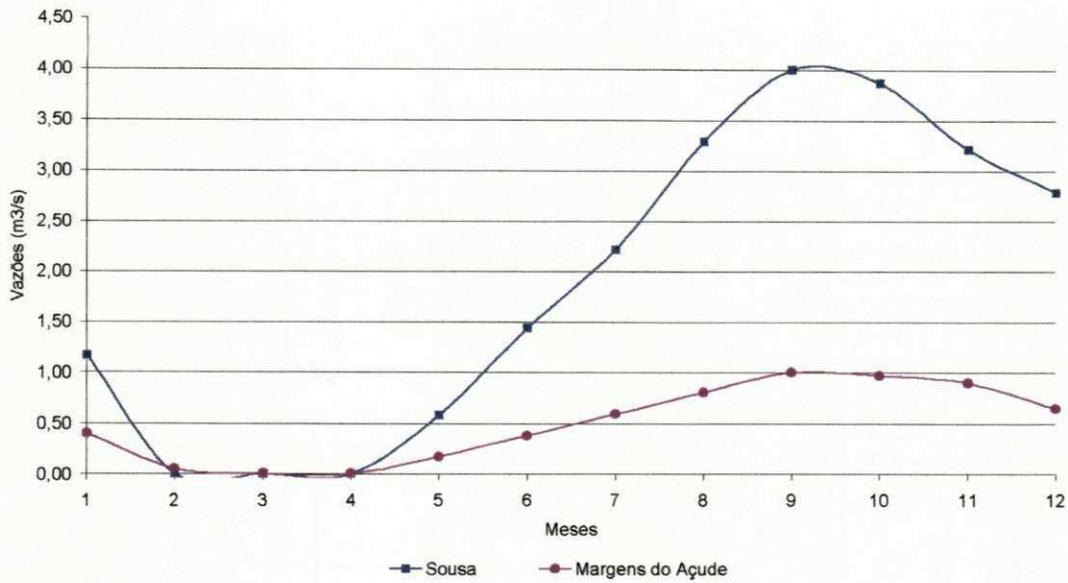


Gráfico 9.41 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

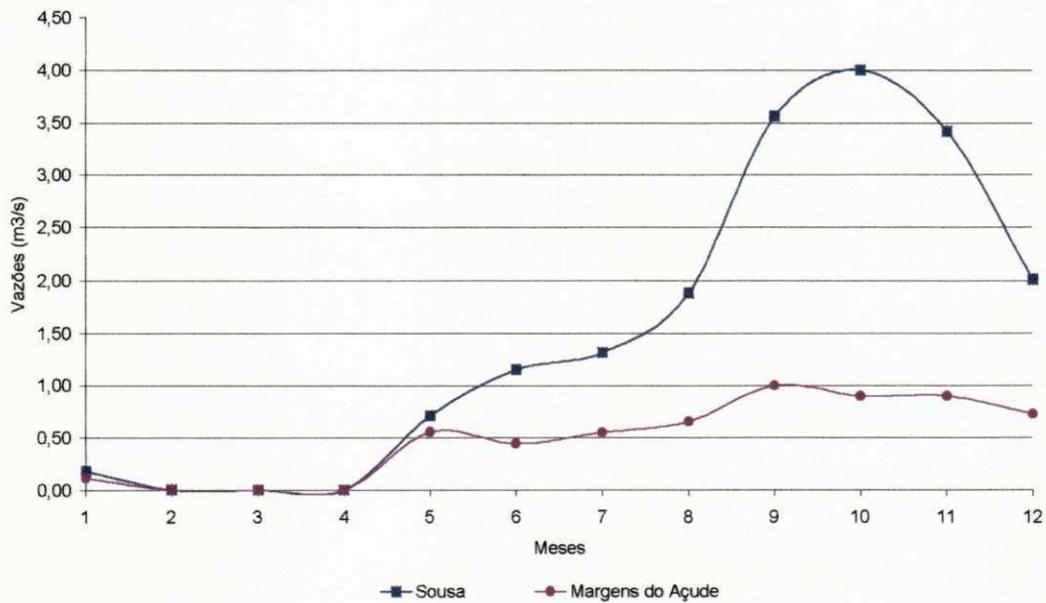


Gráfico 9.42 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

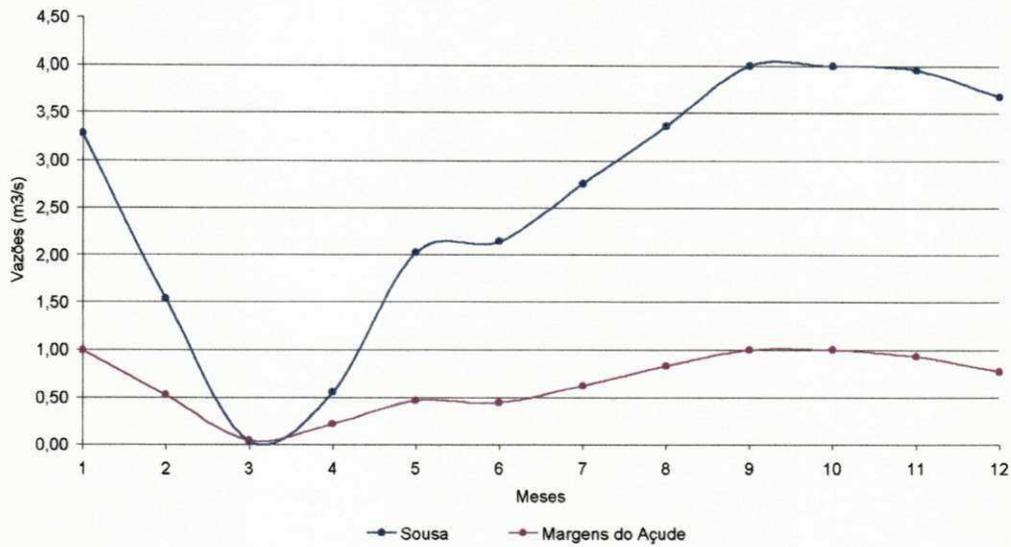


Gráfico 9.43 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

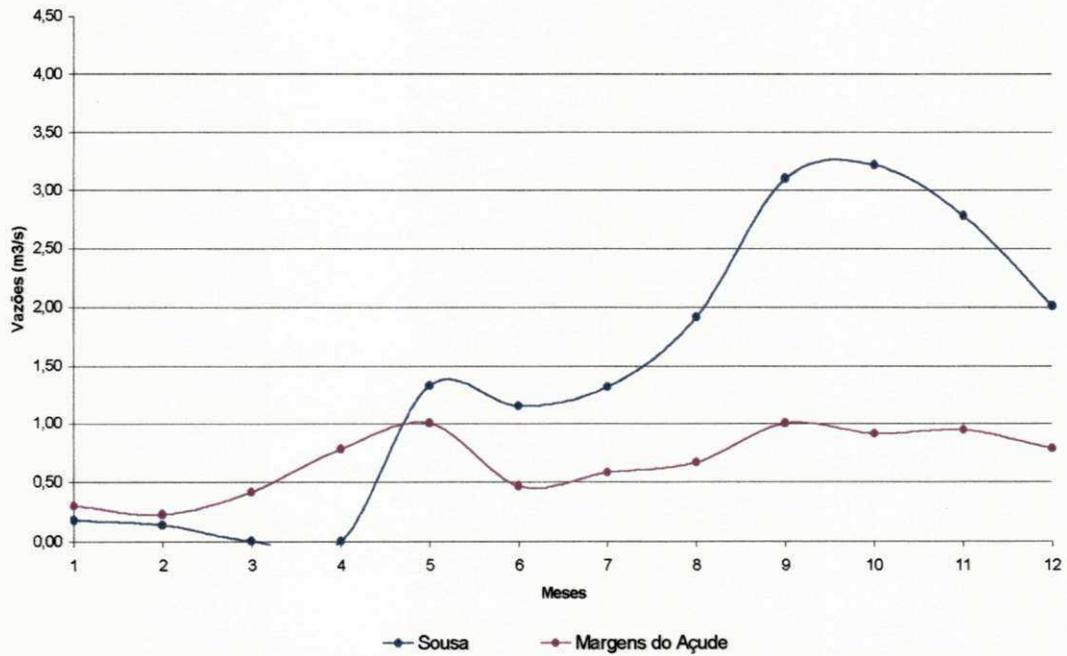


Gráfico 9.44 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

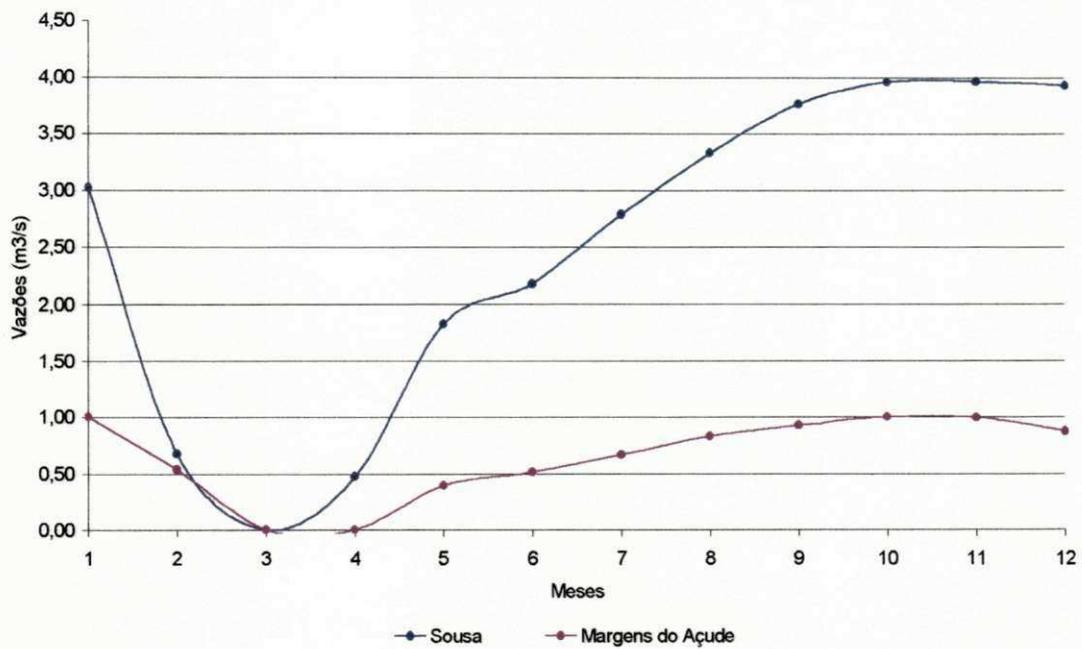


Gráfico 9.45 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

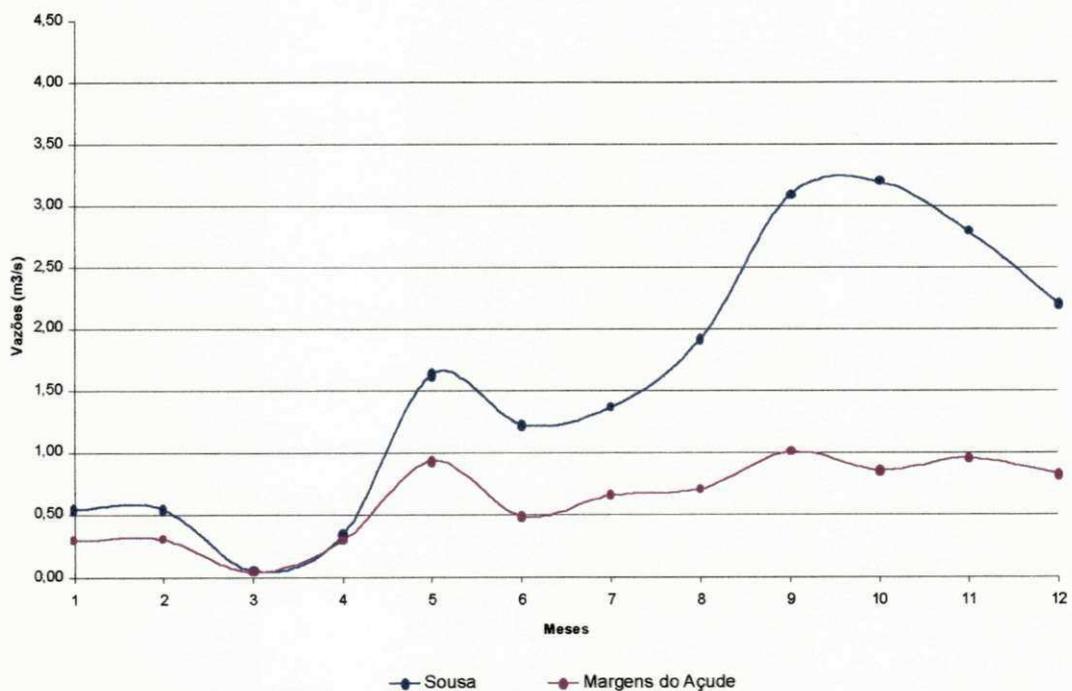


Gráfico 9.46 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

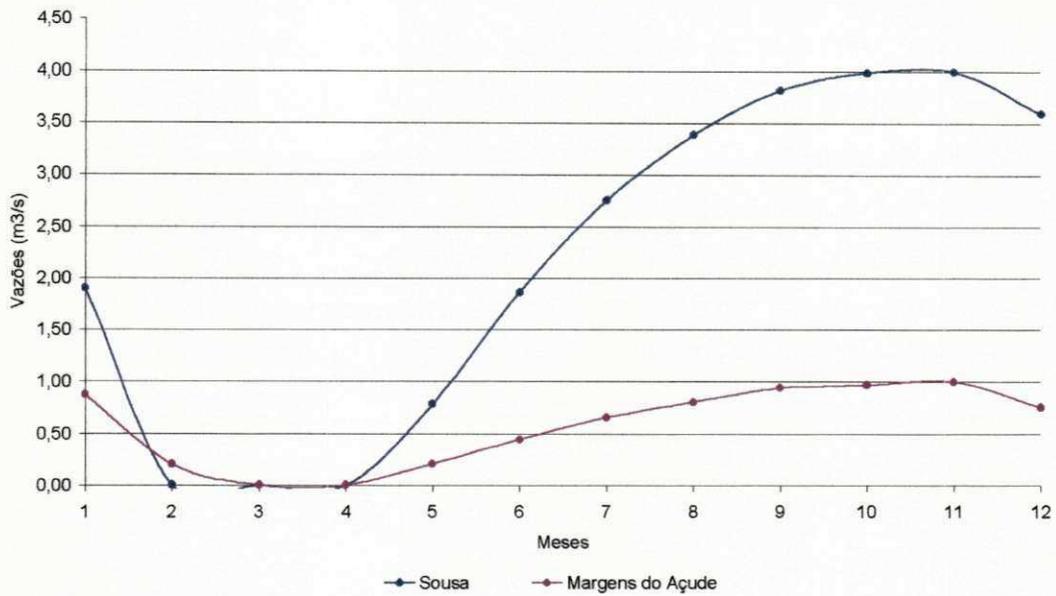


Gráfico 9.47 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

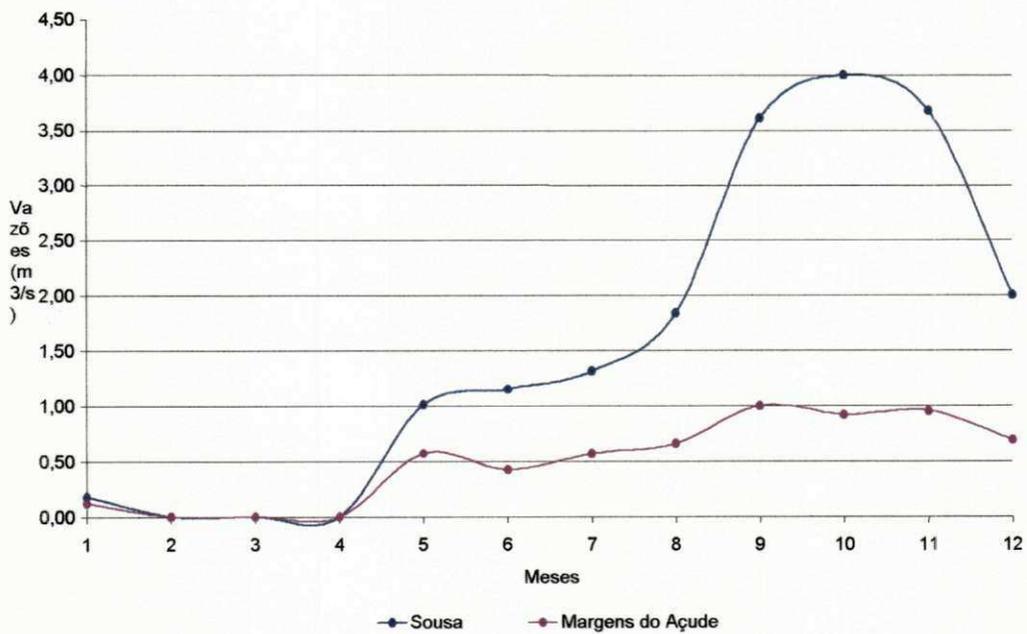


Gráfico 9.48 - vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.12 – Resultados obtidos para a piscicultura para todos os cenários para culturas do grupo I.

PISCICULTURA							
C O R E M A S		ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
	Nº DE DESPESCA POR ANO	1	1	1	1	1	1
	ÁREA MÍNIMA (km <sup>2</sup> )	74.496	96.063	74.705	96.296	76.147	136.596
	PRODUÇÃO (ton.)	893.96	1152.75	896.46	1155.56	913.76	1639.15
	MÃO DE OBRA (homens)	596	769	598	770	609	1093
	RECEITA LÍQUIDA (R\$ MIL)	1318.58	1700.31	1322.28	1704.44	1347.79	2417.75

Tabela 9.13 – Resultados obtidos para a piscicultura para todos os cenários para culturas do grupo II.

PISCICULTURA							
C O R E M A S		ANO SECO		ANO NORMAL		ANO CHUVOSO	
		V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%	V <sub>INICIAL</sub> = 60%	V <sub>INICIAL</sub> = 80%
	Nº DE DESPESCA POR ANO	1	1	1	1	1	1
	ÁREA MÍNIMA (km <sup>2</sup> )	75.368	96.805	75.425	135.58	76.634	136.524
	PRODUÇÃO (ton.)	904.41	1161.66	905.10	1626.93	919.60	1638.29
	MÃO DE OBRA (homens)	603	774	603	1085	613	1092
	RECEITA LÍQUIDA (R\$ MIL)	1334.01	1713.45	1335.03	2399.72	1356.42	2416.48

