

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

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

**AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVA DE CENÁRIOS PARA  
USOS MÚLTIPLOS NOS PEQUENOS AÇUDES DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ-PB**

**RENATO SANTIAGO COSTA**

**Campina Grande**  
**Data: MAIO / 2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E**  
**SANITÁRIA**

**RENATO SANTIAGO COSTA**

**AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVA DE CENÁRIOS PARA USOS**  
**MÚLTIPLOS NOS PEQUENOS AÇUDES DA BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ-PB**

**Campina Grande, PB**

**Mai de 2012**



**RENATO SANTIAGO COSTA**

**AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVA DE CENÁRIOS PARA USOS  
MÚLTIPLOS NOS PEQUENOS AÇUDES DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ-PB**

Dissertação apresentada ao curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

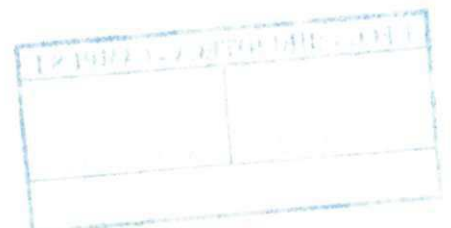
**ORIENTADORES:**

**Professora Dra. Rosires Catão Curi**

**Professor Dr. Wilson Fadlo Curi**

**Campina Grande, PB**

**Mai de 2012**





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFSCG

C837a Costa, Renato Santiago.  
Avaliação multiobjetiva de cenários para usos múltiplos nos pequenos açudes da Bacia Hidrográfica do açude de Sumé-PB / Renato Santiago Costa.  
- Campina Grande, 2012.  
176f.: il. color.

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

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

Referências.

1. Recursos Hídricos. 2. Análise Multiobjetivo. 3. Açudes.  
4. Bacia de Sumé-PB. I. Título.

CDU 556.18(043)

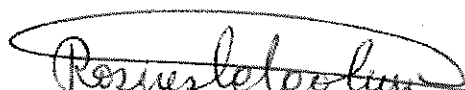


**RENATO SANTIAGO COSTA**

**AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVA DE CENÁRIOS PARA USOS  
MÚLTIPLOS NOS PEQUENOS AÇUDES DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO AÇUDE DE SUMÉ-PB**

Dissertação aprovada em: 31 de maio de 2012

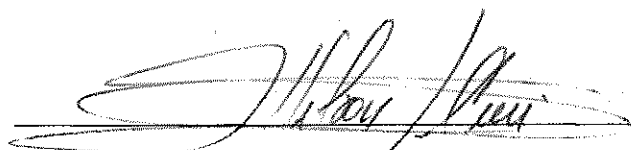
COMISSÃO EXAMINADORA:



---

Dra. Rosires Catão Curi (Orientadora)

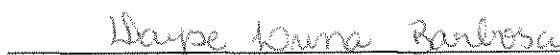
Universidade Federal de Campina Grande



---

Dr. Wilson Fadlo Curi (Orientador)


Universidade Federal de Campina Grande



---

Dra. Dayse Luna Barbosa (Examinadora Interna)

Universidade Federal de Campina Grande



---

Dra. Danielle Costa Morais (Examinadora Externa)

Universidade Federal de Campina Grande

*À minha futura esposa, Ana Raquel, e aos meus pais, Joabe e Aurinha, pelo apoio e força que me dispensaram para chegar até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus amado, pela presença de Seu Poder e Graça em todos os instantes da minha vida.

À Professora Dra. Rosires Catão Curi e ao Professor Dr. Wilson Fadlo Curi, pela orientação, condução firme, segura e pragmática.

Ao Professor Dr. Valterlin da Silva Santos, pelo apoio imprescindível para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, pela amizade, companheirismo, ideias compartilhadas e pela caminhada sempre harmoniosa.

Aos meus pais pelo apoio, em todos os aspectos, pela educação primando o estudo e a retidão, e pelo exemplo de caráter e de vida que são.

Ao meu irmão Rodrigo e aos meus queridos amigos que sempre estão comigo nos grandes momentos.

À Universidade Federal de Campina Grande e aos meus Professores, pelo ensino e pelas experiências transmitidas durante todo o curso de graduação em Engenharia Civil e de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Ao programa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante esta pesquisa.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste estudo.



## RESUMO

### AVALIAÇÃO MULTIOBJETIVA DE CENÁRIOS PARA USOS MÚLTIPLOS NOS PEQUENOS AÇUDES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ-PB

Embora seja uma das regiões com a maior concentração de açudes no mundo, historicamente o semiárido nordestino vem sofrendo com a escassez de água, o que limita o desenvolvimento de suas vocações socioeconômicas. Por outro lado, as crescentes demandas para indústria, irrigação, piscicultura e abastecimento urbano, por exemplo, provocam uma série de conflitos entre os usuários, o poder público e a sociedade de forma geral. No semiárido da Paraíba, o problema da escassez é evidenciado por características climáticas, cujo regime pluviométrico é concentrado em uma época do ano e com pouca chuva, associado às altas taxas de evaporação dos reservatórios, e por características geológicas que não favorecem o armazenamento da água e dificultam a manutenção de sua qualidade. Para contornar esses problemas, é imprescindível lançar mão de tecnologias adequadas ao clima da região a fim de promover o uso racional dos recursos hídricos e efetuar ações de planejamento para atender as demandas integrando e otimizando o sistema hídrico. Neste contexto, o presente estudo realizou uma análise multiobjetivo de 20 pequenos açudes integrantes da bacia hidrográfica do açude de Sumé/PB com o intuito de maximizar os ganhos socioeconômicos na região. A metodologia adotada partiu da definição de cinco cenários, com usos e prioridades de atendimentos distintos, cujos dados foram processados no modelo de otimização ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*), baseado em programação linear, dentro de um recorte temporal de nove anos. Este modelo otimiza os múltiplos usos do sistema de reservatórios através da maximização da receita líquida e mão-de-obra e da minimização das perdas. Os resultados demonstraram que o sistema hídrico formado pelos pequenos açudes analisados na bacia de Sumé não estão sendo utilizados adequadamente, observando-se excesso de perdas e um baixo aproveitamento do potencial hídrico para gerar riqueza e desenvolvimento para a região. Conclui-se que os gestores e a população dispõem de alternativas mais eficientes para o uso da água, conforme proposto nos Cenários 3 e 4, cujos benefícios a médio e longo prazo compensam indubitavelmente a mudança dos paradigmas existentes e os investimentos no planejamento e operação dos reservatórios.

**Palavras-chave:** Análise multiobjetivo; pequenos açudes; bacia de Sumé/PB

## ABSTRACT

### MULTIOBJECTIVE ANALYSIS OF SCENARIOS FOR MULTIPLE USES OF SMALL DAMS IN THE SUMÉ/PB BASIN

Although one of the regions with the highest concentration of reservoirs in the world, historically the Brazilian Northeast semiarid is suffering a shortage of water, which limits the development of their socioeconomic vocations. On the other hand, the growing demands for industry, irrigation, fisheries and urban water supply, for example, lead to a series of conflicts between users, the government and the society. In the Paraíba semiarid region, the shortage is evidenced by climatic characteristics, whose rainfall is concentrated in one season and with little rainfall, coupled with high rates of evaporation from reservoirs, and geological features that do not favor water storage and difficult to keep its quality. To eliminate these problems, one must make use of technologies appropriate to the climate of the region to promote the rational use of water resources planning and performing actions to meet the demands, by the integrating and optimizing the system. In this context, the present study conducted a multiobjective analysis of 20 small reservoirs members of the Sumé/PB basin in order to maximize the socio-economic improvement in the region. The methodology was based on the definition of five scenarios with different uses and priorities of care. The data of the scenarios were processed in the optimization model ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program), based on linear programming, for a time frame of nine years. This model optimizes the multiple uses of the reservoir system by maximizing the net income received and manpower and minimizing losses. The results showed that the water system formed by small reservoirs in the Sumé basin are not being used properly, observing excess of loss and a low utilization of water potential to generate wealth and development for the region. It is concluded that managers and system users have more efficient alternative to the use of water as proposed in Scenarios 3 and 4, whose benefits in the medium and long term outweigh undoubtedly the change of paradigms and investment in the planning and operation of the reservoirs.

**Key-words:** Multiobjective analysis; small reservoirs; Sumé/PB basin

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE QUADROS .....	14
LISTA DE SIGLAS .....	14
CAPÍTULO I .....	15
INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E .....	15
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	15
1.1 INTRODUÇÃO .....	15
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos .....	17
1.3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA .....	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
CAPÍTULO II .....	20
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.1 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS .....	20
2.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO .....	22
2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA AOS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO .....	24
2.4 ANÁLISE MULTIOBJETIVO .....	26
2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	27
2.5.1 Indicadores de Desempenho .....	29
2.5.1.1 - Confiabilidade .....	29
2.5.1.2 – Resiliência .....	30
2.5.1.3 – Vulnerabilidade .....	30
2.5.2 Indicadores de Sustentabilidade e Eficiência .....	30
2.5.2.1 – Índice de Ativação da Potencialidade – IAP .....	31
2.5.2.2 – Índice de Utilização da Disponibilidade – IUD .....	31
2.5.2.3 – Índice de Utilização da Potencialidade – IUP .....	32
2.5.2.4 – $\eta_{VT}$ .....	32
2.5.2.5 – $\eta_E$ .....	32
2.5.2.6 – $\eta_P$ .....	32



2.5.2.7 – $\eta_V$ .....	32
2.5.2.8 – $\eta_U$ .....	33
CAPÍTULO III.....	34
A REGIÃO E O SISTEMA HÍDRICO EM ESTUDO.....	34
3.1  REGIÃO.....	34
3.1.1  Relevo, Solo e Vegetação .....	34
3.1.2  Clima .....	35
3.1.3  Temperatura.....	35
3.1.4  Geologia .....	35
3.2  BACIA DO AÇUDE DE SUMÉ.....	36
3.3  O SISTEMA HÍDRICO E SEUS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	38
3.3.1  Aproveitamento Socioeconômico.....	40
3.3.2  Aspectos físicos das barragens .....	41
3.4  ESTRUTURA DO SISTEMA DE RESERVATÓRIOS .....	42
CAPÍTULO IV.....	44
MODELO ADOTADO NO ESTUDO.....	44
4.1  ORNAP.....	44
4.2  FUNÇÕES OBJETIVO .....	45
4.2.1  Demandas nas Tomadas D'água .....	45
4.2.2  Vazão Efluente do Reservatório .....	47
4.2.3  Volume Meta do Reservatório.....	47
4.2.4  Receita Líquida da Agricultura Irrigada .....	48
4.2.5  Mão-de-obra da Agricultura Irrigada .....	52
4.2.6  Função Multiobjetivo .....	53
4.3  EQUAÇÕES DE RESTRIÇÕES.....	53
4.3.1  Operação dos Reservatórios.....	53
4.3.2  Critérios Operacionais e Agronômicos.....	58
4.4  PROCESSO ITERATIVO DE OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA.....	60
CAPÍTULO V .....	66
DADOS DE ENTRADA NO MODELO, METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS .....	66
5.1  DADOS DE ENTRADA NO MODELO ORNAP.....	66
5.1.1  Precipitação.....	66
5.1.2  Evaporação .....	69
5.1.3  Vazões Afluentes Mensais.....	69

5.1.4	Demanda Humana e Animal.....	70
5.1.5	Dados dos Reservatórios.....	71
5.1.6	Dados de Piscicultura.....	72
5.1.7	Dados de Agricultura Irrigada.....	74
5.2	METODOLOGIA APLICADA.....	76
5.2.1	Generalidades.....	76
5.2.2	Descrição dos Cenários.....	77
5.2.2.1	Cenário 1 (C1).....	77
5.2.2.2	Cenário 2 (C2).....	78
5.2.2.3	Cenário 3 (C3).....	78
5.2.2.4	Cenário 4 (C4).....	79
5.2.2.5	Cenário 5 (C5).....	79
CAPÍTULO VI.....		81
RESULTADOS E ANÁLISES.....		81
6.1	RESULTADOS E ANÁLISES.....	81
6.2	RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 1.....	81
6.3	RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 2.....	84
6.4	RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 3.....	87
6.5	RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 4.....	92
6.6	RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 5.....	96
6.7	ANÁLISE CONCLUSIVA DOS CENÁRIOS.....	101
CAPÍTULO VI.....		105
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107
APÊNDICE.....		112
Gráficos e Tabelas dos Resultados e Análises.....		112
(Capítulo VI).....		112

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da Bacia do Açude de Sumé/PB .....	37
Figura 3.2 – Mapa da Bacia do Açude de Sumé/PB .....	38
Figura 3.3 – Esquema do sistema hídrico para o modelo de otimização .....	43
Figura 4.1 – Gráfico da função objetivo quadrática e linearizada por segmentos da demanda ..... na tomada d'água do reservatório ou do nó no mês $t$ . .....	46
Figura 4.2 – Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo.....	54
Figura 4.3 – Gráfico da função objetivo linearizada para o volume meta do reservatório.....	61
Figura 4.4 – Valor do volume de água do reservatório entre a primeira e a segunda iteração e representação da restrição imposta aos trechos segmentados para a 2ª rodada da PL .....	63
Figura 4.5 – Representação da restrição imposta aos trechos segmentados para a 3ª rodada da PL .	64
Figura 4.6 – Fluxograma do modelo de otimização.....	65
Figura 5.1 – Ilustração do método de interpolação ponderada pelo inverso da distância.....	67
Figura A.1: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 1 e do volume mensal de água dos açudes.....	117
Figura A.2: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 2 e do volume mensal de água dos açudes.....	122
Figura A.3: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 3 e do volume mensal de água dos açudes.....	127
Figura A.4: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 3 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada.....	132
Figura A.5: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 4 e do volume mensal de água dos açudes.....	145
Figura A.6: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 4 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada.....	150
Figura A.7: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 5 e do volume mensal de água dos açudes.....	163
Figura A.8: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 5 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada.....	168



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Açudes da Bacia de Sumé levantados pelo projeto DISPAB-SA.....	39
Tabela 5.1 – Postos pluviométricos utilizados no estudo .....	68
Tabela 5.2 – Precipitação média mensal para a área estudada .....	68
Tabela 5.3 – Evaporação média mensal em mm para a estação meteorológica de Monteiro .....	69
Tabela 5.4 – População humana e animal na área de estudo .....	71
Tabela 5.5 - Coeficiente de cultivo médio das culturas adotados no perímetro irrigado.....	74
Tabela 5.6 – Dados das culturas e dos sistemas de irrigação.....	75
Tabela 5.7 – Plano cultural para o perímetro irrigado.....	76
Tabela 5.8 – Cenários, usos e prioridades de atendimento .....	80
Tabela 6.1 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 1.....	82
Tabela 6.2 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 2.....	85
Tabela 6.3 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 2 – totais para 09 anos.....	86
Tabela 6.4 – Indicadores de desempenho dos açudes para o Cenário 3.....	88
Tabela 6.5 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 3.....	89
Tabela 6.6 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 3 – totais para 09 anos.....	91
Tabela 6.7 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 4.....	93
Tabela 6.8 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 4 – totais para 09 anos.....	95
Tabela 6.9 – Indicadores de desempenho dos açudes para o Cenário 5.....	97
Tabela 6.10 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 5.....	98
Tabela 6.11 – Piscicultura Intensiva para o Cenário 5 – totais para 09 anos .....	100
Tabela A.1 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 3.....	133
Tabela A.3 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 3.....	133
Tabela A.4 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 3.....	134
Tabela A.5 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 3.....	134
Tabela A.6 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 3.....	135
Tabela A.7 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 3.....	135
Tabela A.8 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 3.....	135
Tabela A.9 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 3.....	136
Tabela A.10 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 3.....	136
Tabela A.11 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 3.....	137
Tabela A.12 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 3.....	137