Tabela 9.14 – Receita global gerada com irrigação, piscicultura e geração de energia elétrica para os dois grupos de cultura (R\$Mil)

Grupos	Uso		Receita Global (R\$ Mil)					
			Ano Seco		Ano Normal		Ano Chuvoso	
			V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%	V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%	V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%
GRUPO I	IRRIGAÇÃO	SOUSA	54.522,63	51.910,29	57.884,88	55.147,38	56.573,22	56.274,22
		MARGENS	10.773,65	4.768,70	15.462,83	13.580,98	18.042,49	17.529,14
	PISCICULTURA		1.322,28	1.704,40	1.318,58	1.700,31	1.347,79	2.417,75
	GERAÇÃO DE ENERGIA		1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00
	TOTAL			67.853,56	59.618,39	75.901,29	71.663,67	77.198,20
GRUPO II	IRRIGAÇÃO	SOUSA	21.736,27	21.645,28	22.242,32	22.587,70	22.416,38	22.175,03
		MARGENS	12.789,75	12.237,20	12.824,29	12.442,90	13.111,26	13.111,26
	PISCICULTURA		1.334,01	1.713,45	1.335,03	2.399,72	1.356,42	2.416,48
	GERAÇÃO DE ENERGIA		1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00	1.235,00
	TOTAL			37.095,03	36.830,93	37.636,64	38.665,41	38.119,06

Tabela 9.15 – Percentual da receita global gerada com irrigação, piscicultura e geração de energia elétrica para os dois grupos de cultura (%).

Grupos	Uso		Percentual da Receita Global (%)					
			Ano Seco		Ano Normal		Ano Chuvoso	
			V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%	V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%	V <sub>inicial</sub> = 60%	V <sub>inicial</sub> = 80%
GRUPO I	IRRIGAÇÃO	SOUSA	80.35	87.07	76.26	76.95	73.28	72.65
		MARGENS	15.88	8.00	20.37	18.95	23.37	22.63
	PISCICULTURA		1.95	2.86	1.74	2.37	1.75	3.12
	GERAÇÃO DE ENERGIA		1.82	2.07	1.63	1.72	1.60	1.59
	TOTAL		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
GRUPO II	IRRIGAÇÃO	SOUSA	58.60	58.77	59.10	58.42	58.81	56.95
		MARGENS	34.48	33.22	34.07	32.18	34.39	33.67
	PISCICULTURA		3.60	4.65	3.55	6.20	3.56	6.21
	GERAÇÃO DE ENERGIA		3.33	3.35	3.28	3.19	3.24	3.17
	TOTAL		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