Tabela A.13 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 3.....	137
Tabela A.14 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 3.....	138
Tabela A.15 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 3.....	138
Tabela A.16 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 3.....	139
Tabela A.17 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 3.....	139
Tabela A.18 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 3.....	139
Tabela A.19 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 3.....	140
Tabela A.20 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 3.....	140
Tabela A.21 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 4.....	151
Tabela A.22 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 44 – Cenário 4.....	151
Tabela A.23 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 4.....	151
Tabela A.24 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 4.....	152
Tabela A.25 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 4.....	152
Tabela A.26 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 4.....	153
Tabela A.27 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 4.....	153
Tabela A.28 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 4.....	153
Tabela A.29 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 4.....	154
Tabela A.30 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 4.....	154
Tabela A.31 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 4.....	155
Tabela A.32 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 4.....	155
Tabela A.33 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 4.....	155
Tabela A.34 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 4.....	156
Tabela A.35 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 4.....	156
Tabela A.36 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 4.....	157
Tabela A.37 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 4.....	157
Tabela A.38 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 4.....	157
Tabela A.39 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 4.....	158
Tabela A.40 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 4.....	158
Tabela A.41 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 5.....	169
Tabela A.42 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 44 – Cenário 5.....	169
Tabela A.43 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 5.....	169
Tabela A.44 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 5.....	170
Tabela A.45 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 5.....	170
Tabela A.46 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 5.....	170

Tabela A.47 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 5.....	171
Tabela A.48 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 5.....	171
Tabela A.49 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 5.....	171
Tabela A.50 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 5.....	172
Tabela A.51 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 5.....	172
Tabela A.52 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 5.....	172
Tabela A.53 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 5.....	173
Tabela A.54 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 5.....	173
Tabela A.55 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 5.....	174
Tabela A.56 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 5.....	174
Tabela A.57 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 5.....	174
Tabela A.58 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 5.....	175
Tabela A.59 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 5.....	175
Tabela A.60 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 5.....	175

### LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 3 – totais para 09 anos....	91
Quadro 6.2 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 4 – totais para 09 anos....	96
Quadro 6.3 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 5 – totais para 09 anos..	101

### LISTA DE SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
GPS – Global Positioning System  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IAP – Índice de Ativação da Potencialidade  
IUD – Índice de Utilização da Disponibilidade  
IUP – Índice de Utilização da Potencialidade  
MO – Mão-de-Obra  
ORNAP – *Optimal Reservoir Network Analysis Program*  
PL – Programação Linear  
RL – Receita Líquida  
SMAP – *Soil Moisture Accounting Procedure*



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

#### 1.1 INTRODUÇÃO

O consumo de água potável multiplica-se a cada década em virtude do crescimento demográfico e industrial, ao mesmo tempo em que sua disponibilidade diminui devido à degradação dos mananciais e ao uso não sustentável. Conforme Tucci (2009), com as novas solicitações de demanda, mormente as ligadas ao progresso socioeconômico e industrial, pode-se enumerar usos múltiplos para abastecimento urbano, irrigação, piscicultura, geração de energia elétrica, controle de cheias, regularização de vazões, diluição de esgotos, preservação da flora e fauna, entre outros.

A consequência imediata do aumento nas solicitações de água é o irrompimento de uma série de conflitos, agremiados em conflitos de destinação de uso e conflitos de disponibilidades quantitativas e/ou qualitativas. Essas situações instam por um conjunto de medidas planejadas e bem gerenciadas por parte do poder público, sociedade e dos usuários interessados, para que se chegue a uma solução minimamente viável. A Lei 9.433 de 1997 tem como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, estabelecendo diretrizes e ações no sentido de melhor aproveitá-la e, através do planejamento e da gestão integrada, controlar e preservar esse recurso.

No Estado da Paraíba, as características climáticas e geológicas favorecem a diminuição na oferta e contribuem com o incremento nas disputas pela água. O território paraibano tem aproximadamente 89% de sua área estabelecida sobre rochas pré-cambrianas, sendo complementado por bacias sedimentares fanerozóicas, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (AESA, 2006). Por suas características geológicas, a capacidade de armazenamento de água subterrânea fica restrita a zonas fraturadas do embasamento cristalino que não propiciam um ambiente adequado para manutenção de sua qualidade.

O regime pluviométrico, marcado por extrema irregularidade temporal e espacial de chuvas, prefigura um forte embargo ao desenvolvimento das economias locais, máxime as economias baseadas na agricultura, piscicultura e pecuária, o que, em última instância, termina por expor as populações a risco em sua própria subsistência.

Dois fatores, associados, subsidiam a escassez hídrica nas regiões do semiárido nordestino. O primeiro provém das características climáticas da região, com regimes pluviométricos concentrados em uma época do ano e com pouca chuva, como já mencionado, associado a uma alta taxa de evaporação dos reservatórios. O segundo fator é fruto de uma política de construção de reservatórios com o objetivo de sanar a carência de água nas épocas de seca, mas que se deu de forma indiscriminada. Molle e Cadier (1992) afirmam que o pequeno açude surgiu como uma solução para sanar a seca no Nordeste, sendo as secas de 1825, 1827 e 1830 responsáveis pelo início da política de açudagem, ocorrendo tanto no âmbito público quanto no privado.

Os pequenos açudes foram construídos com o desígnio de minimizar os efeitos da escassez hídrica da região nordestina, sob o escopo de atenuar a variabilidade espacial e temporal das vazões, armazenando água nos períodos chuvosos para utilizá-la nos períodos de seca. Entretanto, a construção desses açudes não respeitou critérios técnicos de distribuição espacial, volumes armazenados, qualidade da água, bem como a maioria deles foi construída sem adequar-se com a finalidade de seus usos prioritários.

A maioria dos açudes construídos na região semiárida nordestina foi mal dimensionada, fazendo com que os eles não apresentassem sustentabilidade hídrica e nem tão pouco eficiência no seu sentido pleno. Por outro lado, a falta de planejamento e gerenciamento técnico para a operação dos reservatórios, culminou com processos e técnicas não otimizadas para a utilização eficiente dos açudes.

Curi et al. (2005) sustentam que para proporcionar melhorias no padrão econômico e social e, por conseguinte, na qualidade de vida da população, é imprescindível lançar mão de tecnologias adequadas ao clima da região para promover o uso racional dos recursos naturais existentes. Oliveira e Lanna (1997) defendem que as causas do pouco desenvolvimento das regiões de clima semiárido estão relacionadas aos baixos investimentos na infraestrutura hídrica existente e à ineficiência no seu aproveitamento.

O planejamento, portanto, é uma ação no sentido de melhor aproveitar, controlar os usos e conservar a água desses reservatórios, e deve ser capaz de atender as demandas dos usos múltiplos por meio da integração e otimização do sistema.

---

Em virtude da alta complexidade dos problemas envolvendo alocação de água entre usos múltiplos é recomendado trabalhar-se com técnicas de análise de sistemas de recursos hídricos que consistem em uma abordagem sistêmica do problema usando ferramentas computacionais e modelagens matemáticas. Tais modelagens procuram descrever o sistema e sua dinâmica por meio de equações, primordialmente a do *balanço hídrico*, cujo princípio se fundamenta no da conservação da massa. Por outro lado, expressões matemáticas que limitam o sistema, também conhecidas como restrições (físicas, operacionais, condicionantes etc.), além das funções objetivo, são usadas para estabelecer as formas de valoração dos resultados do processo decisório (LANNA, 1997).

Desta forma, através de modelagens matemáticas utilizando programação linear, procurou-se avaliar as formas de melhor aproveitar os recursos hídricos dos açudes de pequeno porte na bacia do açude de Sumé/PB para maximizar os ganhos socioeconômicos na região, ao mesmo tempo em que se identificaram problemas relacionados aos usos hodiernos. A finalidade deste trabalho foi a de analisar de forma multiobjetiva a operação dos reservatórios para fornecer critérios de escolha para os gestores, garantindo um uso inteligente dos recursos hídricos e priorizando as vocações econômicas e socioculturais da região.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Realizar uma análise multiobjetiva dos usos múltiplos dos pequenos açudes integrantes da Bacia do açude de Sumé/PB para maximizar os ganhos socioeconômicos na região.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a área de estudo;
- Definir cenários;
- Sugerir um modelo de otimização para subsidiar a outorga dos recursos hídricos de pequenos açudes na bacia hidrográfica;
- Analisar qual(is) cenário(s) melhor se adequa(m) para modificar a realidade socioeconômica da região estudada;

### **1.3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA**

O sistema formado pelos pequenos reservatórios na bacia do açude de Sumé é de importância relevante para a região e envolve desde aspectos sociais até aspectos operacionais. Parte do problema da pobreza extrema na região provém da pouca disponibilidade de água para realizar tanto as atividades básicas do cotidiano como àquelas relacionadas a geração de emprego e renda na agricultura, em pequenas fábricas, na pecuária e na piscicultura. Por outro lado, existem aspectos hidrológicos da bacia, operação de reservatórios para os usos múltiplos, além de aspectos de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

A aplicação de novas metodologias e tecnologias que sirvam como ferramentas para o planejamento, gerenciamento e operação dos pequenos açudes nesse sistema é de grande interesse prático e científico. Nesse sentido, o modelo de otimização utilizado fornece subsídios para que o poder público adequue os usos múltiplos da água que geram emprego e renda à realidade hidroclimática da região. Foi aplicado um modelo linear de otimização que trabalha com diversos reservatórios integrados e com múltiplos usos e objetivos, para um período de nove anos. O intervalo de tempo considerado é fundamental para o planejamento de ações nas áreas de agricultura e pecuária, abastecimento urbano e rural, piscicultura e lazer, além de pontos mais específicos, como tipos de culturas mais adequadas para plantio na região, alocação de recursos financeiros, técnicos e humanos para dar suporte aos produtores rurais, construção de obras estruturantes, etc.

Portanto, a presente pesquisa, através da aplicação do modelo de otimização ORNAP, traz um importante avanço científico no uso dessas técnicas em regiões com escassez hídrica, proporcionando diminuição nos conflitos por disponibilidades de água entre os usuários para atendimento de suas demandas e servindo como experiência para solução de problemas relacionados aos recursos hídricos em regiões com características similares.

### **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A Dissertação está estruturada em sete capítulos, incluindo este capítulo introdutório. Os demais capítulos serão apresentados adiante:

Capítulo II – Revisão Bibliográfica. Será apresentada a revisão bibliográfica sobre os temas de planejamento e gerenciamento em sistemas de recursos hídricos, modelos de otimização, análise multiobjetivo e indicadores aplicados a recursos hídricos.

Capítulo III – A Região e o Sistema Hídrico em Estudo. O terceiro capítulo descreve a área de estudo, a bacia hidrográfica do açude de Sumé/PB, seus aspectos hidrográficos, climáticos e geográficos e a situação socioeconômica da região.

Capítulo IV – Modelo Adotado no Estudo. Neste capítulo descreve-se o modelo adotado, apresentam-se as funções objetivo e equações de restrição utilizadas por ele.

Capítulo V – Metodologia, Dados de Entrada no Modelo e Descrição dos Cenários. Serão apresentadas as etapas metodológicas, os dados utilizados e os cenários utilizados, com suas descrições e prioridades de atendimento às demandas.

Capítulo VI – Resultados e Análises. Este capítulo apresenta e analisa os resultados das otimizações para cada um dos cenários propostos, verificando se estão ocorrendo perdas no sistema e analisando os indicadores para cada açude.

Capítulo VII – Conclusões. Será exposto o que pode se abstrair a partir da análise dos resultados realizada no capítulo anterior, ao mesmo tempo em que serão verificadas possíveis fontes de erros identificadas ao longo do estudo.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

O planejamento e o gerenciamento de um sistema de recursos hídricos devem ser discutidos e trabalhados dentro de uma conjuntura socioeconômica, ambiental e política. As atividades humanas, com suas peculiaridades, carecem de um planejamento que abarque seus componentes, suas limitações e seu desenvolvimento, sendo imprescindível valer-se de técnicas de análise de sistemas, correntemente com o uso das metodologias computacionais e modelagens matemáticas para simulação e otimização. Para Braga *et al.* (1998) “a análise de sistemas de recursos hídricos é um enfoque sistêmico através do qual os componentes do sistema de recursos hídricos e suas interações são descritas em termos quantitativos por meio de equações matemáticas e funções lógicas”.

Portanto, pode-se dizer que a análise de um sistema de recursos hídricos é o conjunto de princípios, legislação, métodos e técnicas com fito de entender o comportamento e a estrutura de seus componentes, para ponderar as melhores formas de utilizar estes recursos. Nesse contexto, o sistema representa vários elementos sociais ou naturais, existentes ou planejados, estáticos ou dinâmicos, todos inter-relacionados e com caráter interdisciplinar. Isto importa no envolvimento de especialistas e tomadores de decisão nem sempre versados em água, como cientistas sociais, juristas e políticos, que trazem sua contribuição para o problema de acordo com seus conhecimentos específicos.

Lima e Lanna (2005) consideram que uma das principais áreas de aplicação dos modelos de análise de sistemas é no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Por sua vez, Ribeiro (1990) abaliza que a análise desses sistemas é uma ferramenta indispensável para os profissionais que os gerenciam. É pertinente anotar que o planejamento associado a um bom esquema de gerenciamento promove a eficiência econômica e flexibiliza a operação do sistema, melhorando os indicadores sociais e ambientais, fomentando as instituições públicas e privadas, além de adequar e harmonizar as atividades antrópicas com o sistema de recursos hídricos. Entretanto, não é tarefa fácil a de harmonizar as intervenções humanas com o sistema hídrico, na medida em que os usos podem ser conflitantes em si mesmos como, *e.g.*,

demandas para agricultura, indústria e abastecimento urbano. A eleição e formalização da melhor direção a ser tomada é um dos papéis precípuos do planejamento e do gerenciamento.

Para tentar contornar a complexidade dos problemas envolvendo o planejamento e a gestão dos recursos hídricos são empregadas técnicas e ferramentas, notadamente às de simulação e otimização, hábeis a auxiliar na análise, operação, tomada de decisão e desenvolvimento de estratégias contra falhas no atendimento das demandas. Yeh (1985), Simonovic (1992) e Wurbs (1993) estudaram a modelagem de operação de sistemas de reservatórios enfatizando as aplicações práticas de modelos de simulação e otimização. Lima e Lanna (2005), Bravo *et. al.*(2005) e Wurbs (2005), mais recentemente, tratam dos modelos para operação de reservatórios em sistemas, modelando através de simulação, otimização e associação entre ambas.

Os modelos mencionados devem ser aptos a trabalhar com uma enorme quantidade de dados, processá-los, integrar os modelos matemáticos, simular e otimizar os processos e apresentar os resultados em uma interface amigável com o usuário, de fácil manejo e interpretação. Este conjunto integrado de modelos matemáticos e computacionais originou áreas de estudo denominadas Pesquisa Operacional, Análise de Sistemas de Recursos Hídricos e Sistemas de Suporte à Decisão. Ocorre, entretanto, que existem limitações para o uso desses modelos relacionadas, principalmente, com a dificuldade na discretização de processos que são contínuos e com a eficiência, do ponto de vista computacional, na representação matemática dos fenômenos físicos. Em primeira análise, é impossível que um processo físico seja completamente encerrado em um modelo que contemple perfeitamente todos os seus processos, fazendo surgir elementos de incerteza na modelagem matemática. Inobstante, representações matemáticas muito complexas diminuem os erros inerentes ao modelo, mas aumentam os requerimentos computacionais de memória e velocidade de processamento, para chegar-se a uma solução.

Lanna (1997) obtempera que simular o comportamento da realidade e otimizar os processos decisórios são os dois propósitos primordiais da análise de sistemas. Para Simonovic (1992) as ferramentas de simulação e otimização são ferramentas basilares para dar suporte às decisões de planejamento e gerenciamento de reservatórios. Portanto, percebe-se que as ferramentas de simulação e otimização são indispensáveis à análise de sistemas de recursos hídricos que contemplem não apenas um objetivo isolado, como era comum no passado. Modernamente, os modelos estão sendo concebidos para trabalhar com análise multicriterial ou multiobjetivo, em que diversos atributos são considerados e o modelo



procura a solução ótima dentro das restrições impostas pelos próprios atributos considerados. Com esta nova concepção o tomador de decisão dispõe de informações quantificadas sobre atributos de ordem econômica, social, ambiental, técnica, política etc. que dão suporte para a escolha da opção que melhor se adequa à situação apresentada. Wurbs (2005), ao fazer uma análise comparativa da evolução dos modelos em recursos hídricos, sustenta que os modelos multiobjetivos e multicriteriais estão associados ao desenvolvimento sustentável, na medida em que compatibilizam no espaço e no tempo o crescimento econômico com a conservação ambiental, a qualidade de vida e a distribuição de renda, o crescimento populacional e a operação dos reservatórios etc. No mesmo sentido, Loucks (2000) preceitua que sistemas sustentáveis são aqueles planejados e gerenciados para satisfazerem suas demandas e contribuírem com os objetivos da sociedade agora e no futuro, ao mesmo tempo em que resguardam suas características hidrológicas e ambientais.

As particularidades de cada sistema definirão a metodologia a ser adotada para o adequado planejamento e gerenciamento. Os modelos que utilizam programação matemática (linear, dinâmica ou não-linear) e os de simulação tem sua importância dentro de situações específicas. Entretanto, segundo Lima e Lanna (2005), a tendência das pesquisas dos modelos para planejamento e operação de sistemas de reservatórios é a busca de modelos que utilizem a simulação e otimização em conjunto, tentando assim fornecer aos planejadores respostas mais confiáveis.

## **2.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO**

Os modelos de otimização são aqueles onde se conhecem todos os processos, mas não se conhecem todas as variáveis. As variáveis de decisão, cujos valores ótimos devem ser determinados, são desconhecidas. São ferramentas computacionais compostas por uma função objetivo e equações de restrição, representadas por expressões matemáticas em função das variáveis de decisão.

Os problemas em planejamento e gerenciamento de sistemas de recursos hídricos que envolvam escolher a alternativa ótima para maximizar um índice de eficiência são solucionados através de modelos de otimização (Wurbs, 1993). Eles são de fundamental importância para a gestão integrada dos recursos hídricos, pois promovem a análise dos reservatórios de forma conjunta, contemplando os usos múltiplos e levando em conta aspectos socioeconômicos da região em estudo. Neste sentido, Yeh (1985), assinala que os avanços

mais importantes na engenharia de recursos hídricos foram o desenvolvimento e a adoção de técnicas de otimização para o planejamento e gerenciamento de sistemas complexos de recursos hídricos.

Preceitua Wurbs (1993) que os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, na qual um algoritmo formal é usado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão que minimizem ou maximizem uma função objetivo, sujeita a restrições. Por sua vez, Simonovic (1992) esclarece que a função objetivo de um problema de otimização representa uma forma de valoração do nível de desempenho obtido por mudanças específicas num conjunto de variáveis de decisão, que definem como um sistema está para ser operado.

A técnica de otimização objetiva identificar a solução que maximize ou minimize uma função objetivo, que se trata da representação matemática dos objetivos que devem ser melhorados no problema e os ordena segundo sua prioridade ou atratividade. Outra característica relevante da técnica de otimização é a existência das equações de restrição que são limitações impostas ao sistema devido a aspectos ambientais, insuficiência de recursos financeiros, perspectivas políticas etc. Yeh (1985) observa que as restrições típicas em reservatórios incluem as equações de conservação de massa, armazenamentos máximos e mínimos, limitações impostas pelas tubulações e outros equipamentos, além das obrigações de cunho contratual e institucional que o sistema deve satisfazer. Não obstante, deve-se ter em mente que qualquer que seja o horizonte para o qual se busca a operação ótima, o estado final do sistema deve garantir às gerações futuras condições de abastecimento adequadas.

Um aspecto que deve ser cotado ao modelar utilizando a técnica de otimização é o emprego de equações menos complexas que as utilizadas nos modelos de simulação. Isto porque o modelo de otimização requer a resolução de um sistema de equações, o que exige maior esforço computacional e maior demanda de memória. Diferentemente do modelo de simulação, são muitas as equações e variáveis presentes no modelo aqui tratado. O objetivo deste modelo é, portanto, prescritivo, visando otimizar os processos decisórios e encontrar a alternativa operacional ótima.

No presente estudo, o modelo de otimização foi preferido porque permite apontar as ações mais apropriadas frente aos objetivos e as restrições do problema, em virtude de ser um modelo que encontra uma solução ótima (máximo ou mínimo) para cada variável envolvida, em cada intervalo de tempo. Destarte, como o objetivo precípua deste trabalho é realizar uma análise multiobjetiva dos usos múltiplos dos pequenos açudes integrantes da Bacia do Açude

de Sumé/PB para maximizar os ganhos socioeconômicos na região e verificar os impactos dos pequenos açudes sobre os açudes de maior porte a jusante, o modelo mais adequado é o de otimização. Perceba-se que a operação de um sistema de reservatórios implica armazenar e alocar água para os diversos usos, minimizando riscos de falhas no abastecimento, ao tempo em que se melhoram os indicadores socioeconômicos, levando-se ainda em consideração que existem interesses conflitantes dentro deste processo.

O modelo adotado nesta pesquisa foi o ORNAP – *Optimal Reservoir Network Analysis Program*, desenvolvido por Curi e Curi (1997), baseado na Programação Não Linear, com escopo de análise da alocação ótima de volumes mensais de água do reservatório Engenheiro Arco Verde para irrigação, determinando os valores máximos de área a ser irrigada para cada cultura. Posteriormente, este modelo foi modificado para Programação Linear por Santos (2007) com o objetivo de prover a operação integrada de um sistema de reservatórios e atendimento de suas demandas sob a ótica da determinação da alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usos, via uma análise multiobjetivo. O ORNAP foi escolhido por fornecer resultados que subsidiam o pesquisador na análise do desempenho integrado do sistema de reservatórios, rios, perímetros irrigados e adutoras mediante a análise multiobjetivo para um período plurianual.

### **2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA AOS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO**

Diversas técnicas foram idealizadas ou adaptadas para a aplicação em modelos de otimização, dentre as quais se destacam a programação linear e a não-linear, a programação por redes de fluxo, a programação dinâmica e os algoritmos genéticos. A programação linear aplica-se quando as funções-objetivo e as equações de restrições são lineares; a programação não-linear, quando ocorrem funções-objetivo ou restrições não-lineares no problema; a programação dinâmica é indicada para problemas que envolvem processos de decisão em múltiplos estágios sequenciais no tempo; os algoritmos genéticos (embora sejam mais comuns hoje, com os avanços na tecnologia dos computadores digitais) ainda são indicados quando à natureza do problema não proporciona a aplicação das outras técnicas (BARBOSA, 2008).

Dentre estas técnicas, conforme preleciona Barbosa (2002), a técnica mais amplamente utilizada na área de recursos hídricos é a de Programação Linear, em virtude de

sua capacidade de adaptação a uma grande variedade de problemas, facilidade de compreensão e facilidade de implantação nos modelos.

A Programação Linear é uma técnica que, através de equações e inequações lineares, faz uma representação aproximada da realidade de um sistema e procura adequar as disponibilidades de recursos às várias demandas (geralmente competitivas), por meio da maximização ou minimização de uma função linear, denominada *função objetivo*.

Como afirmado anteriormente, a técnica de Programação Linear demanda que as equações que caracterizam o problema sejam todas lineares. Não obstante as funções objetivo e as equações de restrição sejam na maioria das vezes não-lineares, diversas técnicas de linearização podem ser utilizadas para contornar este problema. Neste aspecto, Yeh (1985) aponta que as técnicas de linearização por partes, expansões por séries de Taylor de primeira ordem, esquemas iterativos, dentre outras, podem ser utilizadas com êxito.

A Programação Linear proporciona determinadas vantagens para o usuário que incluem a habilidade para se ajustar facilmente a problemas multidimensionais, a garantia de obtenção de valores ótimos globais, a dispensabilidade de uma política inicial de operação de reservatórios, a comercialização de programas de computador prontos para resolução dos problemas e a baixa dificuldade para compreensão de seus algoritmos.

Em contrapartida, as principais desvantagens dos métodos de Programação Linear são a requisição de linearidade das funções (máxime da função objetivo) e a otimização em um único estágio (representação estática), enquanto o sistema é dinâmico (variável no tempo) (Lima e Lanna, 2005).

A solução dos problemas de PL pode ser obtida a partir de métodos consagrados como o método gráfico, para problemas simples com duas variáveis de decisão, ou métodos mais complexos. As aplicações em planejamento, gerenciamento e operação em sistemas de recursos hídricos, por exemplo, carecem de um número elevado de variáveis de decisão, motivo pelo qual é amplamente utilizado nestes problemas os métodos *simplex*, *simplex revisado*, *simplex dual*. Modelos mais complexos e eficientes que o *simplex* são vastamente empregados atualmente, sobretudo em problemas de grande escala, como o *Primal-dual* e o método do Ponto Interior.

Inúmeros trabalhos foram desenvolvidos baseados em Programação Linear, que corroboram a conveniência desta técnica no planejamento e operação de reservatórios. Lima e Lanna (2005) citam diversos autores que apresentaram aplicações em sistemas de recursos hídricos como Loucks *et al.* (1981), Goodman (1984), Labadie (1987), Votruba (1988-89).

Braga (1987) cita que o plano Hibrace, que contemplou um sistema de 31 reservatórios para regularização e controle de recursos hídricos da região metropolitana de São Paulo, foi um dos primeiros em aplicação de Programação Linear.

Oliveira e Lanna (1997) desenvolveram um modelo combinado de otimização linear com simulação, para a análise de um sistema de múltiplos reservatórios atendendo a usos múltiplos no estado do Ceará – Brasil.

Um estudo dos diferentes fatores que influenciam diretamente nos resultados dos modelos de otimização, com perspectiva de planejamento anual e intervalo de discretização mensal foi elaborado por Francato e Barbosa (1996). O modelo contemplou um sistema que engloba as usinas hidrelétricas de Itumbiara e Embarcação, na bacia do rio Parnaíba-RN, ocorrendo-se de sucessivas iterações da PL e analisou todo o período de planejamento.

Pode-se justificar a utilização da Programação Linear neste estudo pela vantagem que esta técnica trás consigo em atingir o ótimo global para o problema apresentado, além de possibilitar o trabalho com diversos reservatórios interligados ao sistema e com os múltiplos usos e objetivos. Para contornar a desvantagem da técnica – qual seja à exigência da linearidade das funções – o modelo contempla as linearizações apropriadas das não-linearidades inerentes aos processos de cada componente, através dos artifícios da Programação Linear Sequencial e da Linearização por Segmentos.

## **2.4 ANÁLISE MULTIOBJETIVO**

A Lei 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, configura uma fronteira que representa uma intensa mudança valorativa quanto aos usos múltiplos da água e às prioridades desses usos, seu valor econômico, sua finitude e quanto à participação dos usuários e da comunidade na sua gestão. A tomada de decisão deixou de ser prerrogativa exclusiva do Estado e passou a envolver uma pluralidade de deliberantes, bem como surgiram múltiplos objetivos a serem observados. Consequência imediata, sobrevieram os conflitos de interesses entre os usuários, o Poder Público e as comunidades, cujas visões concernentes ao planejamento e a gestão dos recursos hídricos naturalmente se colidem. Neste panorama, a análise multiobjetivo procura fornecer subsídios para a tomada decisão mediante a apresentação de conceitos para o tratamento e quantificação dos processos de tomada de decisão com múltiplos objetivos (BRAGA e GOBETTI, 2002, *apud* SANTOS, 2007).

Em problemas com um só objetivo, a solução ótima é alcançada através da maximização ou minimização de apenas uma *função*. Por outro lado, em problemas de análise multiobjetivo, a solução mais adequada será aquela que melhor atender aos objetivos em conjunto. Na análise multiobjetivo existem um conjunto de ótimos que satisfazem de formas distintas e simultaneamente os diferentes objetivos do problema. É conhecida também por otimização de Pareto, vetor de otimização ou otimização eficiente. Uma das características mais importantes da otimização multiobjetivo é que a melhoria nos parâmetros de um objetivo implica em diminuição nos parâmetros de pelo menos um dos demais objetivos.

Podem-se dividir as técnicas de análise multiobjetivo em três categorias, que se distinguem pela natureza do problema e pela forma em que são utilizadas as preferências do decisor (COHON e MARKS, 1975, *apud*, SANTOS, 2007):

- Técnicas que geram o conjunto de soluções não dominadas;
- Técnicas que utilizam uma articulação antecipada das preferências;
- Técnicas que utilizam uma articulação progressiva das preferências.

As primeiras consideram um vetor de funções objetivo por meio do qual é gerado o conjunto das soluções não-dominadas, onde um objetivo não é melhorado sem piorar outro. Estas técnicas acolhem as restrições físicas do sistema, mas não levam em conta as preferências do tomador de decisão.

As técnicas que utilizam uma articulação antecipada das preferências exigem em primeiro lugar que o decisor emita sua opinião com relação a possíveis alterações nos objetivos e em seus pesos relativos para, somente no final, resolver o problema.

Nas técnicas de articulação progressiva das preferências, sempre que uma solução é obtida o decisor é questionado sobre a sua satisfação quanto ao nível atingido de atendimento dos objetivos. Caso não fique satisfeito, o problema retorna ao estágio anterior para modificação dos parâmetros e é novamente resolvido.

## **2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Os indicadores são ferramentas que permitem a colheita de informações sobre uma determinada realidade e cuja principal característica é a capacidade de sintetizar um conjunto de informações complexas, preservando apenas o significado essencial dos aspectos

analisados (HATCHUEL e POQUET, 1992; BOUNI, 1996; MITCHELL, 1997, *apud* MARZALL e ALMEIDA, 1999). Conhecendo-se, portanto, as relações entre os indicadores e o padrão de resposta dos sistemas, é possível trabalhar-se com a previsão de futuras condições desses sistemas. Entretanto, um indicador não é um instrumento de previsão, nem uma medida estatística que caracterize a população dos dados observados, ou ainda uma prova de causa-efeito, mas tão somente certifica uma dada situação fática. Portanto, é papel do analista, através de sua opinião abstrata, fruto de suas observações e conhecimentos adquiridos ao longo de sua vida, estabelecer as possíveis relações de causa e efeito, previsões ou consequências do evento ou sistema estudado.

Quanto ao aspecto da sustentabilidade, é primordial que seu conceito esteja bem nítido para o pesquisador, pois a interpretação dos indicadores será estabelecida tão somente após a clara visão do objetivo (sustentabilidade) (MARZALL e ALMEIDA, 1999).

Marzall e Almeida (1999) esclarecem que um indicador deve fornecer uma resposta imediata às mudanças ocorridas ou provocadas em um sistema, deve permitir um enfoque integrado, relacionando-se com outros indicadores, ser de fácil aplicação, compreensível, dirigido ao usuário, útil e significativo para o propósito a que se dirige.

Outro ponto significativo é que não existe a possibilidade de determinar a sustentabilidade de um sistema considerando apenas um indicador, ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema (MARZALL e ALMEIDA, 1999). Os fatores econômicos, sociais, políticos e ambientais devem ser contemplados em conjunto para a determinação da sustentabilidade. Quantos indicadores formarão esse conjunto, quais os fatores a serem considerados prioritários, são aspectos que devem ser determinados pelos conceitos de sustentabilidade previamente concebidos na base do processo.

Neste estudo, a partir dos resultados obtidos com o processo de otimização, determinou-se os valores dos indicadores de sustentabilidade dos reservatórios e do perímetro irrigado. Eles auxiliam na análise de desempenho do sistema hídrico, fornecem informações sobre possíveis problemas, além de darem suporte para os decisores realizarem suas escolhas. Especialmente com relação aos indicadores de sustentabilidade para as atividades de agricultura irrigada, eles podem apontar ou não para a viabilidade dessa atividade dentro do sistema.

Por outro lado, os indicadores não somente se nutrem de informações, mas igualmente as produzem, devendo essa perspectiva ser considerada no processo de interpretação. Eles determinam modelos de interpretação da realidade social ou visões de mundo, pois o sentido



trazido consigo depende dessas representações sociais e de determinantes políticos. Para Marzall e Almeida (1999) a avaliação de uma dada realidade, e a consequente determinação dos rumos a serem tomados, deve considerar a reação das pessoas frente à dada situação. Para tal, cada indicador deve ter seu significado extremamente claro, o que depende fundamentalmente do método de elaboração usado.

Essa avaliação tem por objetivo caracterizar e acompanhar um dado sistema, dentro de uma realidade conceitual, e dessa forma permitir: a quantificação de fenômenos complexos, a simplificação dos mecanismos e lógicas atuantes na área considerada, a determinação de como as ações humanas estão afetando seu entorno, alertar para as situações de risco e consequente mobilização dos atores envolvidos, prever situações e informar e guiar decisões políticas (MARZALL e ALMEIDA, 1999).