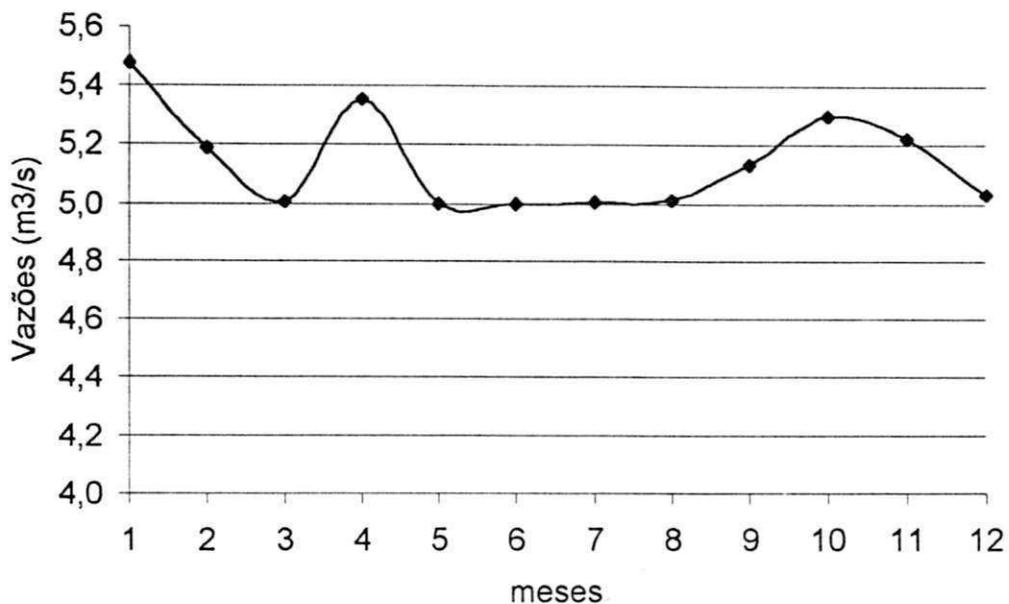


Gráfico 9.49 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

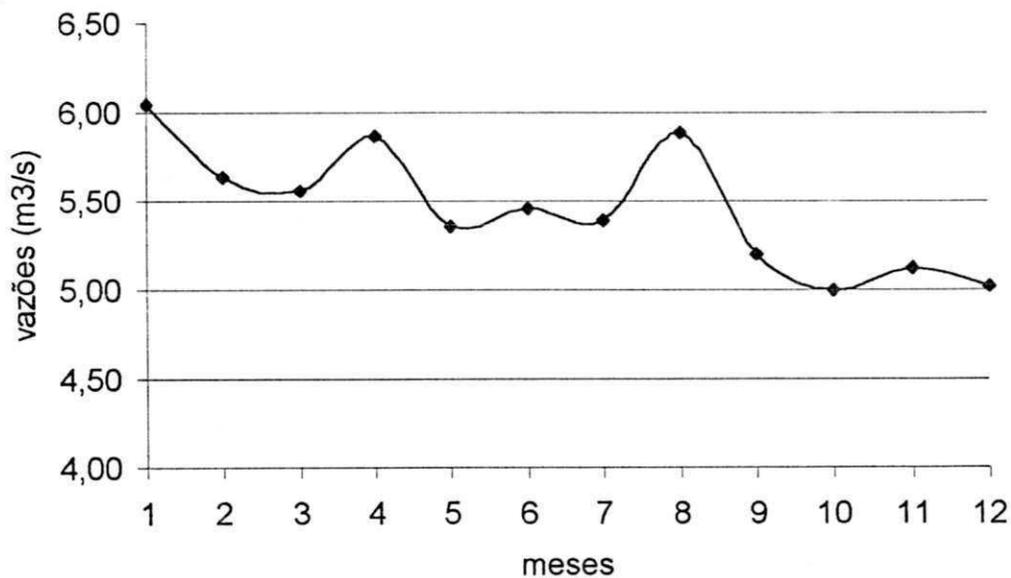


Gráfico 9.50 - Vazões Mensais para regularização de vazão do rio Piancó  
Ano Seco - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

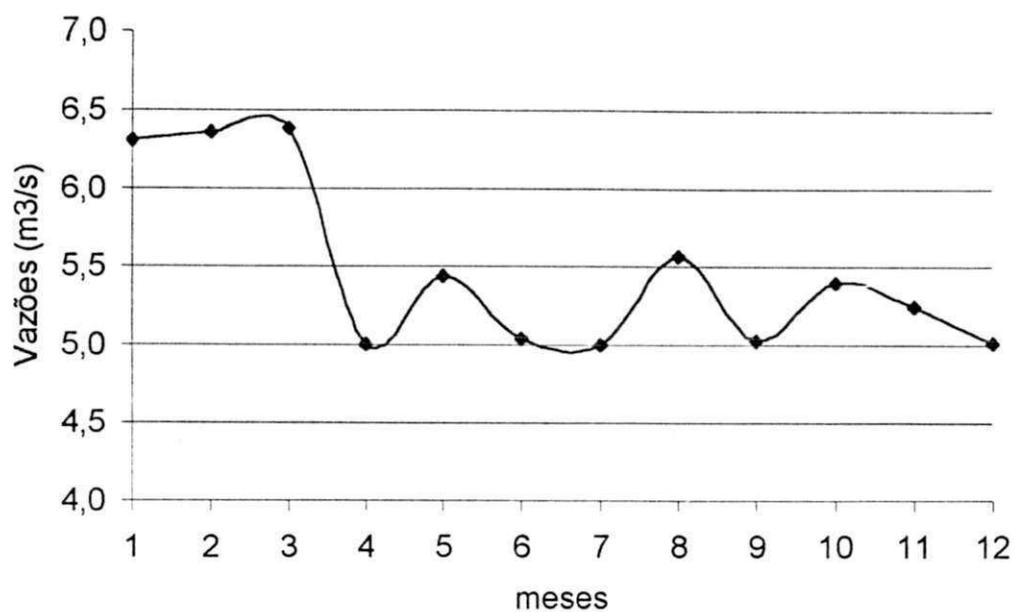


Gráfico 9.51 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

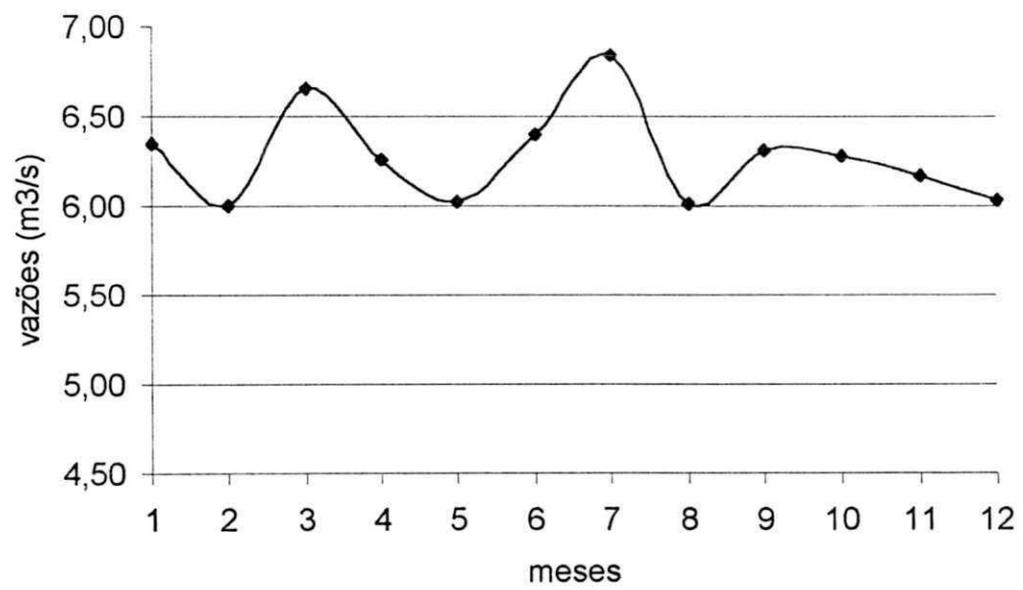


Gráfico 9.52 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó.  
Ano Normal - Volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

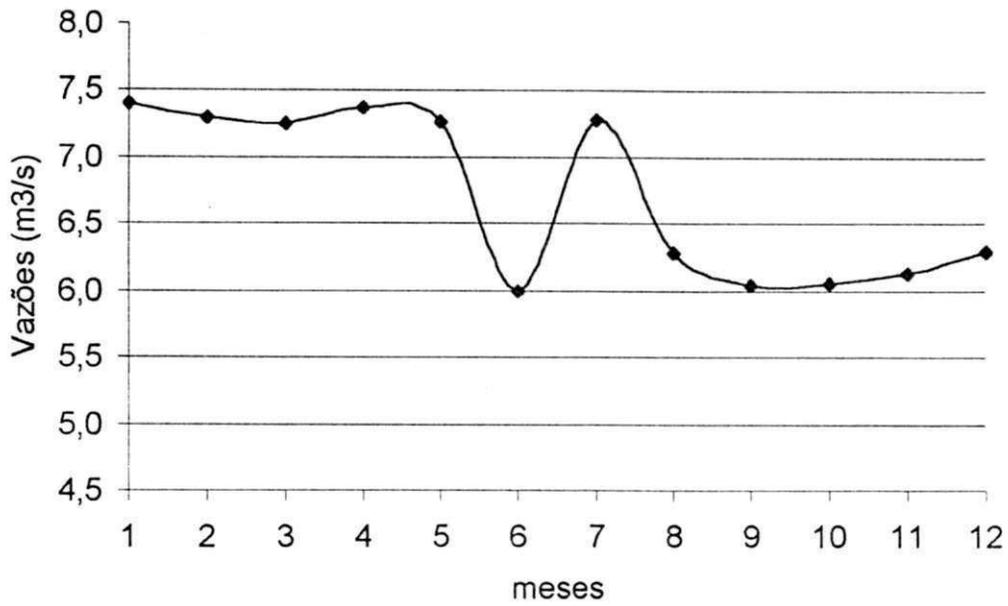


Gráfico 9.53 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó Ano Chuvoso volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo I

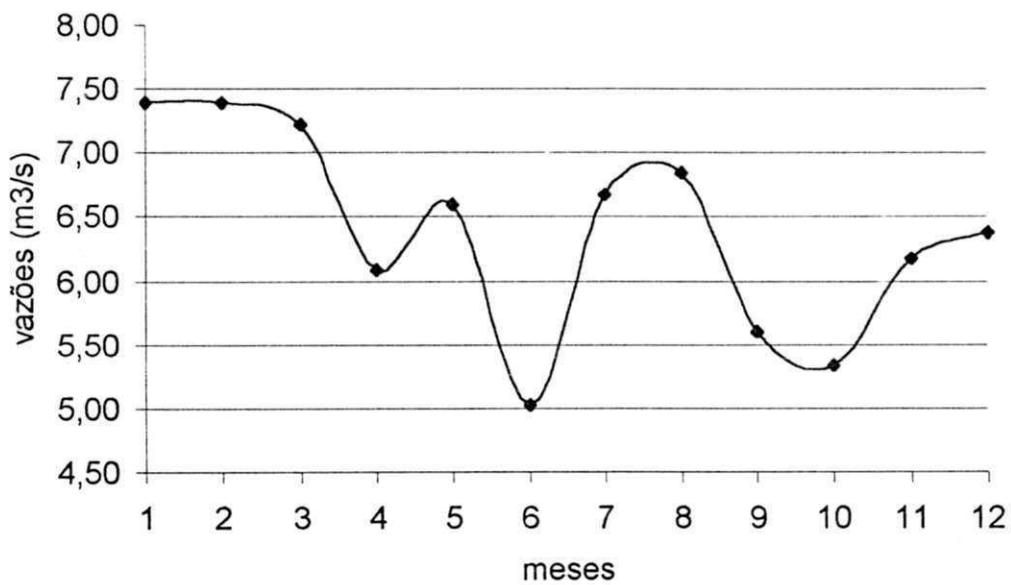


Gráfico 9.54 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó Ano Chuvoso volume inicial = 80% do volume máximo - Grupo II

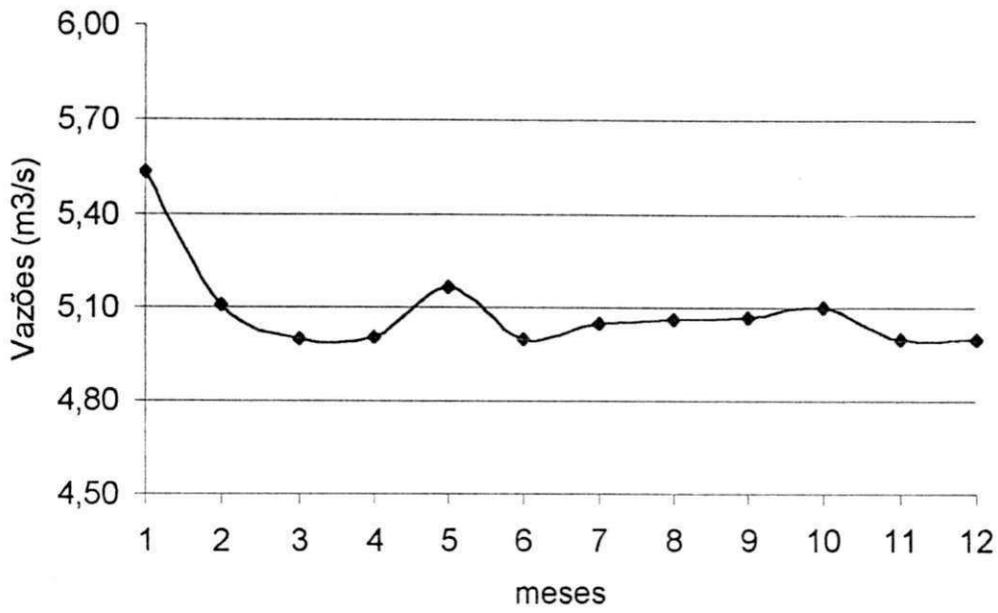


Gráfico 9.55 - Vazões mensais para regularização do rio Piancó  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