De acordo com Celeste (2006) inúmeros indicadores são hodiernamente usados na análise de desempenho de sistemas. Para análise de impactos ambientais, por exemplo, existem os indicadores de comportamento, de gestão e de situação ambiental, que se relacionam às atividades humanas e seus impactos no meio ambiente.

Além desses, vários outros medem o desempenho de sistemas, sejam eles indicadores sociais, econômicos, financeiros, de qualidade, de eficiência, de produtividade, de capacidade etc.

Hashimoto *et al.* (1982) estabeleceram os indicadores *confiabilidade*, *resiliência* e *vulnerabilidade* para análise de desempenho de sistemas, que podem perfeitamente ser adequados à sistemas de recursos hídricos.

Falhas na operação de sistemas de reservatórios para abastecimento são muito frequentes em períodos hidrológicos críticos. Na lição de Srinivasan *et al.* (1999), observando esse aspecto, as características das falhas de cada sistema podem ser representadas pelos indicadores confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, que, juntos, caracterizam o fator “risco” para o planejamento e operação dos reservatórios.

Justifica-se, portanto, a opção pela utilização desses três indicadores na análise do sistema hídrico objeto do presente estudo e de outros que serão discutidos adiante.

## **2.5.1 Indicadores de Desempenho**

### *2.5.1.1 - Confiabilidade*

O indicador Confiabilidade expressa a percentagem de tempo em que o sistema permanece funcionando sem apresentar falhas. Em outras palavras, é a probabilidade de funcionamento sem falhas de atendimento às demandas.

$$Conf = \frac{Ns}{N} \quad (\text{HASHIMOTO } et al., 1982) \quad (2.1)$$

Onde:

Ns = Número de sucessos;

N = Número de período de tempos simulados.

### 2.5.1.2 – Resiliência

A resiliência, também chamada de elasticidade, avalia a média da velocidade em que o sistema retorna a um estado satisfatório de atendimento às demandas. Em alguns casos, é preferível um sistema que apresente muitas falhas, mas que se recupere rapidamente, do que um que tenha poucas falhas, mas que demore a se recuperar.

É definido como o número de vezes em que o sistema saiu de uma falha e o número de falhas ocorridas no período (HASHIMOTO *et al.*, 1982).

$$Res = \frac{\text{Número de vezes que sai de uma falha}}{\text{Número total de falhas}} \quad (2.2)$$

### 2.5.1.3 – Vulnerabilidade

O indicador Vulnerabilidade mede a severidade média das falhas, caso estas tenham ocorrido. Pode ser definido como a média percentual do déficit hídrico do conjunto de todos os valores insatisfatórios de atendimento das demandas (CELESTE, 2006).

$$Vul = \frac{\sum \text{Percentual da Falha } i \text{ no atendimento a demanda}}{\text{Número total de falhas}} \quad (2.3)$$

## 2.5.2 Indicadores de Sustentabilidade e Eficiência

Antes de definir os indicadores de sustentabilidade e eficiência, é necessário conceituar o que sejam potencialidade e disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas.

A potencialidade representa a quantidade de água existente na bacia em seu estado natural, ou seja, sem intervenção humana e depende de características hidrológicas,

geográficas, climáticas e fisiográficas. Vieira (1996) leciona que a potencialidade se trata do escoamento natural médio que, por sua vez, é a soma do escoamento superficial direto com o escoamento de base (subterrâneo).

A disponibilidade representa a parcela da potencialidade ativada pela ação do homem. Dessa forma, suas variações dependem de fatores naturais e de fatores ligados ao destino da água e seu aproveitamento. A disponibilidade é calculada como a subtração das perdas (em trânsito, por vertimento e evaporação etc.) dos afluxos (CURI e CURI, 2004). Este indicador está relacionado aos aspectos de localização dos reservatórios e dos pontos de consumo, qualidade da água, nível tecnológico, tipos de uso e aspectos econômicos.

Segundo Vieira (1996), a disponibilidade hídrica é obtida segundo os seguintes critérios: a) vazões regularizadas calculadas em estudos específicos, b) no caso de inexistência de estudos, 25% da capacidade de acumulação dos açudes, c) vazões mínimas de rios perenes, d) avaliação estatística, por aquífero, para disponibilidades subterrâneas.

Para Curi e Curi (2004), entretanto, a definição de Vieira (1996) não se aplica aos açudes de pequeno e médio porte do Nordeste brasileiro, pois as evaporações chegam a 30% dos volumes dos reservatórios e as retiradas de água devem ser realizadas o quanto antes. Consequentemente, o índice *demanda/disponibilidade* poderia ser maior que 1, o que não é possível, pois significaria que se retira mais água do que se tem. Portanto, como o presente trabalho considera apenas açudes de pequeno porte, não será utilizada a definição de Vieira.

#### 2.5.2.1 – Índice de Ativação da Potencialidade – IAP

Vieira (1996) define o IAP como a razão entre a disponibilidade e a potencialidade:

$$IAP = \frac{\text{Disponibilidade}}{\text{Potencialidade}} \quad (2.4)$$

#### 2.5.2.2 – Índice de Utilização da Disponibilidade – IUD

O IUD é definido como a razão entre a demanda e a disponibilidade. Os valores de IUD superiores à unidade são uma preocupação em termos de alocação da água, pois nos anos com pouca pluviometria, a pressão por disponibilidades para usos consuntivos, advinda de interesses econômicos e políticos será certamente geradora de conflitos de uso (CURI e CURI, 2004).

$$IUD = \frac{\text{Demanda}}{\text{Disponibilidade}} \quad (2.5)$$

### 2.5.2.3 – Índice de Utilização da Potencialidade – IUP

É definido como a razão entre a demanda e a potencialidade. Também pode ser obtido com o produto de IAP e IUD (CURI e CURI, 2004).

$$IUP = \frac{\text{Demanda}}{\text{Potencialidade}} \quad (2.6)$$

### 2.5.2.4 – $\eta_{Vr}$

Corresponde a variabilidade volumétrica do reservatório e o volume total afluente. Indica a variabilidade inter ou intra-anual do volume do reservatório. Valores negativos indicam depleção e positivos, o acúmulo de água no reservatório (CURI e CURI, 2004).

$$\eta_{Vr} = (V_{r\text{final}} - V_{r\text{inicial}}) / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (2.7)$$

### 2.5.2.5 – $\eta_E$

Estabelece a eficiência quanto ao armazenamento da água, pois corresponde a relação entre a evaporação total da superfície do reservatório e o volume total afluente. Pode fornecer informações sobre a relação entre a área de espelho d'água e a profundidade do reservatório (CURI e CURI, 2004).

$$\eta_E = \Sigma E_t / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (2.8)$$

### 2.5.2.6 – $\eta_P$

Indica o percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório, pois relaciona a precipitação direta total sobre a bacia hidrográfica do reservatório e o volume total afluente. Pode, implicitamente, fornecer informações quanto à área do espelho d'água do reservatório (CURI e CURI, 2004).

$$\eta_P = \Sigma P_t / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (2.9)$$

### 2.5.2.7 – $\eta_V$

Estabelece a eficiência quanto ao armazenamento da água ou capacidade relativa do reservatório. Indica quanto o reservatório desperdiça da água afluente por vertimento (CURI e CURI, 2004).

$$\eta_v = \Sigma Q_{vt} / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (2.10)$$

#### 2.5.2.8 – $\eta_U$

É a relação entre o volume total de água utilizado (descarregadores, tomadas d'água) e o volume total afluente. Estabelece a eficiência quanto ao uso da água. Altos valores do  $\eta_u$  indicam que existem poucos desperdícios no sistema (CURI e CURI, 2004).

$$\eta_u = \Sigma Q_{ut} / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (2.11)$$

## CAPÍTULO III

### A REGIÃO E O SISTEMA HÍDRICO EM ESTUDO

#### 3.1 REGIÃO

A região semiárida paraibana ocupa uma área de aproximadamente 48.800 km<sup>2</sup>, equivalentes a 86% da superfície estadual (56.439 km<sup>2</sup>), onde vivem cerca de dois milhões de habitantes. A situação socioeconômica dessa região é crítica, apresentando indicadores bastante deficientes, destacando-se a pobreza rural, índices de desemprego elevados, agropecuária pouco desenvolvida e fortemente dependente das chuvas, além de precárias condições de abastecimento de água para a população. O fenômeno da estiagem, que acontece de forma recorrente, concorre para a manutenção do estágio de subdesenvolvimento que vem afetando a região ao longo dos anos. No Estado da Paraíba, foram contabilizados a partir de imagens de satélite do ano 2000, aproximadamente 8.000 açudes na região semiárida, dos quais 7.600 foram considerados como pequenos. Estimou-se que, em média, estão armazenados nesses açudes, 2 bilhões e 267 milhões de m<sup>3</sup>, correspondendo a 60% da quantidade de água armazenada pelos médios e grandes reservatórios (PARAÍBA, 2004).

##### 3.1.1 Relevo, Solo e Vegetação

O relevo da região é caracterizado por uma topografia plana, com desníveis na região irrigada que não ultrapassam 3% (DNOCS, 2011).

Os solos da área do perímetro irrigado fazem parte de um vale encravado geologicamente no complexo cristalino brasileiro, formado por rochas do tipo granito, gnaiss e gnaiss com veios de quartzo. São solos de origem aluvial, depositados pelo rio Sucuru e seus afluentes, não apresentando uniformidade em sua distribuição. Esses solos são considerados aptos para a prática da irrigação (DNOCS, 2011). Os solos aluviais apresentam alto potencial para utilização agrícola em virtude de sua grande fertilidade natural, sendo importantes para manter áreas de pastagens e plantações de subsistência durante boa parte do ano.

Silva (2006) destaca que os solos predominantes na região são o Aluvial Eutrófico, o Bruno não Cálculo e o Lotólico. Os solos Aluviais Eutróficos ocorrem em áreas de várzeas às

margens dos cursos d'água, sendo mais evidentes às margens do Rio Sucuru, de onde parte a bacia hidrográfica do açude de Sumé. Os solos Bruno não Cálcicos são moderadamente rasos e próprios de regiões semiáridas sendo limitados para o uso em atividades agrícolas por apresentar excesso de pedregulhos na superfície e pela pequena espessura do perfil. Por fim, os solos Litólicos são predominantes nas áreas mais acidentadas, são bastante rasos, com alto potencial erosivo e com baixa cobertura vegetal sendo, portanto, pouco utilizados para agricultura.

A caatinga é a vegetação nativa, observando-se atualmente a presença de vegetação antrópica como pastagens, plantações de tomate, de palma (cactos), milho e outras culturas de subsistência. Também percebem-se a presença de árvores e arbustos esparsos que não proporcionam a formação de uma cobertura vegetal contínua. (CADIER, 1994)

### **3.1.2 Clima**

A bacia hidrográfica do açude de Sumé está situada em uma zona onde predomina, de maneira quase absoluta, o clima semi-árido (BSh, segundo a classificação de Köppen), caracterizado pela precipitação anual abaixo de 600 mm, temperaturas elevadas, forte evaporação e, principalmente, pela alternância de duas estações nitidamente delimitadas: a das chuvas, também chamada de “inverno” e a da seca, ou “verão”. As precipitações pluviais ocorrem entre janeiro e julho, com maior intensidade nos meses de março e abril (DNOCS, 2011).

### **3.1.3 Temperatura**

A temperatura média anual histórica é de 24°C e a umidade relativa média anual é de 57% (ALBUQUERQUE et al., 2002). As temperaturas máximas geralmente ocorrem nos meses de novembro e dezembro e as mínimas nos meses de julho e agosto.

### **3.1.4 Geologia**

A região está inteiramente situada sobre embasamento cristalino pré-cambriano e seu subsolo é impermeável, não existindo aquífero generalizado, onde podem ser encontrados lençóis confinados nas falhas ou nas formações aluviais superficiais, normalmente nas



proximidades de rios. Esta conformidade geológica implica em uma baixa capacidade de retenção hídrica, sendo este um dos motivos para a construção de tantos reservatórios de diversos tamanhos e capacidades de armazenamento.

### 3.2 BACIA DO AÇUDE DE SUMÉ

A bacia hidrográfica do açude de Sumé (figura 3.1) está localizada na região do Sertão do Cariri paraibano e é completamente envolvida pelas cidades de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo. Ela está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba/Sucuru, no estado da Paraíba. Encontra-se a, aproximadamente, 250 km da Costa Atlântica e está ligeiramente a oeste do centro da depressão pluviométrica gerada pelos relevos da chapada da Borborema que intercepta as massas de ar oceânicas e provoca, por efeito de interceptação, uma zona cuja pluviometria média é menor que 400 mm, centrada em Cabaceiras, chamada durante muito tempo "polo da seca do Brasil", (CADIER, 1994).

A região da bacia de Sumé tem clima seco com pluviometria fraca e irregular, sua média interanual é estimada entre 550 e 600 mm, com coeficiente de variação elevado, cerca de 40% (JACCON, 1982, *apud* CADIER, 1994). A estação chuvosa centra-se em março, iniciando em geral entre janeiro e março, terminando em maio. A temperatura média anual é de 24°C, atingindo as máximas em novembro/dezembro e mínimas em julho/agosto. A evaporação anual é de 2800 mm em tanque classe A.

Essa bacia está totalmente situada sobre embasamento cristalino pré-cambriano. Seu subsolo é impermeável e não existe aquífero generalizado. Podem-se encontrar lençóis confinados nas falhas ou nas formações aluviais superficiais, normalmente perto dos rios.

Como foi apresentado, a caatinga é a vegetação nativa da região, embora exista a presença de vegetação antrópica: pastagens, plantações de feijão, milho, tomate e de palma para alimentação do rebanho. A economia local gira em torno da agricultura, pecuária, caprinocultura e cultura de subsistência (CADIER, 1994).

O açude Sumé tem capacidade de 45.000.000 m<sup>3</sup> e atualmente apresenta diversos problemas que vão desde enchentes nas regiões mais baixas ao redor do açude, provocadas pela sua sangria e por cheias nos riachos próximos, até secas em períodos críticos, como em 1998, quando o açude chegou a secar (ATECEL, 1993). Atualmente os recursos hídricos da região são afetados pela forte presença de açudes a montante do açude Sumé, além dos

problemas socioambientais como lançamentos de lixo a montante deste reservatório (SILVA, 2010).

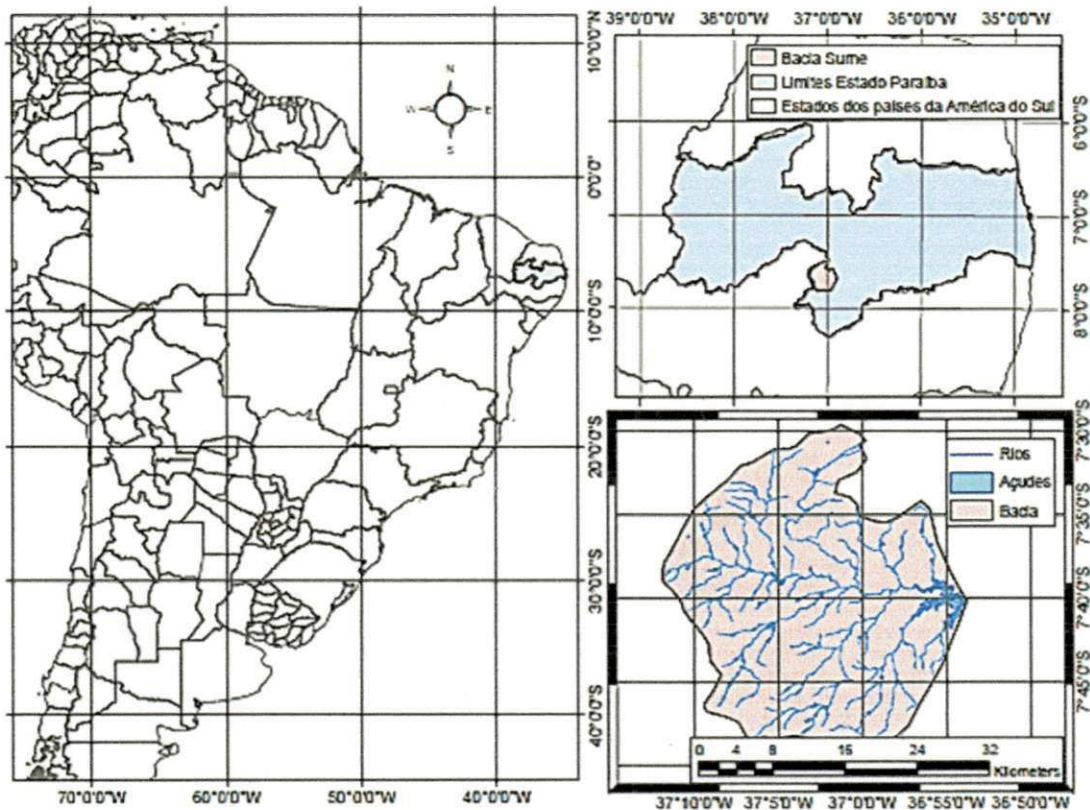


Figura 3.1 – Localização da Bacia do Açude de Sumé/PB  
Fonte: SILANS *et al.*, 2009.