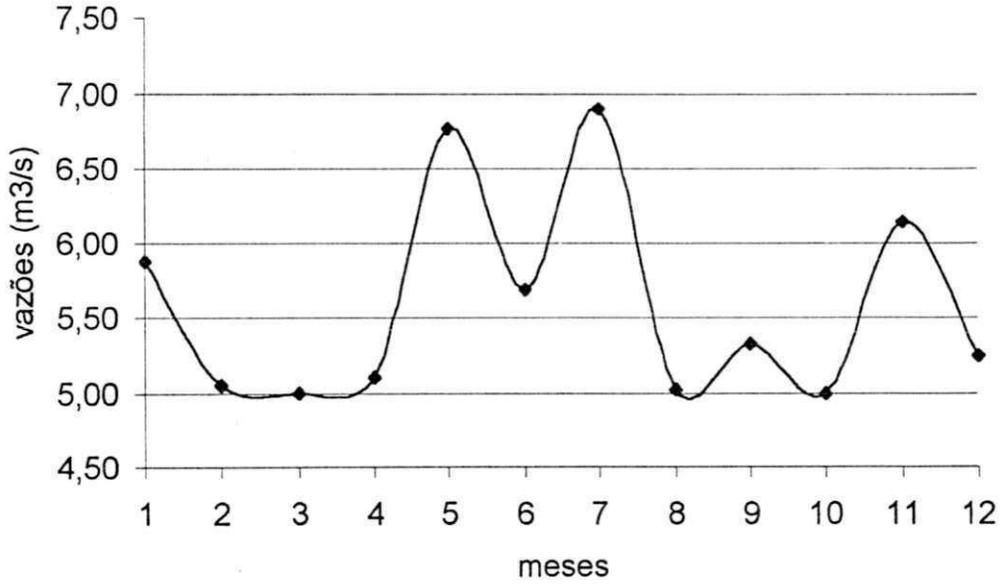


Gráfico 9.56 - Vazões mensais para regularização de vazão do rio Piancó  
Ano Seco - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

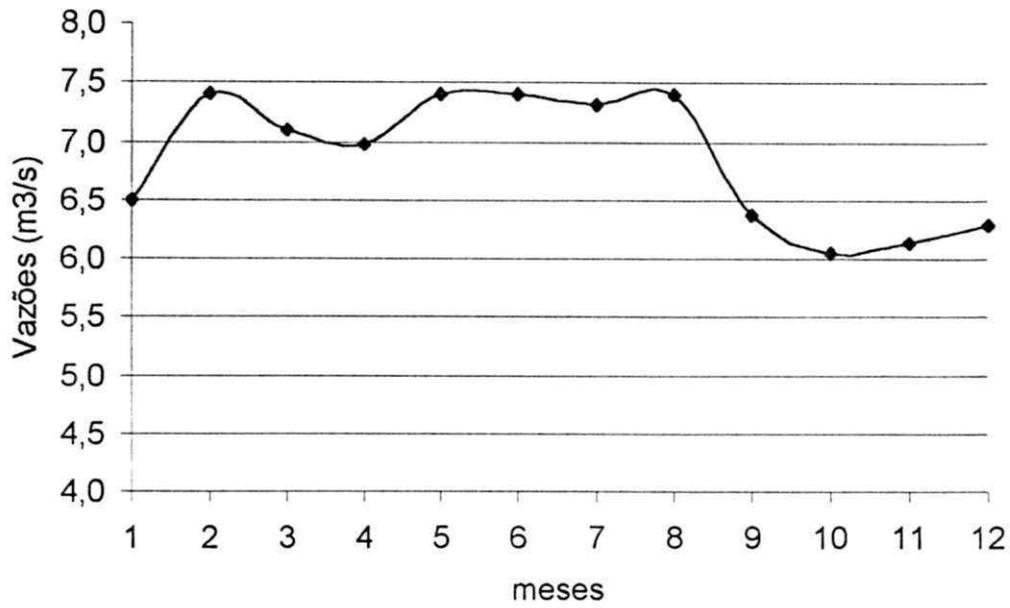


Gráfico 9.57 - Vazões mensais para regularização do rio Piancó.  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

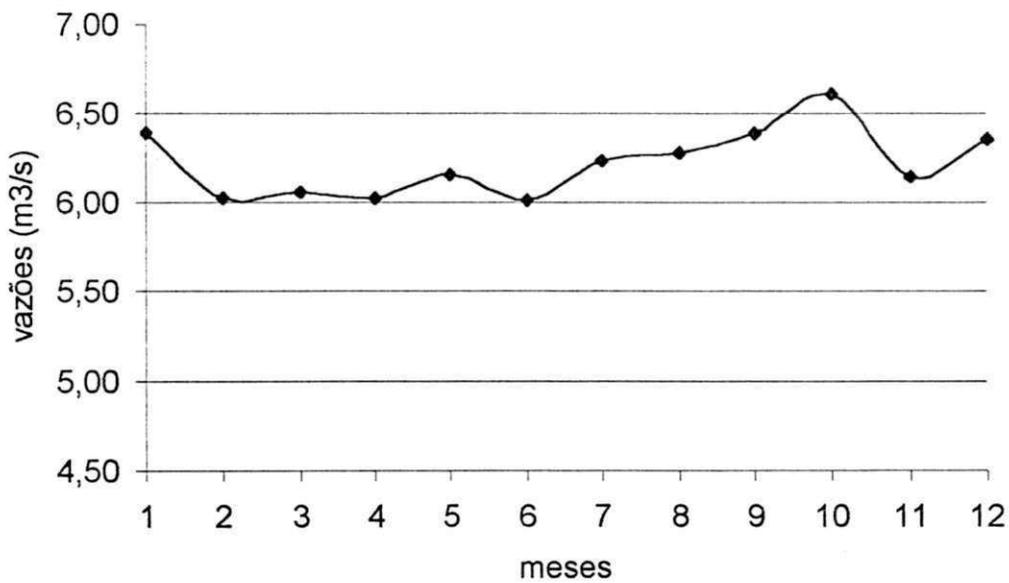


Gráfico 9.58 - Vazões mensais para regularização do rio Piancó  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

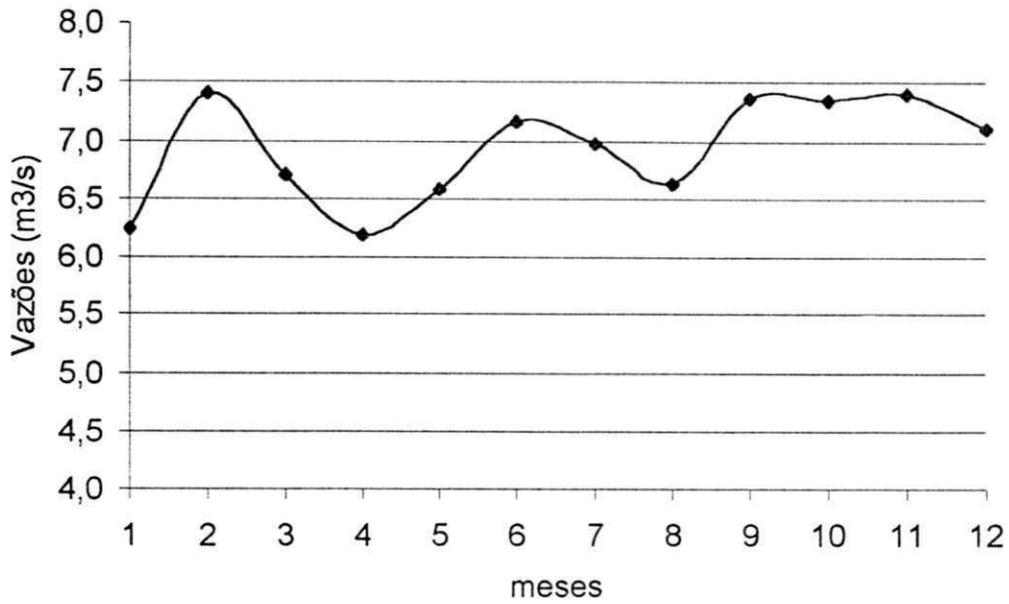


Gráfico 9.59 - Vazões mensais para regularização do rio Piancó.  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

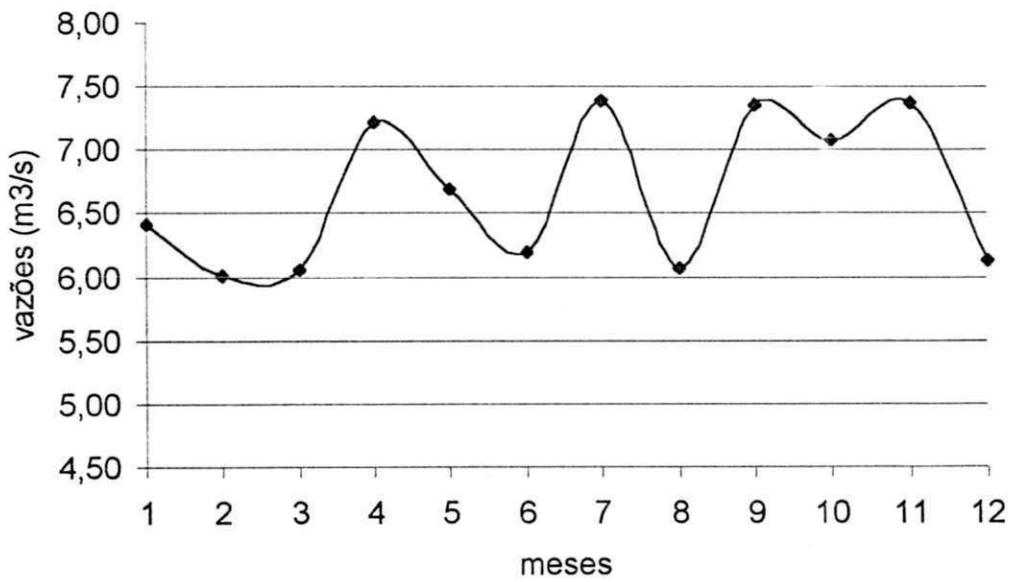


Gráfico 9.60 - Vazões mensais para regularização do rio Piancó.  
Ano Chuvoso - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

TABELAS E GRÁFICOS PARA A FUNÇÃO OBJETIVO  
QUE MAXIMIZA A MÃO DE OBRA

Tabela 9.17 – Áreas alocadas para culturas do grupo I para cada perímetro para a função objetivo que maximiza a mão de obra (ha).