O volume potencial estimado de armazenamento de água da bacia hidrográfica de Sumé é de 78 milhões de m<sup>3</sup>, sendo sua maior parte, cerca de 56 milhões de m<sup>3</sup> correspondentes aos quatro açudes monitorados pela AESA. Portanto, 30% do volume total dessa água está armazenado nos pequenos reservatórios (SANTOS *et al.* 2009).

A bacia do açude de Sumé é formada por 631 pequenos açudes que estão espalhados em 769 km<sup>2</sup>, sendo que 620 açudes tem área inferior a 20 ha.

Entre 1984 e 1990 foram construídos na bacia em estudo 75 reservatórios de pequeno porte, um açude público de médio porte (açude público Cinco Vacas) e um açude particular de grande porte (Açude São Paulo), totalizando a construção de 77 novos açudes num período de seis anos (ATECEL, 1993). De 2000 a 2008, o número de açudes cresceu na ordem de duas a três vezes. Dentre os açudes contabilizados no Estado da Paraíba em 2002, existia uma quantidade levantada nesta bacia de um pouco mais de duzentos. Porém, em um levantamento

realizado em 2008, através de imagens de satélite LandSAT5 foram encontrados nesta mesma região 631 espelhos de água (SILVA *et al.*, 2009).

Os açudes da bacia do açude público de Sumé estão distribuídos com uma densidade de aproximadamente um açude por km<sup>2</sup>, superior à densidade que Molle & Cadier (1992) consideram aceitável, de um açude para cada 1,5 km<sup>2</sup>.

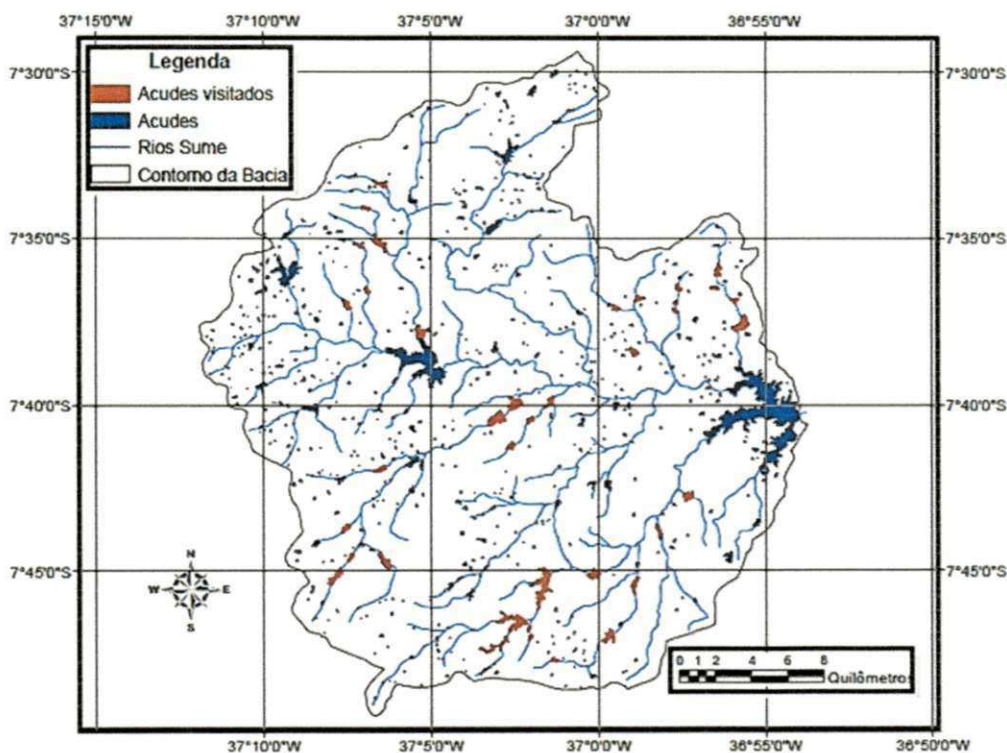


Figura 3.2 – Mapa da Bacia do Açude de Sumé/PB  
Fonte: Silva *et al.*, 2009

### 3.3 O SISTEMA HÍDRICO E SEUS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Dos 631 pequenos açudes integrantes da bacia hidrográfica de Sumé, somente 42 foram objeto de levantamento de campo realizado pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB em 2008, dentro do projeto DISPAB-SA – Metodologias para definição da disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas da região Semiárida do Brasil, financiado pelo MCT/FINEP/CT-HIDRO (edital IGRH 01/2007), e estão relacionados na Tabela 3.1.



Tabela 3.1 – Açudes da Bacia de Sumé levantados pelo projeto DISPAB-SA

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DO AÇUDE</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CAPACIDADE (m³) (ano de 2009)</b>	<b>CAPACIDADE MÁXIMA (m³)</b>
58	TuTe	Sumé	92.589,30	133.520,93
3	Leonardo	Sumé	322.379,90	479.858,72
55	Zé Gordo	Sumé	29.252,60	46.367,63
62	Vianês	Sumé	13.664,70	21.251,85
63	Riacho da Roça II	Sumé	87.993,00	135.408,28
60	Macambira	Sumé	84.898,90	111.457,14
61	Macambira	Sumé	25.279,70	37.673,39
53	Evaldo	Sumé	40.495,30	54.639,20
64	Riacho da Roça I	Sumé	69.912,90	86.758,30
71	Ministro Aposentado	Prata	535.917,40	636.465,96
72	Raminho	Prata	273.196,90	434.815,48
73	Amparinho	Prata	143.063,50	197.466,38
74	Raminho II	Prata	69.897,50	85.871,67
44	Lindalva	Sumé	104.206,90	138.570,50
75	Paulo Leite	Prata	100.086,40	137.338,32
135	Chique-Chique	Sumé	44.230,40	60.382,09
184	Jatobá	Monteiro	415.975,70	610.511,08
185	Dona Severina	Monteiro	28.600,30	33.527,17
144	Juraci	Monteiro	190.670,00	251.329,71
136	Geraldo	Sumé	89.097,50	135.823,24
51	Marmeleiro	Sumé	246.276,40	291.428,30
153	Br 412	Monteiro	38.949,10	59.440,81
181	Uruçu	Monteiro	1.044.782,10	1.656.129,28
132		Sumé	169.876,40	206.062,89
190		Monteiro	30.796,70	38.980,38
630	Açude Novo	Monteiro	12.957,70	16.857,52
191	Salgadinho	Monteiro	101.596,40	125.049,71
192		Monteiro	76.616,10	94.681,89
629	Zezinho	Monteiro	88.084,20	121.978,79
248	Matarina	Prata	285.145,20	367.142,12
249		Prata	30.785,40	41.049,80
255	Mujiqui	Prata	153.099,20	174.811,71
238	Pé da Serra	Prata	366.862,40	555.926,57
277	São Francisco	Prata	121.315,90	151.682,58
429	Borboleta	Ouro Velho	70.273,70	99.118,73
402	Mamoeiro	Ouro Velho	52.146,90	84.776,34
438	Quarteirão	Ouro Velho	221.440,90	291.406,68
401	Bethânia	Ouro Velho	125.206,40	171.833,49
432	Borboleta	Ouro Velho	30.096,30	80.911,93
631	438 Novo	Ouro Velho	11.393,00	16.894,47
433	Dom Pedro II	Ouro Velho	107.002,10	148.503,27
628	Braço do São Paulo	Ouro Velho	209.186,90	287.950,18

Fonte: SILANS *et al.*, 2009

Entretanto, para o presente trabalho apenas 20 açudes foram escolhidos por possuírem volumetria variando entre 100 mil e 1 milhão de metros cúbicos de água, classificando-se como pequenos açudes, segundo a definição de Molle e Cadier (1992). Estes açudes foram destacados com sombreamento na tabela anterior. Os demais, por possuírem capacidade atual inferior, não foram considerados.

### **3.3.1 Aproveitamento Socioeconômico**

As principais demandas do sistema para usos consuntivos são o uso doméstico, a piscicultura, a irrigação, a dessedentação de animais, o plantio de jusante e de vazante. Quanto aos usos não consuntivos, não foram verificados no sistema (SILANS *et al.*, 2009).

Cerca de 85% dos rebanhos utilizam água dos reservatórios para dessedentação. Nesse caso, 85,71% do rebanho bebem diretamente no açude, ocasionando risco de contaminação da água, além de problemas com as paredes das barragens em virtude do trânsito constante dos animais.

A contaminação dos mananciais é fator importante para as comunidades, pois 35,29% desses pequenos açudes são também utilizados para cozinhar e beber. Por outro lado, além do risco de contaminação ocasionado pelos animais, os reservatórios são também utilizados para lavagem de roupa, sendo que quase 32% das pessoas lavam diretamente no açude, piorando os indicadores de qualidade de água.

Quase 40% da população não faz uso da água dos reservatórios para atividades domésticas, indicando que esta parcela dispõe de outras fontes de abastecimento para a realização de tarefas como cozinhar, beber e higienizar.

Com relação à utilização econômica dos pequenos açudes, observa-se que em quase 60% dos pequenos açudes a água é aproveitada para o plantio de vazante, enquanto em quase metade deles existem plantações de jusante, indicando a presença de infiltrações nesses açudes, cujas águas são sabidamente exploradas (SILVA *et al.*, 2009).

A piscicultura é a atividade mais explorada na região, sendo praticada por 85% dos habitantes da região. A piscicultura extensiva responde por cerca de 60% do total, sendo seguida pela pesca tradicional em aproximadamente 40%. As técnicas de piscicultura semi-intensiva e intensiva não foram observadas em nenhum dos açudes (SILVA *et al.*, 2009). Portanto, depreende-se que a piscicultura não é tratada como uma atividade financeira, mas

tão somente como meio de subsistência ou atividade recreativa, indicando subutilização do potencial econômico da região em estudo.

Quanto à irrigação, foi a forma de utilização dos açudes menos expressiva, com menos de 30%. Mais uma vez, parece ser um indicativo de que a água não está sendo utilizada para potencializar as vocações econômicas da região.

No que tange ao aspecto social, os pequenos açudes são de importância relevante para os indivíduos que residem no seu entorno, embora existam outras fontes de abastecimento como poços, cisternas e outros. É necessário ponderar que apenas 42,85% da água chegam após tratamento, seja físico-químico ou químico (SILVA *et al*, 2009).

A maior parte das famílias é formada por quatro ou mais indivíduos e os açudes da região são fontes de renda indispensáveis para essas comunidades (SILVA *et al*, 2009). Desses açudes, 66,66% dos trabalhadores extraem alguma renda, sendo que a grande maioria não possui outra renda além das atividades que dependem dos reservatórios. Somente 19,05% dos trabalhadores dispõem de outras fontes de renda.

Não obstante as considerações já feitas, reflita-se que esses trabalhadores apresentam um grau de escolaridade muito baixo o que, aliado à cultura e sua ligação com a terra, dificultam sua inserção em outros mercados de trabalho como, *e.g.*, empregos urbanos ou até mesmo atividades especializadas no campo. Dessa maneira, é fácil notar a importância não só econômica, mas também social dos pequenos açudes para a região abastecida pela bacia hidrográfica aqui examinada.

### **3.3.2 Aspectos físicos das barragens**

Segundo Silva *et al* (2009) as paredes das barragens são em sua maioria retas e constituídas por argila compactada, estando à maior parte dos açudes sobre solos rasos, de espessura inferior a 50cm. Grande parte dos açudes apresenta infiltrações à jusante da parede da barragem, sendo que em quase 40% observa-se grandes infiltrações, com a presença de pequenos “olhos d’água”.

Existem formigueiros em aproximadamente metade dos açudes levantados e 25% das paredes destes estavam bastante erodidas, provavelmente porque em cerca de 90% a vegetação ciliar é inadequada como, por exemplo, árvores de juazeiro (SILVA *et al*, 2009).

Os sangradouros são, igualmente, fontes de preocupação, na medida em que aproximadamente 34% deles apresentam algum grau de erosão. Além disso, 19% dos sangradouros que possuem soleiras estão com estado de conservação regular (8,11%) ou ruim (10,81%) indicando falta de manutenção nesses equipamentos (SILVA *et al*, 2009).

Não se observa a presença marcante de vegetação aquática nos açudes e em 45,24% deles a água apresentava boa qualidade com relação à ausência de cor e odor.

Portanto, com relação aos aspectos físicos, o que Silva *et al* (2009) indicam é que os pequenos açudes levantados não estão em bom estado de conservação, relatando-se casos de arrombamento em alguns sangradouros ao longo dos anos ou possibilidade iminente de sua ocorrência. Os reservatórios também perdem muito em eficiência devido à presença das infiltrações, formigueiros e erosão em suas paredes.

### **3.4 ESTRUTURA DO SISTEMA DE RESERVATÓRIOS**

A Figura 3.3 representa o sistema composto pelos 20 reservatórios que foram analisados neste estudo, todos com capacidade volumétrica estimada entre 100.000m<sup>3</sup> e 1.000.000m<sup>3</sup>, visitados em campo pela equipe do DISPAB, conforme já abordado no item 2.2.

A otimização dos usos múltiplos foi realizada para cada açude individualmente, embora todo o sistema esteja interligado, o que implica em trabalhar a partir de uma sequência, onde os açudes de montante são otimizados em primeiro lugar, seguidos dos demais à jusante. Dessa forma, às vazões afluentes dos açudes de jusante são somados os volumes vertidos dos reservatórios de montante.



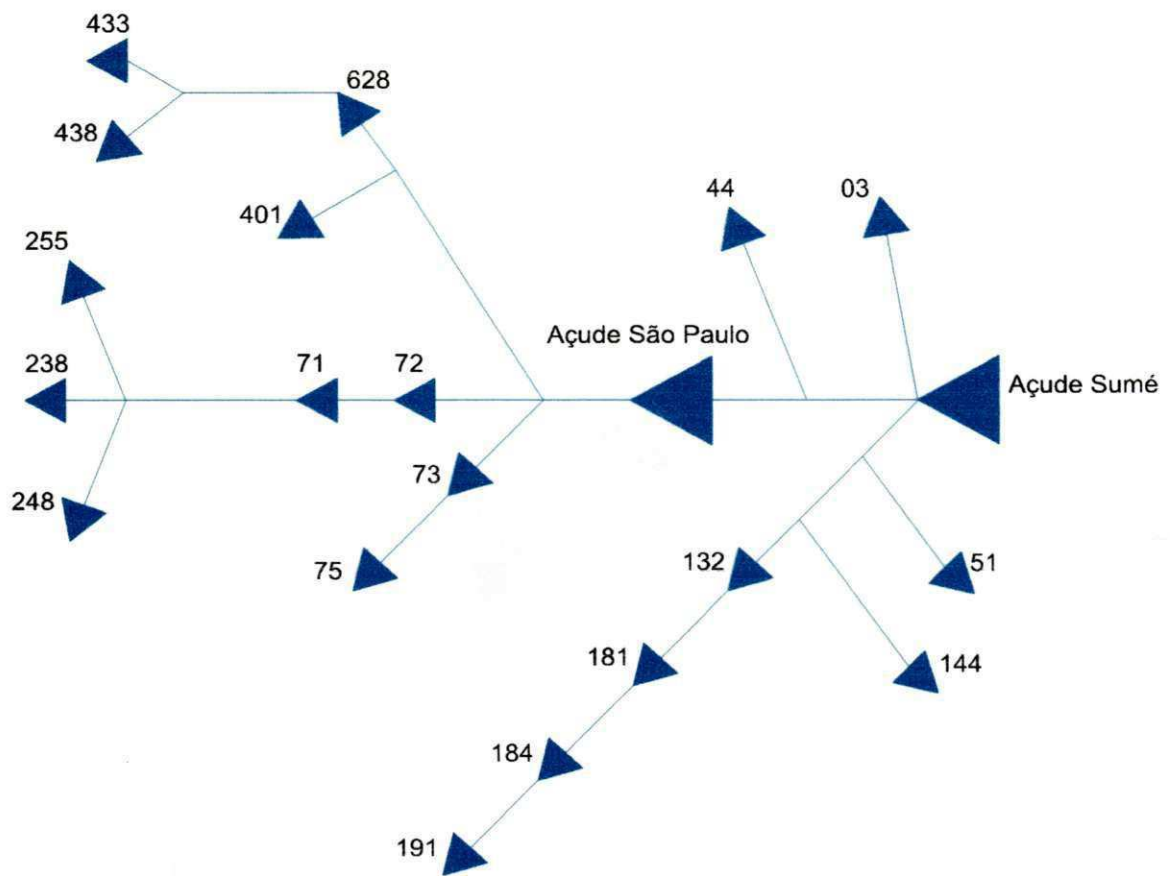


Figura 3.3 – Esquema do sistema hídrico para o modelo de otimização  
Adaptado de Barros (2010)

## CAPÍTULO IV

### MODELO ADOTADO NO ESTUDO

#### 4.1 ORNAP

O modelo de otimização adotado nesse estudo foi desenvolvido por Curi e Curi (1997) sendo baseado, originalmente, em programação não-linear. Batizado de ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*), o modelo foi posteriormente adaptado por Santos (2007) para trabalhar com programação linear e utiliza o *Toolbox Optimization* do software MATLAB 6.5 com o Método do Ponto Interior para a busca da solução ótima. Através da combinação do artifício de linearização por segmentos e da programação linear sequencial foram implementadas as linearizações apropriadas das não linearidades intrínsecas aos processos de cada componente do modelo.