<b>ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (ha)</b>			
<b>PERÍMETROS</b>	<b>CULTURAS</b>	<b>ANO NORMAL</b>	
		<b>Max. Rec. Líq.</b>	<b>Max. Mão de Obra</b>
		<b>V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>
<b>S O U S A</b>	BANANA	380.35	1070.89
	MAMÃO	113.35	214.30
	MELANCIA	709.74	343.97
	MELÃO	216.44	602.27
	GRAVIOLA	175.60	340.85
	UVA	1500.00	1500.00
	COCO	997.97	362.62
	MANGA	786.55	469.09
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	BANANA	145.24	279.59
	MAMÃO	109.18	35.05
	MELANCIA	383.22	184.41
	MELÃO	399.94	230.27
	GRAVIOLA	10.09	105.36
	UVA	406.09	301.28
	COCO	143.87	137.03
	MANGA	74.39	63.58
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>4880.00</b>	<b>4903.99</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>1672.02</b>	<b>1458.44</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>6552.02</b>	<b>6362.43</b>

Tabela 9.18 – Percentual de áreas alocadas para culturas do grupo I para cada perímetro para a função objetivo que maximiza a mão de obra (%).

<b>PERCENTUAL DE ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (%)</b>			
<b>PERÍMETROS</b>	<b>CULTURAS</b>	<b>ANO NORMAL</b>	
		<b>Max. Rec. Líq V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>Max. Mão de Obra V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>
<b>S O U S A</b>	BANANA	7.79	21.94
	MAMÃO	2.32	4.39
	MELANCIA	14.54	7.04
	MELÃO	4.44	12.34
	GRAVIOLA	3.60	6.98
	UVA	30.73	30.73
	COCO	20.45	7.43
	MANGA	16.12	9.61
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	BANANA	7.73	14.87
	MAMÃO	5.81	1.86
	MELANCIA	20.38	9.81
	MELÃO	21.27	12.24
	GRAVIOLA	0.54	5.60
	UVA	21.60	16.02
	COCO	7.65	7.28
	MANGA	3.96	3.38
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>100</b>	<b>104.49</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>88.94</b>	<b>71.09</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>96.92</b>	<b>94.12</b>

Tabela 9.19 – Áreas alocadas para culturas do grupo II para cada perímetro para a função objetivo que maximiza a mão de obra (ha).

<b>ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (ha)</b>			
<b>PERÍMETROS</b>	<b>CULTURAS</b>	<b>ANO NORMAL</b>	
		<b>Max. Rec. Líq.</b>	<b>Max. Mão de Obra</b>
		<b>V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	599.80	599.91
	Feijão (es)	594.02	2.19
	Milho (s)	799.19	799.92
	Milho (es)	780.87	793.82
	Algodão	64.50	899.17
	Arroz	0.00	0.00
	Batatinha	900.00	495.23
	Cebola	699.90	699.97
	Tomate	799.90	800.00
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	99.99	100.00
	Feijão (es)	34.08	0.00
	Milho (s)	300.00	296.51
	Milho (es)	30.11	0.00
	Algodão	19.51	0.00
	Arroz	0.00	134.67
	Batatinha	217.27	70.46
	Cebola	417.59	499.88
	Tomate	699.96	699.72
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>5238.27</b>	<b>5090.21</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>1818.51</b>	<b>1801.24</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>7056.78</b>	<b>6891.45</b>

Tabela 9.20 – Percentual de áreas alocadas para culturas do grupo II para cada perímetro para a função objetivo que maximiza a mão de obra (%).

<b>PERCENTUAL DE ÁREAS ALOCADAS PARA CADA CULTURA (%)</b>			
<b>PERÍMETROS</b>	<b>CULTURAS</b>	<b>ANO NORMAL</b>	
		<b>Max. Rec. Líq V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>Max. Mão de Obra V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	12.29	12.29
	Feijão (es)	12.17	0.04
	Milho (s)	16.38	16.39
	Milho (es)	16.00	16.27
	Algodão	1.32	18.43
	Arroz	0.00	0
	Batatinha	18.44	10.15
	Cebola	14.31	14.34
	Tomate	16.39	16.39
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	5.32	5.32
	Feijão (es)	1.81	0.00
	Milho (s)	15.96	15.77
	Milho (es)	1.60	0.00
	Algodão	1.04	0.00
	Arroz	0.00	7.16
	Batatinha	11.56	3.75
	Cebola	22.21	26.59
	Tomate	37.23	37.22
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>107.34</b>	<b>104.31</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>96.73</b>	<b>95.81</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>104.39</b>	<b>101.94</b>

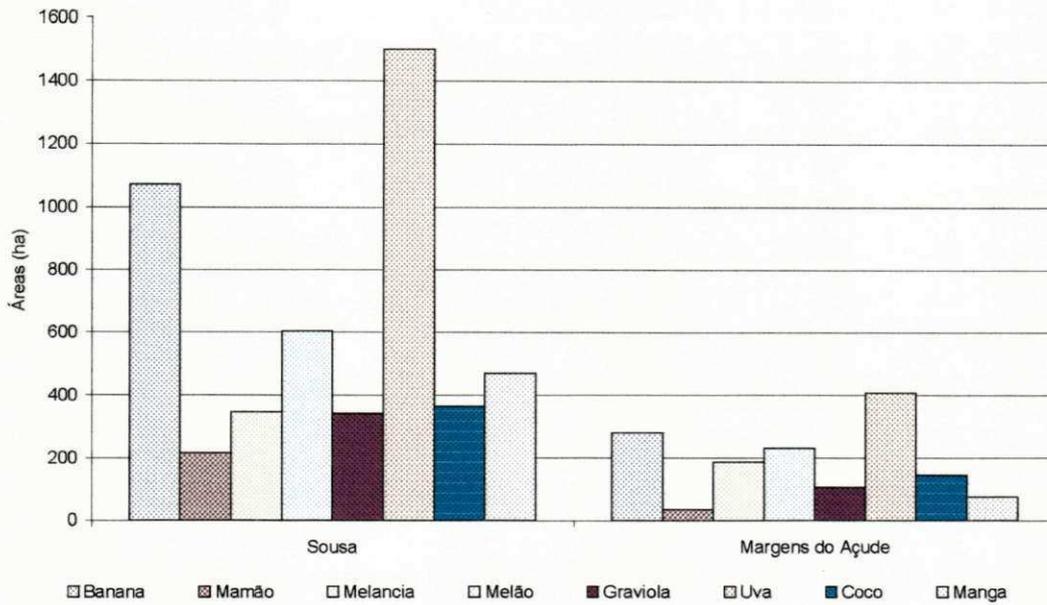


Gráfico 9.61 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

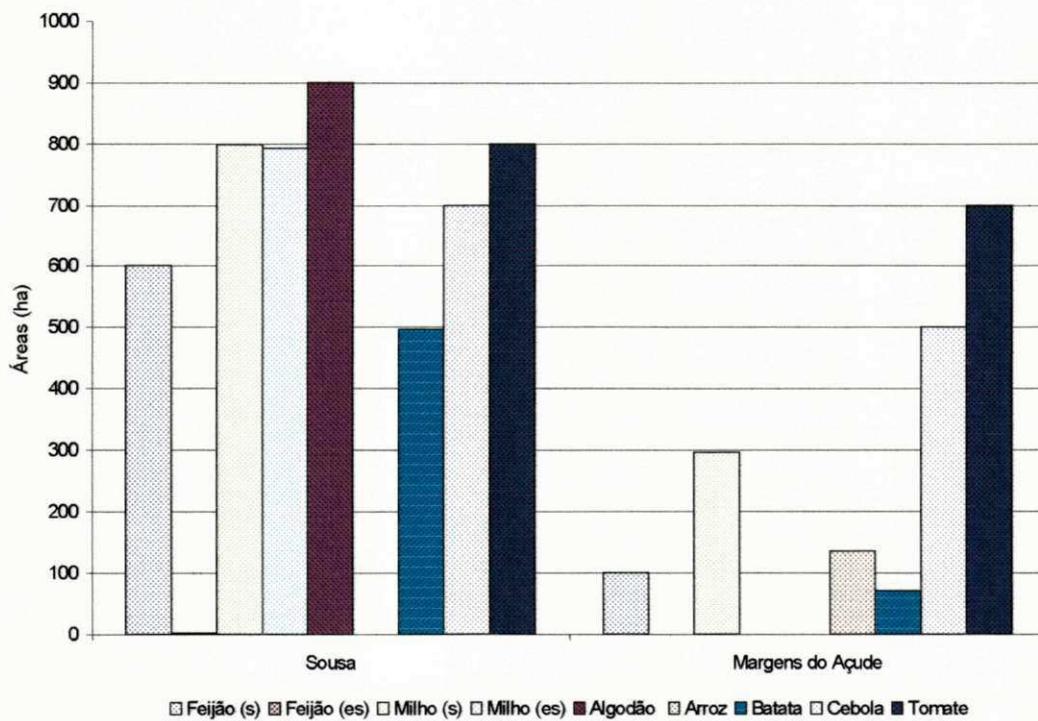


Gráfico 9.62 - Áreas alocadas para cada cultura por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.22 – Mão-de-obra alocada para culturas do grupo II para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a mão de obra (homens-dia).

Mão-de-obra alocada ( homens-dia)			
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO NORMAL	
		Max. Receita Líquida V <sub>INICIAL</sub> = 60%	Max Mão de Obra V <sub>INICIAL</sub> = 60%
S O U S A	Feijão (s)	36587	36594
	Feijão (es)	36234	134
	Milho (s)	83914	83991
	Milho (es)	81991	83350
	Algodão	9997	139374
	Arroz	0	0
	Batatinha	76499	42094
	Cebola	147678	147693
	Tomate	201596	201600
MARGENS DO AÇUDE	Feijão (s)	6099	6100
	Feijão (es)	2079	0
	Milho (s)	31499	31133
	Milho (es)	3161	0
	Algodão	3023	0
	Arroz	0	14409
	Batatinha	18467	5989
	Cebola	88110	105476
	Tomate	176391	176330
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>674496</b>	<b>734827</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>328829</b>	<b>339437</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>993325</b>	<b>1074264</b>