O ORNAP otimiza os múltiplos usos de um sistema de reservatórios implantando ou melhorando a operação de um ou mais perímetros irrigados. Ele trabalha com variáveis relacionadas aos elementos naturais como fatores hidroclimáticos e hidroagrícolas, além de outras como demandas hídricas e características físicas dos componentes. O modelo é então abastecido com as informações necessárias para seu funcionamento através dos dados dos reservatórios, de demandas, perímetros irrigados, calhas dos rios e características das culturas.

A operação dos reservatórios e dos “nós”, ponto representativo da conexão com os elementos hidráulicos, é fundamentada na equação do balanço hídrico destes, inobstante trabalhar-se com demandas fixas e/ou variáveis. A demanda hídrica dos perímetros irrigados é estabelecida através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, todavia com área plantada limitada pelos usos que lhe sejam mais prioritários.

O modelo também leva em conta os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de pressão e vazão, as áreas a serem irrigadas para cada cultura, os custos de produção e outros aspectos econômicos, bem como as fontes de bombeamento e suas vazões de sucção.

Como o problema em estudo exige uma otimização multiobjetivo, o modelo trabalha com o Método das Ponderações, que normaliza cada função objetivo e onde são atribuídos pesos para definir as prioridades de atendimento.

## 4.2 FUNÇÕES OBJETIVO

Wurbs (1996) leciona que a função objetivo é o alicerce do modelo de otimização, pois é verdadeira medida de desempenho do sistema e sua escolha reflete na política de operação dos reservatórios devendo, portanto, ser definida com cautela.

A função objetivo permite a aferição do desempenho do modelo e está sujeita a inúmeras restrições, representadas por equações de natureza linear e não linear, que traduzem as limitações físicas dos reservatórios, perímetros irrigados e equipamentos hidráulicos, além das limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, inerentes aos sistemas de usos múltiplos.

A seguir, serão abordadas as funções objetivo utilizadas no ORNAP, bem como suas equações de restrição.

### 4.2.1 Demandas nas Tomadas D'água

As tomadas de água permitem sua captação nos reservatórios e nos "nós" do sistema para atender determinados requerimentos de consumo.

Para o estabelecimento da função objetivo destinada a minimização do déficit do atendimento das demandas nas tomadas d'água dos reservatórios e dos nós do sistema (DTDQ) foi utilizada a seguinte equação:

$$DTDQ = \sum_t \left( \frac{Dtr(t) - Qtr(t)}{Dtr(t)} \right)^2 \quad (4.1)$$

Onde:

$Dtr(t)$  – demanda requerida na tomada d'água no mês  $t$ ;

$Qtr(t)$  – vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água no mês  $t$ .

Para que a Equação 4.1 possa ser utilizada em PL, optou-se por linearizá-la através do Artificio de Linearização por Segmentos, dividindo a vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água, no mês  $t$ , em quatro segmentos iguais como mostra a Figura 4.1.

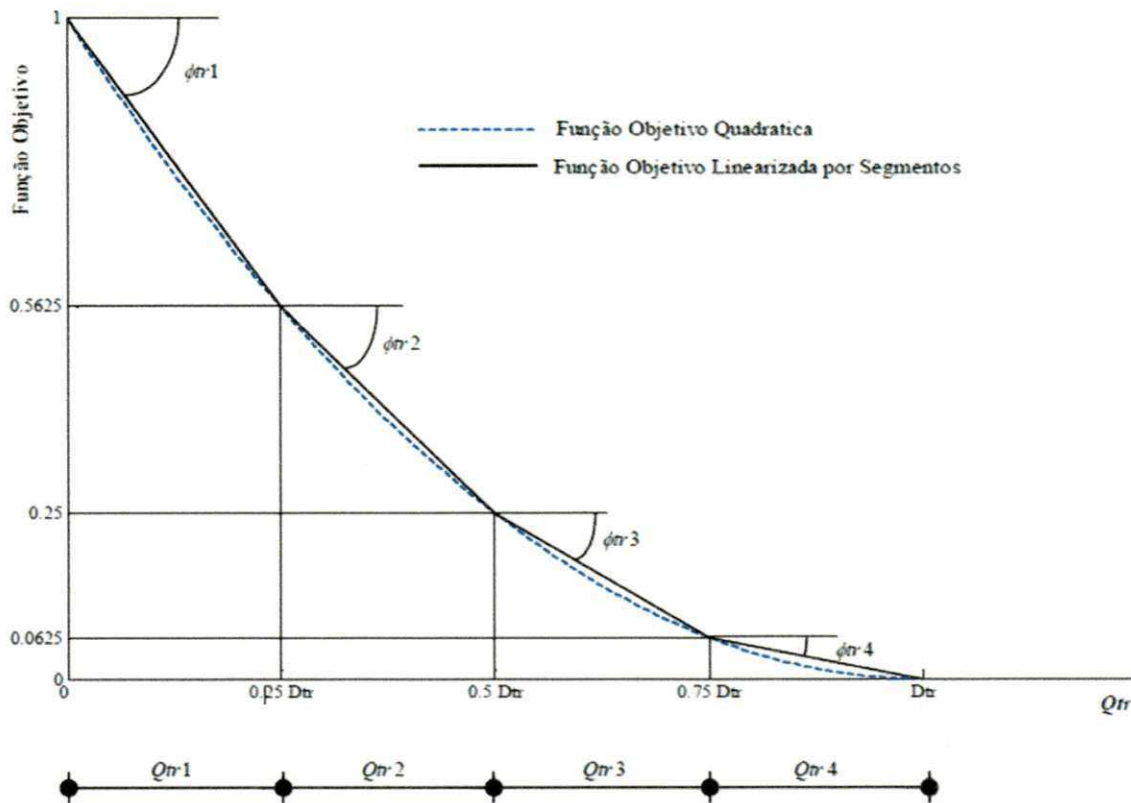


Figura 4.1 – Gráfico da função objetivo quadrática e linearizada por segmentos da demanda na tomada d'água do reservatório ou do nó no mês  $t$ .

Logo a função objetiva quadrática ( $DTDQ$ ) será representada por:

$$\left( \frac{Dtr(t) - Qtr(t)}{Dtr(t)} \right)^2 = 1 + \sum_{i=1}^4 \phi_{tr_i}(t) \cdot Qtr_i(t) \quad (4.2)$$

Onde,

$i$  – indica os segmentos de vazão destinada ao atendimento na demanda na tomada d'água no mês  $t$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

$\phi_{tr_i}(t)$  – declividade da reta do segmento de reta  $i$  da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água no mês  $t$ ;

$Qtr_i(t)$  – incremento da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água do trecho segmentado  $i$ , no mês  $t$ , limitado por:

$$0 \leq Qtr_i(t) \leq 0,25 \times Dtr(t) \quad (4.3)$$

Portanto, o valor da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água em um dado mês  $t$  será dado por:

$$Q_{tr}(t) = \sum_{i=1}^4 Q_{tr_i}(t) \quad (4.4)$$

#### 4.2.2 Vazão Efluente do Reservatório

$$VER = \left| \frac{De(t) - Qe(t)}{De(t)} \right| \quad (4.5)$$

Onde,

$De(t)$  – vazão regularizável, vazão efluente mínima ou demanda ecológica estabelecida para o mês  $t$ ;

$Qe(t)$  – vazão efluente liberada pelo reservatório no mês  $t$ .

#### 4.2.3 Volume Meta do Reservatório

O volume meta objetiva manter o volume de água do reservatório em certo nível para atender algumas demandas como controle de cheias, recreação, piscicultura ou geração de energia elétrica.

O modelo também objetiva minimizar o déficit entre o volume de água do reservatório no fim do mês  $t$  e o volume meta estabelecido neste mês (VMR):

$$VMR = \sum_t \left( \frac{VRmeta(t) - VR(t)}{VRmeta(t)} \right)^2 \quad (4.6)$$

Onde,

$VRmeta(t)$  – volume meta do reservatório no mês  $t$ ;

$VR(t)$  – volume de água no reservatório no fim do mês  $t$ .

A equação anterior foi linearizada pelo artifício da linearização por segmentos e a função objetivo quadrática VMR passou a ser representada por:

$$\left( \frac{VRmeta(t) - VR(t)}{VRmeta(t)} \right)^2 = \left( \frac{VRmeta(t) - VRm(t)}{VRmeta(t)} \right)^2 + \sum_{m=1}^{nm} \phi VR_m(t) \cdot vr_m(t) \quad (4.7)$$

Onde,

$m$  – indica o segmento de cada trecho do volume de água do reservatório no mês  $t$ ,  $m = 1, \dots, nm$  (número de segmentos do volume de água do reservatório);

$\phi VR_m(t)$  – declividade do segmento de reta  $m$  do volume de água do reservatório no mês  $t$ ;

$vr_m$  – incremento do volume de água do reservatório para o trecho segmentado  $m$ , no mês  $t$ ;

Os volumes  $VR_1, VR_2, VR_3, \dots$ , o volume mínimo,  $VR_m$ , o volume meta,  $VR_{meta}$ , e a capacidade do reservatório,  $VR_{cap}$ , são volumes de controle que devem ser definidos anteriormente. Cada segmento  $m$  do volume de água do reservatório é limitado pelos volumes de controle.

Os volumes  $VR_1, VR_2, VR_3, \dots$ , podem ser volumes físicos pré-estabelecidos como o volume que corresponde a cota de entrada do descarregador de fundo ou da cota de entrada da tomada d'água, bem como podem ser pontos da curva *cota-área-volume* de modo a se obter um bom ajuste linear da mesma.

Portanto, o volume de água do reservatório, em um dado mês  $t$ , será dado por:

$$VR(t) = VR_m(t) + \sum_{m=1}^{nm} vr_m(t) \quad (4.8)$$

#### 4.2.4 Receita Líquida da Agricultura Irrigada

Essa função objetivo do modelo maximiza a receita líquida, embora esteja sujeita às restrições de disponibilidade de água, área a ser irrigada, capacidade de bombeamento. A receita líquida ( $RL$ ) é entendida como o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida com a venda da safra agrícola e os respectivos custos de produção envolvidos, gerada pela escolha apropriada das áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura prevista nos perímetros irrigados. Para tanto, leva-se em consideração a renda bruta, obtida com a venda da produção agrícola, os custos de produção anual, o custo da água para irrigação e o custo de bombeamento da água.

Dessa forma, a receita líquida em (R\$/ano) é dada pela expressão:

$$RL = \sum_{n=1}^{na} \left[ \sum_{j=1}^{nc} Rb_j(n) - Cp_j(n) - Ca_j(n) - Cb_j(n) \right] \quad (4.9)$$

Onde,

$n$  – indica o ano,  $n=1, 2, 3, \dots, na$  (número de anos);

$j$  – indica o tipo de cultura,  $j=1, 2, 3, \dots, nc$  (número de culturas);

$Rb_j(n)$  – renda bruta anual da cultura  $j$  no ano  $n$ ;

$Cp_j(n)$  – custo de produção anual da cultura  $j$  no ano  $n$ ;

$Ca_j(n)$  – custo da água anual usada na cultura  $j$  no ano  $n$ ;

$Cb_j(n)$  – custo anual de bombeamento de água para a cultura  $j$  no ano  $n$ ;

A renda bruta anual ( $Rb_j$ ), em R\$/ano/cultura, pode ser estimada através da equação:

$$Rb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jk}(n) \cdot Prc_j(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (4.10)$$

Onde,

$k$  – indica a unidade de produção ou perímetro irrigado,  $k = 1, 2, \dots, ni$ , ( $ni$  = número de unidade de produção ou perímetro irrigado);

$Prod_{jk}(n)$  – produtividade da cultura  $j$  por unidade de área na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  no ano  $n$ ;

$Prc_j(n)$  – preço atual de comercialização da cultura  $j$  no ano  $n$ ;

$Ac_{jk}(n)$  – área plantada com a cultura  $j$  na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  no ano  $n$ .

O custo de produção anual ( $Cp_j$ ), em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, entre outros, é dado por:

$$Cp_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Cprod_{jk}(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (4.11)$$

Onde,

$Cprod_{jk}(n)$  – custo atual de produção por unidade de área da cultura  $j$  referentes aos gastos relativos ao ano  $n$ .

Para se determinar o custo da água utilizada para a irrigação e o seu bombeamento, é necessário estabelecer a quantidade de água alocada para irrigação, ou seja, a lâmina de rega.

Primeiramente, calcula-se a necessidade hídrica máxima mensal desta planta para desempenhar as suas atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal ( $ETP_{jkt}$ ) da cultura  $j$  na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  durante o mês  $t$ , que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evaporação de referência no mês  $t$  na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  ( $ET0_{kt}$ ), obtida da seguinte expressão:

$$ET0_{kt} = K_{tkt} \cdot Ev_{kt} \quad (4.12)$$

Onde,

$K_{tkt}$  – coeficiente do tanque evaporimétrico da unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  no mês  $t$ ;

$Ev_{kt}$  – taxa de evaporação mensal de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$ ;

Logo, a evapotranspiração potencial mensal ( $ETP_{jkt}$ ) é obtida por:

$$ETP_{jkt} = kc_{jt} \cdot ET0_{kt} \quad (4.13)$$

Onde,

$kc_{jt}$  – coeficiente de cultivo mensal da cultura  $j$  que reflete a sua necessidade hídrica no mês  $t$

Para se determinar a lâmina de rega é necessário calcular a taxa de precipitação que infiltra no solo e que fica efetivamente à disposição das plantas, ou seja, a precipitação efetiva no mês  $t$  na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$  ( $Pe_{kt}$ ) em mm/mês, que pode ser estimada para terrenos com declividades entre 4% e 5%, segundo especificações da FAO (1988) apud Curi e Curi (2001), pelas expressões:

$$Pe_{kt} = 0,8 \cdot P_{kt} - 25, \text{ para } P_{kt} \geq 75\text{mm} \quad (4.14)$$

$$Pe_{kt} = 0,6 \cdot P_{kt} - 10, \text{ para } P_{kt} < 75\text{mm} \quad (4.15)$$

Onde,

$P_{kt}$  – taxa de precipitação no mês  $t$  na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$ .  
(em mm/mês)



A necessidade hídrica suplementar ( $Nl_{jkt}$ ) da cultura  $j$ , na unidade de produção ou perímetro  $k$  durante o mês  $t$ , ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita, para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser estimada por:

$$Nl_{jkt} = ETP_{jkt} - P_{ekt} - G_{jkt} - W_{kt} \quad (4.16)$$

Onde,

$G_{jkt}$  – dotação de água à zona radicular da cultura  $j$  durante o mês  $t$  por capilaridade (em mm) que depende do tipo de solo e do nível do lençol freático na unidade de produção ou perímetro  $k$ ;

$W_{kt}$  – reserva de água no solo no início do mês  $t$  (em mm), que depende da capacidade de armazenamento de água no solo na unidade de produção ou perímetro  $k$ .