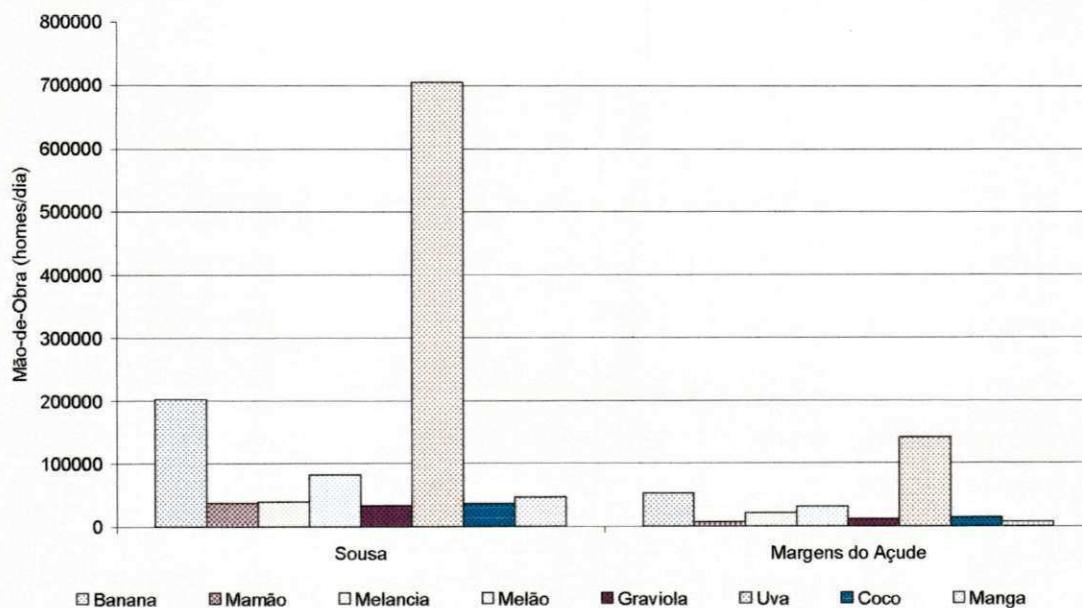


Gráfico 9.63 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

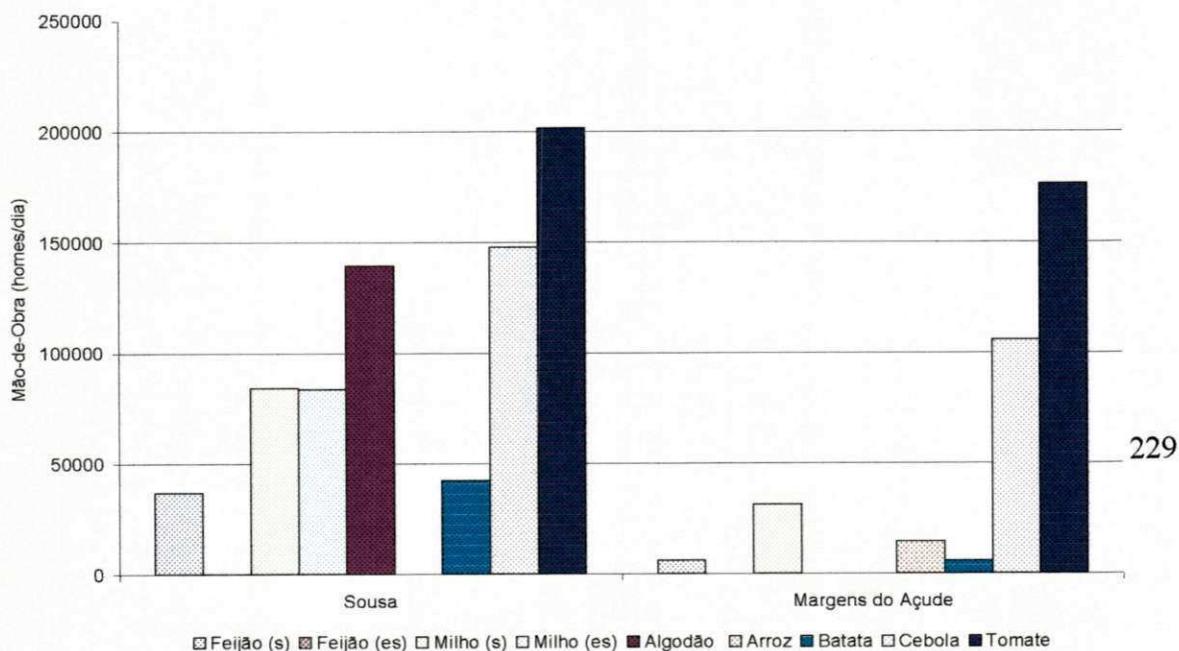


Gráfico 9.64 - Mão-de-Obra requerida por cultura e por perímetro  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.23 – Receita Líquida gerada para culturas do grupo I para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a mão de obra (R\$ MIL).

<b>Receita Líquida (R\$ MIL)</b>			
<b>PERÍMETROS</b>	<b>CULTURAS</b>	<b>ANO NORMAL</b>	
		<b>Max. Receita Líquida</b> V <sub>INICIAL</sub> = 60%	<b>Max. Mão de Obra</b> V <sub>INICIAL</sub> = 60%
<b>S O U S A</b>	BANANA	967.82	2605.36
	MAMÃO	361.17	670.41
	MELANCIA	1459.26	664.51
	MELÃO	514.28	1364.56
	GRAVIOLA	643.29	1220.38
	UVA	43080.53	42868.46
	COCO	7674.97	2742.32
	MANGA	3183.56	1859.70
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	BANANA	360.05	662.36
	MAMÃO	344.64	108.04
	MELANCIA	770.60	356.55
	MELÃO	932.19	509.90
	GRAVIOLA	36.48	370.77
	UVA	11629.38	8585.86
	COCO	1094.91	1026.90
	MANGA	297.58	248.06
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>57884.88</b>	<b>53995.70</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>15462.83</b>	<b>11868.44</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>73347.71</b>	<b>65864.14</b>

Tabela 9.24 – Receita Líquida gerada para culturas do grupo II para cada perímetro para uma função objetivo que maximiza a mão de obra(R\$ MIL).

Receita Líquida (R\$ MIL)			
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO NORMAL	
		Max. Receita Líquida V <sub>INICIAL</sub> = 60%	Max. Mão de Obra V <sub>INICIAL</sub> = 60%
<b>S O U S A</b>	Feijão (s)	114.17	102.70
	Feijão (es)	0.00	0.00
	Milho (s)	574.16	516.51
	Milho (es)	472.49	479.85
	Algodão	53.74	748.57
	Arroz	0.00	0.00
	Batatinha	6760.16	3677.55
	Cebola	5475.52	5413.03
	Tomate	8792.09	8734.04
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Feijão (s)	19.03	15.79
	Feijão (es)	0.00	0.00
	Milho (s)	214.20	198.62
	Milho (es)	17.00	0.00
	Algodão	15.51	0.00
	Arroz	0.00	22.36
	Batatinha	1622.93	517.47
	Cebola	3245.30	3825.72
	Tomate	74690.32	7656.79
<b>TOTAL SOUSA</b>		<b>22242.32</b>	<b>19672.25</b>
<b>TOTAL MARGENS DO AÇUDE</b>		<b>12824.29</b>	<b>12236.75</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>35066.61</b>	<b>31909.00</b>

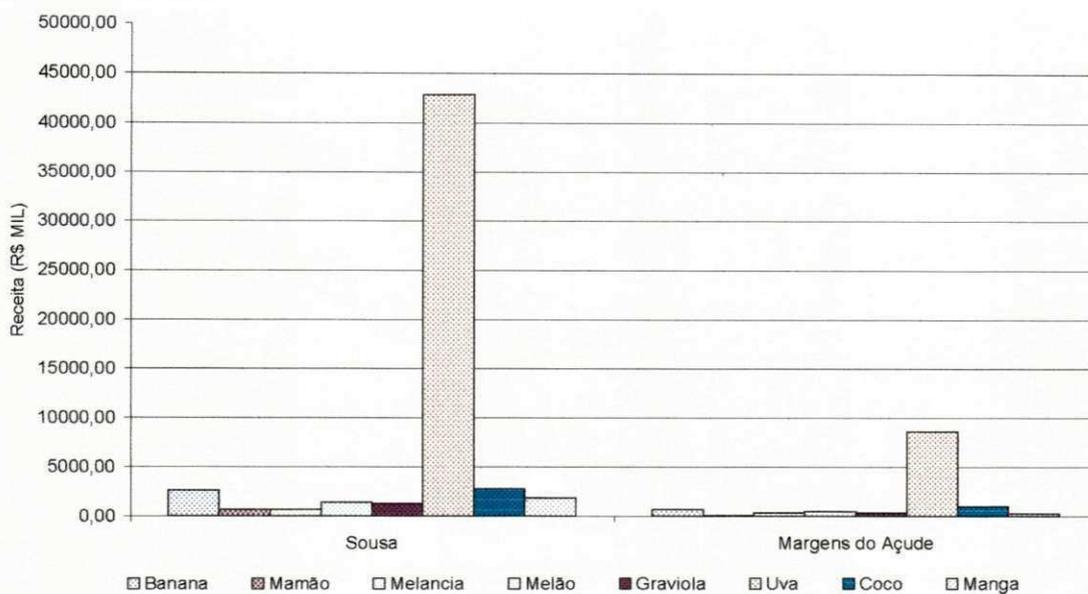


Gráfico 9.65 -Receita líquida gerada por perímetro e por cultura  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

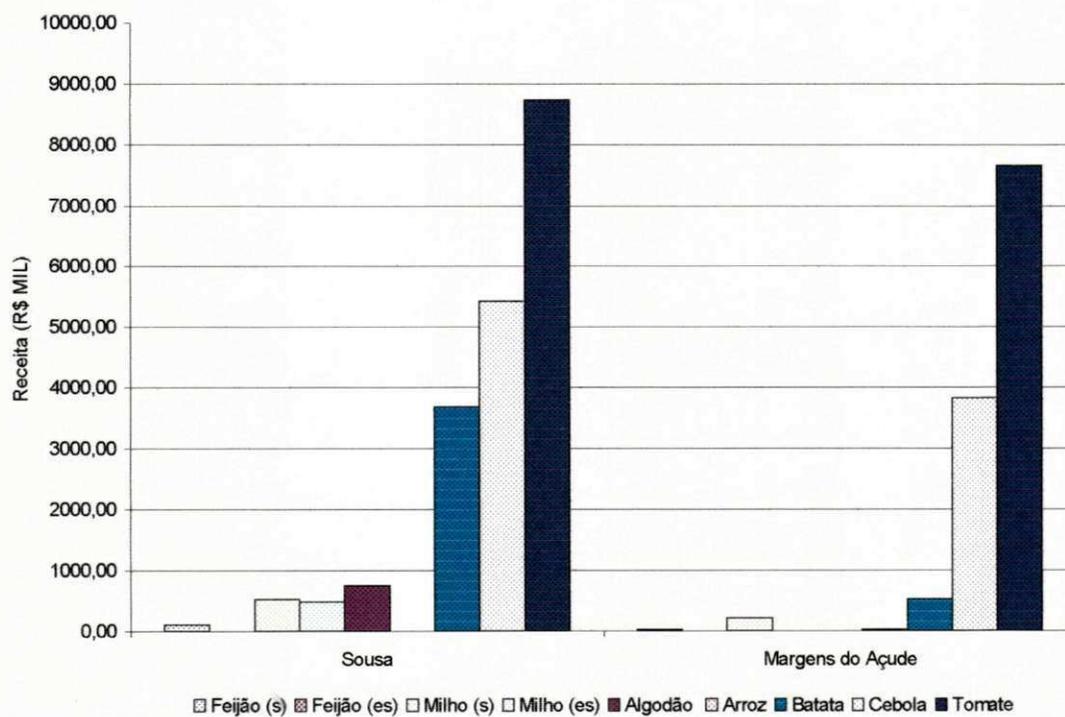


Gráfico 9.66 -Receita líquida gerada por cultura e por perímetro  
Ano Normal - volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.25 – Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do Grupo I (m<sup>3</sup>/s).

Vazões Mensais para Irrigação (m <sup>3</sup> /s).			
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO NORMAL	
		Max. Receita Líquida V <sub>INICIAL</sub> = 60%	Max. Mão de Obra V <sub>INICIAL</sub> = 60%
<b>S O U S A</b>	Janeiro	3.024	2.856
	Fevereiro	0.676	0.574
	Março	0.000	0.00
	Abril	0.473	0.410
	Maio	1.824	1.822
	Junho	2.179	2.150
	Julho	2.788	2.807
	Agosto	3.328	3.295
	Setembro	3.761	3.786
	Outubro	3.961	3.921
	Novembro	3.967	3.992
	Dezembro	3.931	3.884
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Janeiro	1.000	1.000
	Fevereiro	0.533	0.537
	Março	0.000	0.000
	Abril	0.003	0.006
	Maio	0.393	0.396
	Junho	0.512	0.513
	Julho	0.669	0.669
	Agosto	0.830	0.830
	Setembro	0.927	0.927
	Outubro	1.000	1.000
	Novembro	0.997	0.997
	Dezembro	0.873	0.874

Tabela 9.26– Vazões mensais alocadas para irrigação para culturas do Grupo II (m<sup>3</sup>/s).

Vazões Mensais para Irrigação (m <sup>3</sup> /s).			
PERÍMETROS	CULTURAS	ANO NORMAL	
		Max. Receita Líquida V <sub>INICIAL</sub> = 60%	Max. Mão de Obra V <sub>INICIAL</sub> = 60%
<b>S O U S A</b>	Janeiro	0.540	0.318
	Fevereiro	0.543	0.002
	Março	0.046	0.000
	Abril	0.337	0.736
	Maio	1.632	1.565
	Junho	1.227	0.877
	Julho	1.364	1.059
	Agosto	1.914	1.930
	Setembro	3.090	3.304
	Outubro	3.199	4.000
	Novembro	2.787	3.433
	Dezembro	2.205	1.578
<b>MARGENS DO AÇUDE</b>	Janeiro	0.290	0.238
	Fevereiro	0.299	0.345
	Março	0.037	0.009
	Abril	0.291	0.213
	Maio	0.934	1.000
	Junho	0.488	0.385
	Julho	0.654	0.558
	Agosto	0.703	0.587
	Setembro	1.000	0.807
	Outubro	0.861	0.712
	Novembro	0.955	0.828
	Dezembro	0.830	0.655

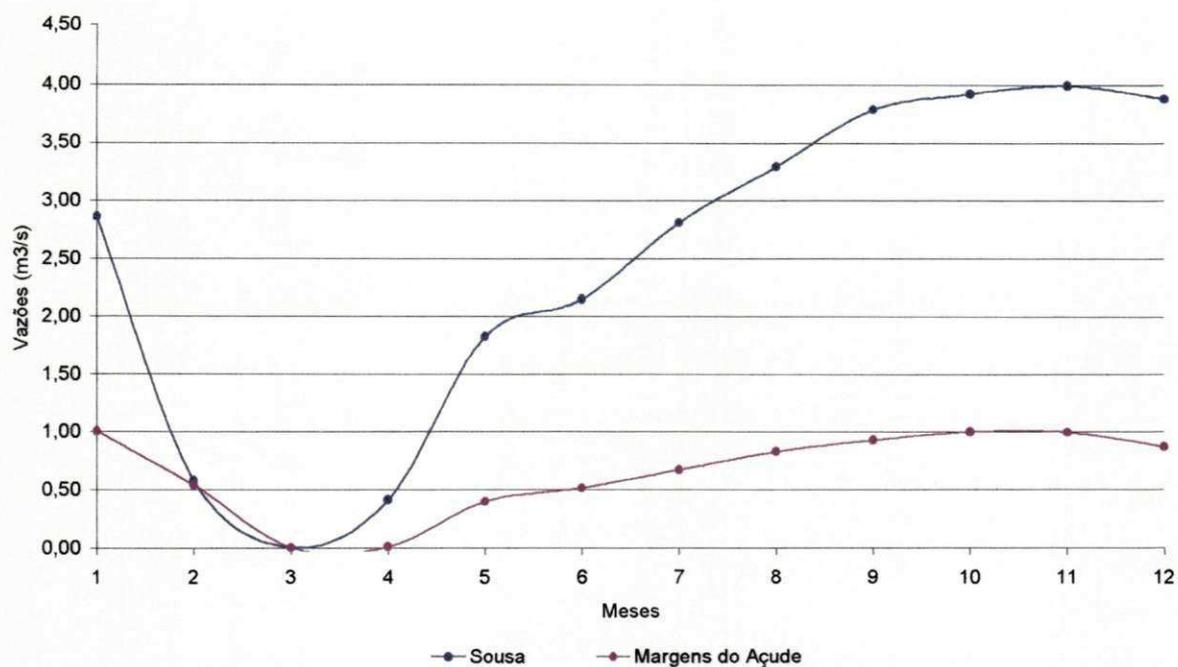


Gráfico 9.67 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo I

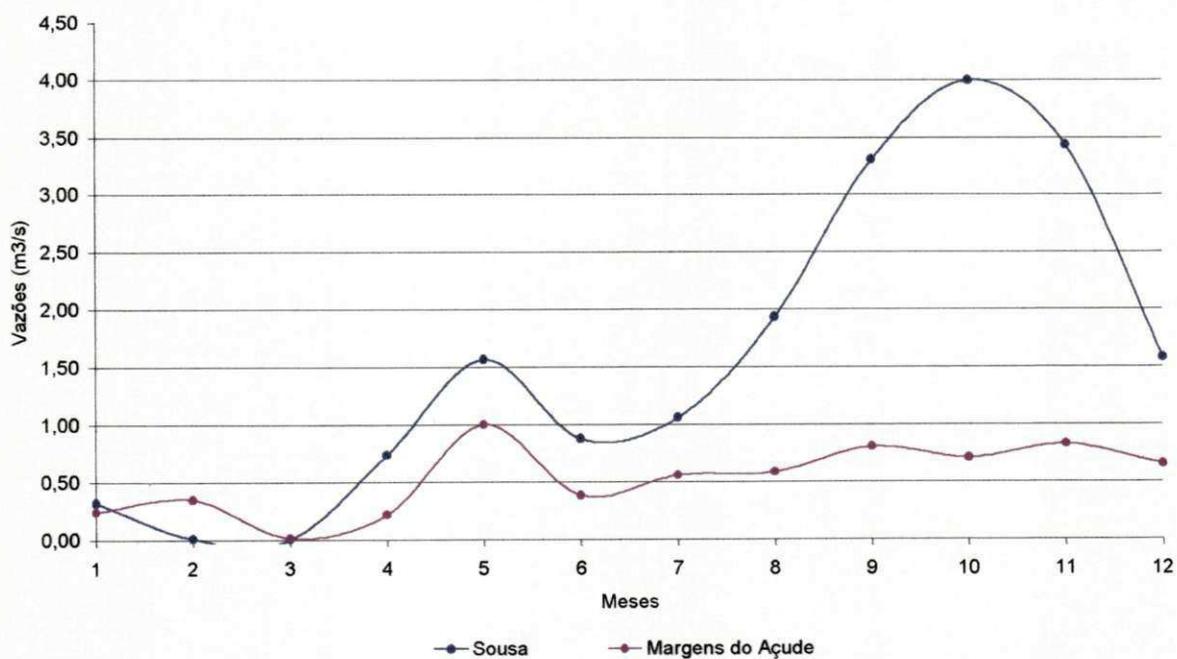


Gráfico 9.68 - Vazões mensais para irrigação para os dois perímetros  
Ano Normal - Volume inicial = 60% do volume máximo - Grupo II

Tabela 9.27 – Resultados obtidos para a piscicultura para a maximização da mão de obra para culturas do grupo I.

<b>RESULTADOS SOBRE PISCICULTURA</b>				
<b>C O R E M A S</b>		<b>ANO NORMAL</b>		
		<b>MAX. REC. LÍQ. V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>MAX. MÃO DE OBRA V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	
		Nº DE DESPESCA POR ANO	1	1
		ÁREA MÍNIMA (km <sup>2</sup> )	74,496	75.387
		PRODUÇÃO (ton.)	893,96	904.65
		MÃO DE OBRA (homens)	596	603
RECEITA LÍQUIDA (R\$ MIL)	1318,58	1334.36		

Tabela 9. 28– Resultados obtidos para a piscicultura para todos os cenários para culturas do grupo II.

<b>RESULTADOS SOBRE PISCICULTURA</b>				
<b>C O R E M A S</b>		<b>ANO NORMAL</b>		
		<b>MAX. REC. LÍQ. V<sub>INICIAL</sub> = 60%</b>	<b>MAX. MÃO DE OBRA V<sub>INICIAL</sub> = 80%</b>	
		Nº DE DESPESCA POR ANO	1	1
		ÁREA MÍNIMA (km <sup>2</sup> )	75,425	76.649
		PRODUÇÃO (ton.)	905,1	919.79
		MÃO DE OBRA (homens)	603	613
RECEITA LÍQUIDA (R\$ MIL)	1335,03	1356.69		

## Capítulo X

### Conclusões e Recomendações

## ***CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES***

### **10.1 – Introdução**

Neste trabalho aplicou-se um modelo de otimização para definir uma operação ótima, considerando vários cenários climatológicos e condições iniciais, para as águas do Sistema Coremas/Mãe D'água. O modelo otimiza, através da programação não linear, a alocação da água do reservatório para múltiplos usos, quais sejam: irrigação, abastecimento, piscicultura, geração de energia elétrica e regularização do rio Piancó, garantindo, ao mesmo tempo, a sustentabilidade hídrica do reservatório. A função objetivo do modelo visa a maximização ou minimização da receita líquida ou da mão de obra.

Para a irrigação foram analisadas 17 culturas divididas em dois grupos: grupo I (banana, uva, manga, melão, melancia, mamão, graviola e coco), e o grupo II (feijão safra, feijão entresafra, milho safra, milho entresafra, algodão, cebola, tomate, batata inglesa e arroz). Para a geração de energia elétrica liberou-se 4,45 m<sup>3</sup>/s, enquanto que para o abastecimento humano houve uma liberação de 0,7314 m<sup>3</sup>/s.

### **10.2 – Conclusões**

A operação ótima conjunta, reservatório e perímetro irrigado, foi fornecida pelo modelo de otimização utilizado para vários cenários climáticos. A variação de volume inicial do reservatório permite um maior ou menor aproveitamento dos perímetros irrigados em termos de áreas alocadas, receita líquida gerada, mão de obra e vazão para irrigação.

A variação nos cenários climatológicos promove alterações nas vazões destinadas à irrigação. Cenários que possuem uma maior pluviometria permitem uma menor alocação de água para irrigação.

A maior receita com irrigação foi gerada para um cenário agrícola composto por culturas do grupo I, frutas, enquanto que o cenário agrícola composto por culturas do grupo II, horticultura apresentou um aumento no requerimento de mão de obra. O abastecimento humano foi garantido para 33 cidades da bacia do Piancó.

A piscicultura está ligada a variação da área de espelho d'água do reservatório, quanto maior sua área, maior a receita gerada assim como a mão de obra empregada. O cenário agrícola composto por culturas do grupo II, horticultura, permite uma maior área de espelho d'água. Vale ressaltar que para um melhor aproveitamento da piscicultura no reservatório deve haver um investimento na infra-estrutura pesqueira da região. A aquisição de máquinas que permitam a comercialização para centros comerciais mais distantes.

A otimização da água do reservatório foi realizada garantindo-se a sustentabilidade hídrica, ou seja, para todos os cenários otimizados está garantido que, ao final do período de estudo considerado, o reservatório possuirá um volume igual ou superior ao volume inicial.

Através dos vários cenários estudados observou-se que quase sempre um maior volume inicial dos reservatórios conduziu a receitas líquidas menores. Um outro ponto a ressaltar é que o padrão da escolha e alocação de áreas por culturas nas margens do açude e nas várzeas de Sousa são diferentes. Portanto, sugere-se como indicações para futuros estudos a elaboração de cenários como testes para melhor compreender o sistema com relação a estes aspectos.

Quanto ao modelo matemático usado, podemos concluir que, o mesmo apresentou as seguintes características:

- Para todos os cenários testados, mostrou-se adequado em termos de fornecimento de valores ótimos para as variáveis de decisão;
- Representação do sistema como dois reservatórios interligados;
- Todas as não linearidades da representação matemática do comportamento físico e operacional do sistema foram incluídas sob forma de restrições. Desta forma criou-se restrições dinâmicas como:

⇒ Vazão de regularização e geração de energia, assim como vazões extravasadas, dependentes da cota do reservatório e dos dados hidráulicos dos condutos.

- Obteve-se como variáveis de decisão, além das vazões regularizadas, as áreas das culturas irrigadas nos dois perímetros irrigados.