A quantidade de água a ser captada para cada tipo de cultura  $j$  dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação, ( $E_{irrjk}$ ), obtida pelo produto entre a eficiência do sistema de distribuição de água para cada unidade de produção ou perímetro  $k$  ( $E_{sisjk}$ ) e da eficiência da aplicação da irrigação por cultura ( $E_{apj}$ ):

$$E_{irrjk} = E_{apj} * E_{sisjk} \quad (4.17)$$

A necessidade de lixiviação dos sais dissolvidos ( $LR_{jkt}$ ) que se acumulam no solo cultivado é obtida em função da fração de água mínima que deverá percolar para lavar os sais, que, por sua vez, depende da quantidade de água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura  $j$ , no mês  $t$ , na unidade de produção ou perímetro irrigado  $k$ . Rhoades e Merrill (1976) *apud* Gomes (1999) propuseram as seguintes equações para se determinar  $LR_{jkt}$ :

– Para irrigação por inundação ou aspersão de baixa frequência:

$$LR_{jkt} = \frac{CEa_{kt}}{5 \cdot CE_j - CEa_{kt}} \quad (4.18)$$

– Para irrigação de alta frequência, como gotejamento e microaspersão:

$$LR_{jkt} = \frac{CEa_{kt}}{5 \cdot CE_j} \quad (4.19)$$

Onde:

$CEa_{kt}$  – condutividade elétrica da água de irrigação aduzida para unidade de produção ou perímetro  $k$  durante o mês  $t$  (em mohms/cm), medida a 25 °C;

$CE_j$  – condutividade elétrica do extrato de solo saturado (em mohms/cm) e que acarreta uma determinada redução no rendimento potencial da cultura  $j$ .

Conforme sugerido por Ayers e Westcot (1985) *apud* Gomes (1999), escolhe-se o valor de  $CE_j$  que acarreta uma redução 10% do rendimento potencial da cultura  $j$  para a aplicação da Equação 4.18 e de 100% para a aplicação da Equação 4.19.

Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura  $j$  da na unidade de produção ou perímetro  $k$  durante o mês  $t$  ( $Q_{irr_{jkt}}$ ), transformada em vazão por unidade de área fornecida pelo sistema, pode ser obtida por:

$$Q_{irr_{jkt}} = \frac{Nl_{jkt}}{(1 - LR_{jkt}) \cdot E_{irr_{jk}}} \quad (4.20)$$

O custo da água anual,  $Ca_j$  (em R\$/ano/cultura), captada para a unidade de produção ou perímetro  $k$  é obtido pela expressão:

$$Ca_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[ \sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} Pra_k \cdot Q_{irr_{jkt}} \cdot Ac_{jk} \right] \quad (4.21)$$

Onde,

$Pra_k$  – preço da água por unidade de volume para a unidade de produção ou perímetro  $k$ .

O custo anual de bombeamento de água,  $Cb_j$  (em R\$/ano/cultura) para as culturas irrigadas é obtido através da expressão:

$$Cb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[ \sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} \left( \frac{0,02726 \cdot Prb_k \cdot \Delta H_{jkt} \cdot Q_{irr_{jkt}} \cdot Ac_{jk}(n)}{\eta_k} \right) \right] \quad (4.22)$$

Onde,

$Prb_k$  – preço da energia (em R\$/Kwh) para a unidade de produção ou perímetro  $k$ ;

$\Delta H_{jkt}$  – altura manométrica média (em m.c.a.), requerido pelo sistema de irrigação da cultura  $j$  e aduzido para a unidade de produção ou perímetro  $k$  no mês  $t$ ;

$\eta_k$  – eficiência do sistema de bombeamento da unidade de produção ou perímetro  $k$ .

#### 4.2.5 Mão-de-obra da Agricultura Irrigada

A maximização da mão-de-obra oriunda da atividade agrícola nas unidades de produção ou nos perímetros irrigados é outra função objetivo sujeita também a restrições

agronômicas. A mão-de-obra total empregada  $MO$  (em diárias/ano) requerida nas unidades de produção ou perímetros é dada pela expressão que segue:

$$MO = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Hdc_{jk}(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (4.23)$$

Onde,

$Hdc_{jk}$  – mão-de-obra, por unidade de área, requerida pela cultura  $j$  na unidade de produção ou perímetro  $k$ ;

#### 4.2.6 Função Multiobjetivo

Conforme mencionado anteriormente, o modelo permite efetuar uma análise multiobjetivo através do Método das Ponderações e cada uma das funções objetivo tratadas nos itens supra, são normalizadas.

Por conseguinte, a função objetivo do modelo é dada pela equação:

$$\min f_0 = \omega_1 \cdot DTDQ + \omega_2 \cdot VER + \omega_3 \cdot VMR - \omega_4 \cdot RL - \omega_5 \cdot MO \quad (4.24)$$

Onde,

$\omega_i$  – coeficiente de ponderação que mede a relativa importância ou prioridade de atendimento dada a cada objetivo,  $i = 1, 2, \dots, 5$ . Quando  $\omega_i = 0$  a função objetivo  $i$  não será considerada no processo de otimização.

### 4.3 EQUAÇÕES DE RESTRIÇÕES

#### 4.3.1 Operação dos Reservatórios

Os reservatórios geralmente são conectados a outros elementos do sistema tanto à montante (um nó do sistema onde recebe vazões afluentes) como à jusante (descarregador de fundo, vertedouros e tomadas de água, através de nós), conforme se observa na figura adiante.

A vazão em cada um destes elementos depende de seus parâmetros hidráulicos e do nível de água dos reservatórios.

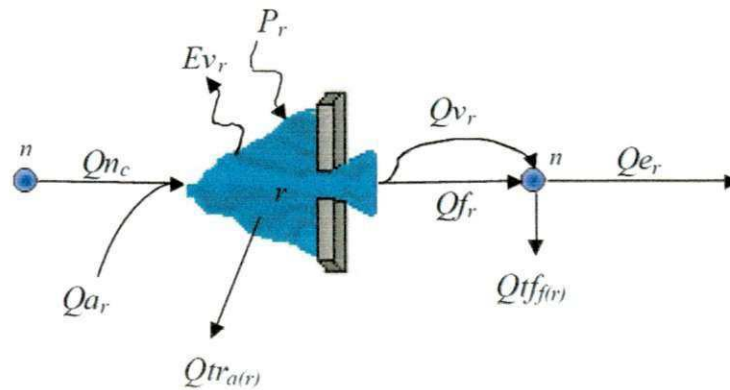


Figura 4.2 – Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo  
Fonte: Santos (2007)

O reservatório tem diversos dados e equações associadas a ele. Dentre eles, ressaltam-se os de precipitação, evaporação, volume morto, capacidade máxima, volumes operativos, etc. Também se incluem as relações entre a cota da superfície do espelho líquido, a área desta superfície e o volume. Por outro lado, a cada mês  $t$ , deve ser realizado o balanço hídrico do reservatório, baseado no princípio de conservação da massa, para determinar a variação mensal do volume armazenado do reservatório, conforme a equação:

$$VR_t(t) = VR_t(t - 1) + Qa_t(t) + \sum_{\alpha(r)} Qtra_{\alpha}(t) - Qfr(t) - Qvr(t) + Pr(t) - Evr(t) + Qnc(t) \quad (4.25)$$

Onde,

$r$  – índice que representa o  $r$ -ésimo reservatório do sistema;

$n$  – índice que representa o  $n$ -ésimo nó do sistema;

$VR_r(t)$  – volume do reservatório  $r$  no final do mês  $t$ ;

$VR_r(t - 1)$  – volume do reservatório  $r$  no início do mês  $t$ ;

$Qa_r(t)$  – vazão afluyente ao reservatório  $r$  durante o mês  $t$ ;

$a(r)$  – índice que representa a  $a$ -ésima tomada d'água do reservatório  $r$ ;

$f(r)$  – índice que representa a  $f$ -ésima tomada d'água de fundo do reservatório  $r$ ;

$Qtra(r)(t)$  –  $a$ -ésima vazão de tomada d'água do reservatório  $r$  no mês  $t$ ;

$Qtff(r)(t)$  –  $f$ -ésima vazão de tomada d'água de fundo do reservatório  $r$  no mês  $t$ ;

$Qfr(t)$  – vazão de descarga de fundo do reservatório  $r$  durante o mês  $t$ ;

$Qvr(t)$  – volume vertido do reservatório  $r$  durante o mês  $t$ ;

$Pr(t)$  – volume precipitado no reservatório  $r$  durante o mês  $t$ ;

$Evr(t)$  – volume evaporado no reservatório  $r$  durante o mês  $t$ ;

$Qnc(t)$  – vazão de entrada no reservatório  $r$  oriundo de contribuições da  $c$ -ésima calha (trecho) do rio a montante do reservatório  $r$  no mês  $t$ .

A linearização representada na Equação 4.28 só poderá ser aplicada de forma eficaz se inicialmente os trechos segmentados do volume de água do reservatório forem “percorridos” pelos primeiros trechos, para então ser percorrida pelos próximos trechos. Ou seja, o segmento do volume de água  $vr_2$  só deverá ser percorrido quando  $vr_1$  atingir o seu valor máximo. Da mesma forma que o segmento  $vr_3$  só deverá ser percorrido quando o  $vr_2$  atingir o seu valor máximo e assim sucessivamente. Sua garantia se deve à linearização da Equação 4.6 através do Artificio de Linearização por Segmentos, cuja minimização de uma função convexa garante que os primeiros trechos segmentados serão aqueles inicialmente preenchidos.

As atualizações mensais das cotas, áreas e volumes também servem para que se estabeleçam limites para as tomadas d’água, descarregadores de fundo e extravasores. A vazão a ser captada através das tomadas d’água está limitada a sua capacidade máxima e a cota da tomada d’água, de acordo com a expressão:

$$0 \leq Qtr_{\alpha(r)}(t) \leq Qtrmax_{\alpha(r)}(t) \quad (4.29)$$

$$Qtr_{\alpha(r)}(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq Htr_{\alpha(r)} \quad (4.30)$$

Onde,

$Qtrmax_{\alpha(r)}$  – vazão máxima de captação pela  $\alpha$ -ézima tomada d’água do reservatório  $r$ ;

$HR_r(t)$  – representa a cota do nível d’água do reservatório  $r$  no mês  $t$ ;

$Htr_{\alpha(r)}$  – representa a cota da  $\alpha$ -ézima tomada d’água no reservatório  $r$ .

As vazões extravasadas pelos vertedouros somente serão verificadas se, e somente se, as condições adiante forem satisfeitas:

$$0 \leq Qv_r(t) \leq Qvmax_r \quad (4.31)$$

$$Qv_r(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq Hvert_r \quad (4.32)$$

A vazão liberada pelo descarregador de fundo ( $Qfr$ ) do reservatório  $r$  está limitada por uma vazão de descarga de fundo máxima ( $Qfmax_r$ ) em cada mês  $t$ , sendo esta estimada pela equação abaixo, referida em DAEE (2005) *apud* Santos (2007):

$$Qfmax_r(t) = Cf_r(t) \cdot Af_r \cdot \sqrt{2g(HR_r(t) - Hfs_r)} \quad (4.33)$$

Onde,

$Cf_r$  – coeficiente de vazão de descarga de fundo do reservatório  $r$ ;

$Af_r$  – área da seção transversal do tubo de descarga de fundo do reservatório  $r$ ;

$Hfs_r$  – cota de jusante da geratriz inferior do tubo de descarga de fundo do reservatório  $r$ .

A curva da vazão de descarga de fundo máxima em função do volume do reservatório é linearizada através de segmentos de reta, na qual a cota de montante da geratriz inferior do tubo do descarregador de fundo do reservatório ( $Hfe_r$ ) está abaixo da cota correspondente ao volume mínimo do reservatório. Os volumes de controle devem ser os mesmos que foram utilizados para a linearização da Equação 4.6.

A vazão de descarga de fundo máxima do reservatório  $r$  será dada pela expressão:

$$Qfmax_r(t) = Qfmmax_r(t) + \sum_{m=1}^{nm} \gamma_m \cdot vr_m(t) \quad (4.34)$$

Onde,

$Qfmmax_r$  – vazão da descarga de fundo máxima do reservatório  $r$  correspondente ao volume mínimo do mesmo.

$\gamma_{m,r}$  – coeficiente angular de cada segmento de reta da curva da descarga de fundo máxima versus o volume do reservatório.

A linearização apresentada na Equação 4.34 só funcionará se, inicialmente, os trechos segmentados do volume de água do reservatório forem “percorridos” pelos primeiros trechos, para então ser percorrida pelos trechos seguintes. A garantia deste comportamento se deve a linearização da Equação 4.6 através do Artificio de Linearização por Segmentos, onde a minimização de uma função convexa garante que os primeiros trechos segmentados serão os inicialmente preenchidos, da mesma forma como aconteceu no caso da Equação 4.28, já analisada.

Caso a cota de montante da geratriz inferior do tubo do descarregador de fundo esteja acima da cota correspondente ao volume mínimo do reservatório, teremos um novo volume de controle, ( $VR_{j_s}$ , por exemplo). A nova curva da vazão de descarga de fundo máxima em função do volume do reservatório está representada na equação 4.35:

$$Qfmax_r(t) = \sum_{m=1}^{nm} \gamma_m \cdot vr_m(t) \quad (4.35)$$

Tem-se que o valor de  $Qfmmax_r$  e de  $\gamma_m$  é zero para qualquer trecho segmentado  $m$  do volume de água do reservatório  $r$  na qual tenha o volume de controle superior igual ou menor

do que o volume correspondente cota de montante da geratriz inferior do tubo do descarregador de fundo.

Na operação do reservatório, temos sempre um volume final  $VR(t)$  e inicial  $VR(t - 1)$  e conseqüentemente, uma cota final e inicial, resultando em duas vazões descarregadas máximas, uma no início do mês e outro no final do mês. Portanto para minimizar esse problema decidiu-se trabalhar com a média das duas vazões calculadas.

Outras restrições impostas aos reservatórios são:

a) de ordem operacional:

$$VRm_r(t) \leq VR_r(t) \leq VRcap_r(t) \quad (4.36)$$

b) de ordem física:

$$VR_r(t) \geq VRmorto_r \quad (4.37)$$

Onde,

$VRmorto_r$  – volume morto do reservatório  $r$

Curi e Curi (2001) salientam que para garantir a sustentabilidade hídrica do sistema é necessário que o volume final do reservatório seja igual ou maior que seu volume inicial. Para incorporar essa restrição ao problema, pode-se estabelecer que o volume mínimo do último mês seja igual ou superior ao volume inicial do reservatório.

#### 4.3.2 Critérios Operacionais e Agronômicos

Outros aspectos relacionados com a agricultura irrigada são as restrições físicas e operacionais do sistema. Entre as restrições físicas pode-se destacar a área a ser irrigada em cada unidade de produção ou perímetro, a vazão a ser captada para a unidade de produção ou perímetro e a não negatividade das variáveis. Com relação às restrições de ordem operacional destacam-se os critérios agronômicos e de mercado.

As limitações impostas pela capacidade do canal ou do sistema adutor, por onde a água será transportada até as respectivas unidades de produção ou perímetro irrigado, são representadas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} Q_{irr_{jkt}} \cdot Ac_{jk} \leq Qtmax_k \quad (4.38)$$

Onde,

$Qtmax_k$  – é a capacidade mensal da vazão do sistema de captação para a unidade de produção ou perímetro  $k$ .

Para se estabelecer os limites superiores da capacidade de vazão para cada sistema adutor, calcula-se a vazão máxima com os dados dos conjuntos locais de sistema motobomba, como é mostrado a seguir:

$$Qtmax_k = 3,6 \cdot nh_k \cdot nb_k \cdot Vbcap_k \quad (4.39)$$

Onde,

$nh_k$  – número de horas médias mensais de trabalho do sistema de captação de água para a unidade de produção ou perímetro  $k$ ;

$nb_k$  – número de moto-bomba do sistema adutor para a unidade de produção ou perímetro  $k$ , com iguais capacidades de elevação de altura manométrica e vazão;

$Vbcap_k$  – vazão média mensal aduzida de cada bomba do sistema adutor para a unidade de produção ou perímetro  $k$ .