É necessário ressaltar a importância que programas integrados de simulação e otimização de complexos sistemas de recursos hídricos com múltiplos usos tem na operacionalização de seus elementos, em especial nos processos de tomada de decisão em termos de seleção de culturas irrigadas, principalmente as perenes, e no ajustamento do Plano Cultural das sazonais. Não basta apenas selecionar aquelas que usam menor quantidade de água ou aquelas que geram maior receita líquida. Tem que haver um comportamento simultâneo, entre o estabelecimento de critérios para a operação da fonte hídrica, a receita líquida e o requerimento hídrico de cada tipo de cultura e os períodos de estiagem.

### 10.3 – Recomendações

O modelo utilizado neste estudo oferece uma operação ótima do sistema Coremas/Mãe D'água, podendo ser extrapolado para outros sistemas. Entretanto recomenda-se, para estudos futuros:

- Um estudo minucioso dos dados de vazão para a bacia do Piancó, principalmente considerando os açudes existentes na região e as interferências que os mesmos podem causar nos aflúvios do sistema Coremas/Mãe D'água;
- Acreditamos que houve uma superestimação da receita líquida oriunda da agricultura irrigada por usar dados de custo de produção das culturas com base no Plano Cultural do Banco do Nordeste (1997) e preço de venda obtido junto a CEASA - Recife no segundo semestre de 1999. Para uma situação mais realista deve-se aplicar taxas de redução no preço de venda enquanto se compute inflação no custo de produção, o que não foi feito dada a pouca disponibilidade de tempo

para realizar um trabalho deste porte. Entretanto, acreditamos, também, que os demais resultados pouco seriam afetados por estes fatores.

- A incorporação de reduções vazão afluente, com maior representatividade das intervenções na bacia já realizadas e a serem realizadas no futuro, verificando alterações nas áreas a serem irrigadas, no atendimento aos usos, na sustentabilidade hídrica do sistema e no comprometimento da vazão a ser regularizada para o Rio Grande do Norte;
- Elaborar um estudo de aptidão agrícola para os solos dos perímetros a serem irrigados;
- Verificar o comportamento do sistema, principalmente em anos críticos de seca, no que diz respeito a adoção de técnicas e sistemas de irrigação que visem a usar a menor quantidade de água possível para irrigação;
- Verificar o comportamento do Perímetro de Sousa, em caso de apropriações de água ao longo do canal;
- Um das alternativas surgidas nos últimos anos é a piscicultura em canais. Recomenda-se um estudo que considere a utilização do canal da Reversão para o desenvolvimento da piscicultura;
- Verificação de como o requerimento de diferentes vazões regularizadas mínimas afetam o sistema;
- Determinação dos volumes mensais operacionais ótimos;
- Estudar critérios de compatibilização e escolha entre maximização da receita líquida e da mão de obra.
- Utilizar, no balanço hídrico, do solo e reservatório, quando disponível, dados hidrometeorológicos diários.

## Bibliografia

---

## **BIBLIOGRAFIA**

Agrossolos Engenharia LTDA – *Reversão das Águas do Conjunto Coremas/ Mãe D'água para as Várzeas de Sousa*. Projeto Básico: Volume I-DNOCS- Fortaleza, 1993.

Albuquerque, T. C. Silveira de – *Uva para exportação: Aspectos técnicos da produção – Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária; Secretaria de Desenvolvimento Rural – SDR; Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas e Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais – FRUPEX*; EMBRAPA – SPI; Brasília, DF; 1996. 53p (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 25).

Alves, Élis José; Oliveira, Manoel de Almeida. *Banana para Exportação: Aspectos Técnicos da Produção – Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria do Desenvolvimento Rural-SDR; Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas e Hortaliças, Flores e Plantas ornamentais – FRUPEX*; EMBRAPA – SPI; Brasília, DF; 1997. 19p.

Alves, José Maria Brabo; Repelli, Carlos Alberto. *A variabilidade Pluviométrica no Setor Norte do Nordeste e os Eventos El Niño- Oscilação Sul (ENOS)*. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 7(2), 583-892. 1992.

ATECEL. *Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos*, SEPLAN/PB, 1994.

Barbosa, Paulo S. F. . *Modelos de Programação Linear em Recursos Hídricos*, in: *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFGRS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, 1997.

Bertoni, Juan C.; Tucci, Carlos E. M.. *Precipitação, in Hidrologia: ciência e aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos*. Organizador: Carlos E. M. Tucci. Editora Universidade/UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, EDUSP. Porto Alegre, 1993.

Braga, Benedito; Barbosa, Paulo Sérgio Franco; Nakayama, Paulo Takashi. *Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH- Volume 3, n. 3, Jul./Set. 1998, 73-95.

Brito, José Ivaldo Barbosa; Nobre, Carlos Afonso; Zaranza, Antonio Ribeiro. *A Precipitação da Pré-Estação e a Previsibilidade da Estação Chuvosa do Norte do Nordeste*. Climanálise, pg. 39-54, Vol. 6, Nº 6, 1991.

Campos, Tharcizio de; Canéchio Filho, Vicente. *Principais Culturas – II; Instituto Campineiro de Ensino Agrícola*. Editora CARTGRAF, Campinas – SP, 1973; 388 p.

Carroll, C. W. *The Created Response Surface Technique for Optimizing Nonlinear Restrained Sistemas*, Oper. Research, 1961.

CEASA, *Central de Abastecimento do Recife SA*, 1999.

Cirilo, José Almir. *Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos, in: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, 1997.

Cunha, Getúlio A. Pinto da, José M<sup>a</sup> M. Sampaio, Antonio S. do Nascimento, Hermes P. S. Filho, Valdíque M. Medins –*Manga para exportação: Aspectos técnicos da produção – Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária; Secretaria de Desenvolvimento Rural – SDR; Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas e Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais – FRUPEX; EMBRAPA – SPI; Brasília, DF; 1994. 53p (Série Publicações Técnicas FRUPEX, nº8).*

Curi, Wilson Fadlo; Curi, Rosires Catão. *Modelo de Otimização de Reservatórios*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 1999.

Daker, Alberto. *A água na agricultura; Irrigação e Drenagem*. Vol. 3, 3ª Ed. Rev. E ampl. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970.

Formiga, Klebber Teodomiro Martins. *Metodologia de Otimização de Redes Malhadas Através da Programação Não Linear*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1999.

Frank, M. & P. Wolfe. *An Algorithm for Quadratic Programming*, Naval Research Logistics Quarterly, 1956.

Gomes, Heber Pimentel. *Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados aspersão e gotejamento*. 2ª Edição. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, PB, 1997.

Haan, Charles T.. *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State university Press, Ames, 1977.

Hall, W. A.; Dracup, J. A.. *Water Resources Systems Engineering*. Mcgraw-Hill, 372p. 1979.

Hiez, G. *Processamento dos Dados Pluviométricos do Nordeste: homogeneização dos dados – métodos do vetor regional*. Recife: SUDENE, 1978.

Hooke, R. & Jeeves, T. A. *Direct Search Solution of Numerical and Statistical Problems*, J. Association Computer Machinery, 1961.

Janowiak, J. E.; Ropelewski, C. F. ; Halpert, M. S. *The Precipitation Anomaly Classification: A Method for Monitoring Regional Precipitation Deficiency and Excess on a Global Scale. Journal of Climate na Applied Meteorology*, 25(4): 565-574, Apr., 1986.

Lanna, A. E. L. & P. Marwell, Mohtsar - *Modelo Hidrológico para o Trópico Semi-Árido*, IPH, 1986.

Lanna, A. E., Schwarzbach, M. 1989. *MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-calibrável*. Publicação n. 21. Recursos Hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. 55p.

Lanna, Antonio Eduardo. *Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos*. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFGRS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, 1997.

Loucks, D. P. ; Stedinger, J. R.; Haith, D. A.. *Water Resources Systems Planning and Analysis*. New Jersey, printice Hall, 559p., 1981.

Mateus, Geraldo Robson; Luna, Henrique Pacca L. . *Programação Não Linear*. V Escola de Computação. Belo Horizonte, MG, 1986.

Molle, François e Eric Cadier– *Manual do Pequeno Açude*. Recife, SUDENE – DPG – PRN – DPP – APR. Convênio: SUDENE/ORSTOM; SUDENE/TAPI, 1992. 523p

Murayama, Shizuto. *Fruticultura*. 2 ed. Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 428p (Instituto Campineiro de Ensino Agrícola; 3)

Oliveira, Eduardo F. C. Correa. *Simulação da Operação e Estimativa dos Benefícios Sócio-Econômicos do Reservatório Coremas/Mãe D'água Sujeito a Múltiplos Usos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 1998.

Paraíba, Governo do Estado – *Manual de Orçamentos Agropecuários*, CENOP-CDE-COVAT/ Banco do Nordeste – Campina Grande, 1998.

Paraíba, Governo do Estado. *Atlas Climatológico do Estado*. João Pessoa, 1984.

Paraíba, Governo do Estado. *Diagnóstico do Plano Diretor das Bacias Hidrográficas do Piancó/Piranhas*. SCIENTEC, João Pessoa, 1996.

Passos, Sebastião M. Godoy; Filho, Vicente Canéchio; José, Antonio. *Instituto Campineiro de Ensino Agrícola*. Editora CARTGRAF, Campinas – SP, 1973. 416 p.

Pinto, Alberto Carlos de Quiroz; Silva, Euzébio Medrado. *Graviola para Exportação: Aspectos Técnicos da Produção – Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria do Desenvolvimento Rural-SDR; Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas e Hortaliças, Flores e Plantas ornamentais – FRUPEX; EMBRAPA – SPI; Brasília, DF; 1994. 39p.*

Powell, M. J. D. *An Efficient Method for Finding the Minimum of a Function of Several Variables without Calculating Derivatives*, Computer Journal, 1964.

Ribeiro, Márcia Maria Rios. *Operação de um Sistema de Reservatório para usos de Conservação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande- PB, 1990.

- Robinson, S. M. *A Quadratically Convergent Algorithm for General Nonlinear Programming Problems*, Mathematical Programming, 1972.
- Rosenbrock, H. H. *An Automatic Method for Finding The Greatest or Least Value of a Function*, Computer Journal, 1960.
- Rossi, G.. *The Systems Approach to Water Manangement*. In Guggio, E.; Rossi, G.; Hendricks, D.. *Operation of Complex Water Systems*, Erice, Nato ASI- Serie E, Applied Sciences, 58, XV-XXVI, 1983
- SAAD, João C. C. & Fizzone, José A. – *Modelo de Programação Não Linear para Dimensionamento e Operação de Sistema de Irrigação Localizada*, XXVI CONBEA – Campina Grande, PB, 1993.
- SCIENTEC. *Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba*. SEPLAN/PB, 1996.
- SUDENE, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, *Dados Hidroclimáticos do Nordeste*, Recife, 1998.
- Uvo, Cíntia Regina Bertacchi. Nobre, Carlos Afonso. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil- Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial*. Climanálise, Vol. 4, Nº 07, 1989.
- Xavier, T. de M. B. S. e Xavier, A. F. S. *Aplicação de Filtragem Binária no Estudo da Ocorrência de Períodos secos e chuvosos no Nordeste Brasileiro*. VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Salvador, 1987.

Ward, M. N.; Brooks, S.; Folland, C. K. *Predictability of seasonal rainfall in the Northern Nordeste*. IN: *Recent Climate Change, a regional approach*, ed. S. Gregory, 1989.

Wolfe, P. *Methods of Nonlinear Programming: The Reduced Gradient Method*, in: *Recent Advances in Mathematical Programming*, eds. Graves and Wolfe, McGraw-Hill, New York, 1963.

Zoutendijk, G. *Methods of Feasible Directions*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1960.