As restrições quanto ao limite máximo mensal de área que poderá ser plantada por unidade de produção ou perímetro em cada mês, estão contidas na equação adiante:

$$\sum_{j=1}^{nc} \xi_{jkt} \cdot Ac_{jk} (n) \leq Apmaskt \quad (4.40)$$

Onde,

$Apmaskt$  – limite máximo da área total que poderá ser plantada na unidade de produção ou perímetro  $k$  no mês  $t$ . Sendo:

$\xi_{jkt} = 1$ , se a cultura  $j$  for plantada no mês  $t$  na unidade de produção ou perímetro  $k$ ;

$\xi_{jkt} = 0$ , se a cultura  $j$  não for plantada no mês  $t$  na unidade de produção ou perímetro  $k$ .

Quanto aos critérios agronômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos das áreas a serem plantadas para cada tipo de cultura por unidade de produção ou perímetro irrigado, de acordo com:



$$A_{min_{jk}}(n) \leq A_{c_{jk}}(n) \leq A_{max_{jk}} \quad (4.41)$$

Onde,

$A_{min_{jk}}$  – área mínima a ser plantada com a cultura  $j$  por unidade de produção ou perímetro  $k$  no ano  $n$ ,

$A_{max_{jk}}$  – área máxima a ser plantada com a cultura  $j$  por unidade de produção ou perímetro  $k$  no ano  $n$ .

#### 4.4 PROCESSO ITERATIVO DE OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA

O Artificio de Linearização por Segmentos garante para a minimização de uma função convexa (caso da Equação 4.6) que os trechos segmentados da variável de decisão serão “percorridos” inicialmente pelos primeiros trechos, para então ser percorrida pelos próximos trechos.

Observa-se, entretanto, que em certos casos isso não ocorre, ou seja, na modelagem proposta pode haver combinações dos valores dos trechos segmentados do volume de água do reservatório em um mês  $t$  que resultem em um volume de água armazenado no reservatório (volume este incorreto) de forma as demandas ou restrições impostas possam ser atendidas.

Assim, por exemplo, quando o sistema estiver em um período crítico (como um ano seco ou no atendimento a uma demanda muito alta), para garantir-se o atendimento das demandas com prioridade maior do que o volume meta do reservatório  $r$ , o volume evaporado pode ser diminuído preenchendo os últimos trechos segmentados do volume de água do reservatório da curva *área-volume* convexa, pois as declividades dos últimos trechos segmentados são menores do que os primeiros trechos, resultando em um menor valor da área do espelho d’água do reservatório e, conseqüentemente, do volume evaporado, garantindo assim o suprimento das demandas (Santos, 2007).

Para contornar tal problema é utilizado um procedimento iterativo da PL, denominado Programação Linear Sequencial (ou Sucessiva) onde em cada iteração os trechos segmentados do volume do reservatório são ajustados de modo a resultarem em um volume de água armazenado de forma correta.

A Figura 4.3 apresenta um exemplo de uma função objetivo linearizada para o volume meta do reservatório em um mês  $t$ .

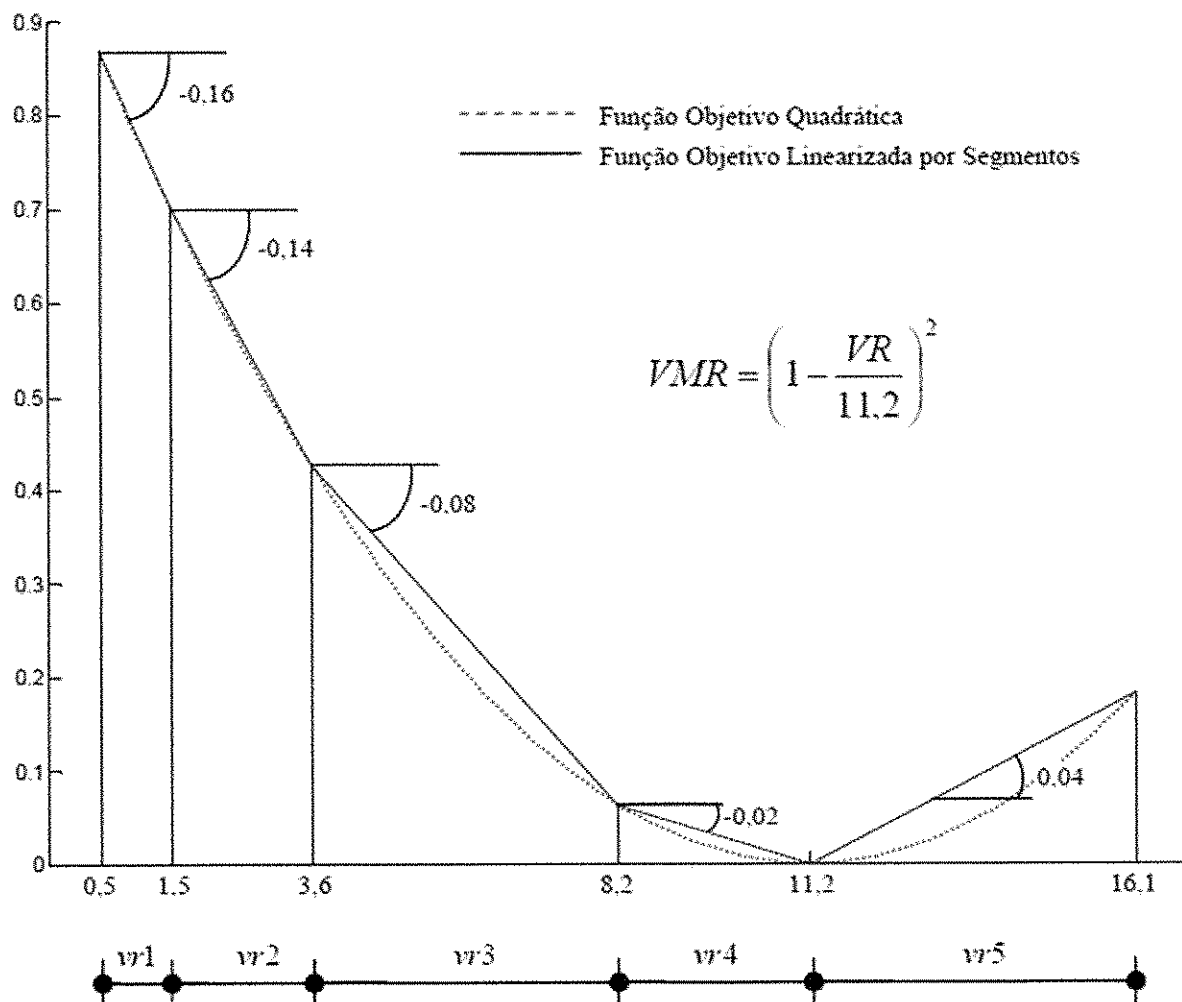


Figura 4.3 – Gráfico da função objetivo linearizada para o volume meta do reservatório.  
Fonte: Santos (2007)

O volume de água do reservatório (VR) será dado pela expressão:

$$VR = 0,5 + vr_1 + vr_2 + vr_3 + vr_4 + vr_5 \quad (4.42)$$

Com,

$$0 \leq vr_1 \leq 1,0 \quad (4.43)$$

$$0 \leq vr_2 \leq 2,1 \quad (4.44)$$

$$0 \leq vr_3 \leq 4,6 \quad (4.45)$$

$$0 \leq vr_4 \leq 3,0 \quad (4.46)$$

$$0 \leq vr_5 \leq 4,9 \quad (4.47)$$

A função objetivo linearizada será dada por:

$$VMR' = 0,91 - 0,16 \cdot vr_1 - 0,14 \cdot vr_2 - 0,08 \cdot vr_3 - 0,02 \cdot vr_4 + 0,04 \cdot vr_5 \quad (4.48)$$

Supondo que, ao resolver o problema de otimização pela primeira vez (primeira rodada da PL,  $l = 1$ ) com todas as restrições impostas, o volume de água do reservatório  $VR$  seja igual a 7,0. Porém, percebeu-se que os valores dos trechos segmentados foram:  $vr_1 = 0$ ;  $vr_2 = 0$ ;  $vr_3 = 0$ ;  $vr_4 = 1,6$ ;  $vr_5 = 4,9$ , enquanto os valores corretos deveriam ser:  $vr_1 = 1,0$ ;  $vr_2 = 2,1$ ;  $vr_3 = 3,4$ ;  $vr_4 = 0$ ;  $vr_5 = 0$ .

Note-se que os valores incorretos dos trechos segmentados resultam, entre outras coisas, em um valor da função objetivo muito discrepante ( $VMR = 0,14$  para a função objetivo quadrática original;  $VMR' = 0,13$  para a função objetivo quadrática linearizada com os valores corretos dos trechos segmentados; e  $VMR'' = 1,07$  para a função objetivo quadrática linearizada com os valores incorretos dos trechos segmentados).

De maneira análoga, têm-se valores incorretos da área do espelho de água do reservatório e da vazão de descarga de fundo máxima, pois ambas as curvas são linearizadas com os mesmos trechos segmentados utilizados na linearização da função objetivo do volume meta do reservatório.

O ajuste proposto para resolver esta incoerência consiste em impor restrições, inicialmente com menos rigor, nos valores dos trechos segmentados para que, na próxima rodada, o valor do volume de água do reservatório seja próximo ao que foi obtido na rodada anterior (é muito provável que o ótimo esteja próximo desse valor), porém de forma correta. Para o exemplo proposto, inicialmente será estabelecido que:  $vr_1 = 1,0$  (seu valor máximo) e  $vr_5 = 0$ . Os trechos segmentados  $vr_2$ ,  $vr_3$  e  $vr_4$ , continuam com suas restrições iniciais.

Rodando novamente a PL ( $l = 2$ ) pode-se obter os seguintes valores:  $vr_1 = 1,0$ ;  $vr_2 = 0$ ;  $vr_3 = 2,1$ ;  $vr_4 = 3,0$ ;  $vr_5 = 0$ ; resultando num volume de água do reservatório, ainda incorreto, de  $VR = 6,6$ . A Figura 4.4 mostra os valores do volume de água do reservatório entre a primeira e a segunda iteração e a restrição imposta aos trechos segmentados para a 2ª rodada da PL.

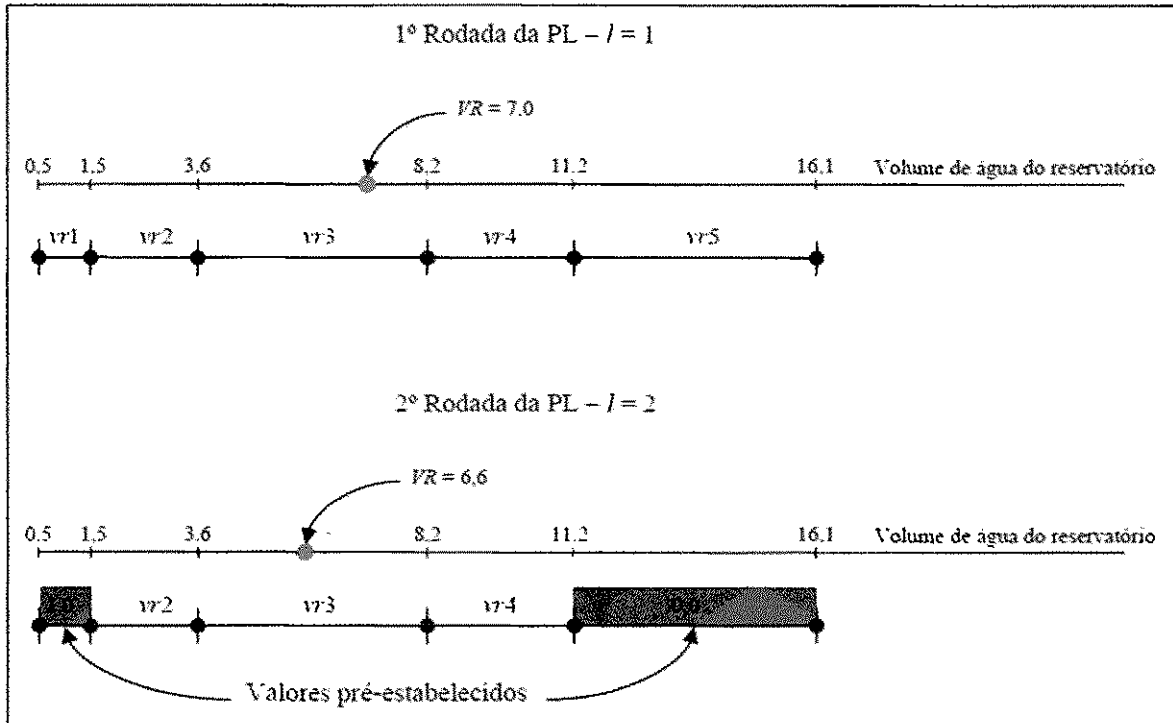


Figura 4.4 – Valor do volume de água do reservatório entre a primeira e a segunda iteração e representação da restrição imposta aos trechos segmentados para a 2ª rodada da PL.

Fonte: Santos (2007)

Nota-se que tanto na primeira como na segunda iteração, o valor do volume de água do reservatório permaneceu entre os valores de 3,6 e 8,2. Espera-se que o valor ótimo do volume de água do reservatório esteja entre esses valores. Assim na próxima rodada da PL ( $l=3$ ) será estabelecido que:  $vr_1 = 1,0$ ;  $vr_2 = 2,1$  (seus valores máximos) e  $vr_4 = vr_5 = 0$  como representado na Figura 4.5. O trecho segmentado  $vr_3$  continuará com sua restrição inicial.

Veja na Figura 4.5 que qualquer que seja o valor estabelecido para o trecho segmentado  $vr_3$  o valor do volume de água do reservatório  $VR$ , da função objetivo  $VMR'$ , da área do espelho de água do reservatório e da vazão de descarga de fundo máxima serão determinados de forma correta, ou seja, qualquer valor que seja estabelecido no trecho segmentado  $vr_3$ , os seus trechos anteriores ( $vr_1$  e  $vr_2$ ) estão com seus valores máximos.

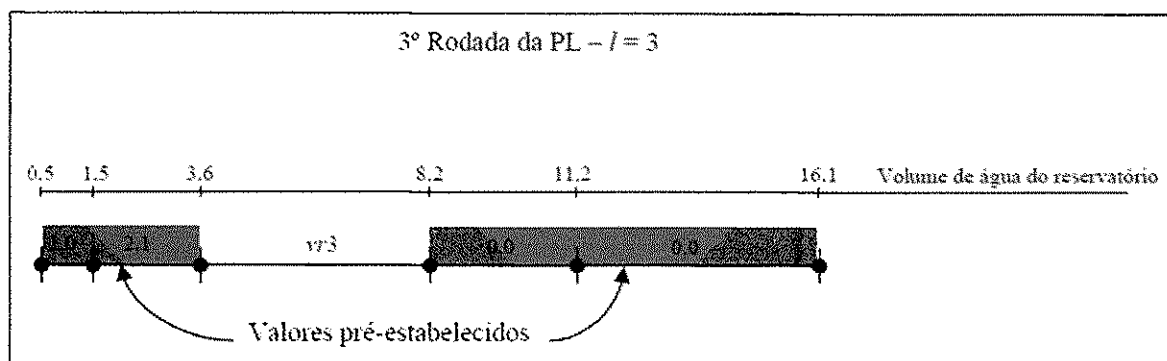


Figura 4.5 – Representação da restrição imposta aos trechos segmentados para a 3ª rodada da PL  
 Fonte: Santos (2007)

Tem-se que logo na primeira rodada os valores de cada trecho segmentado podem estar corretos, indicando assim a solução ótima do problema. Porém quando isso não ocorre, para uma boa aceitação dos resultados, além da verificação dos valores dos trechos segmentados, é analisando os valores calculados para a função objetivo  $f_o$ , sendo avaliado através do erro relativo ( $erro_{f_o}$ ), dado por:

$$erro_{f_o} = \left| \frac{f_{o_l} - f_{o_{l-1}}}{f_{o_l}} \right| \leq tol \quad (4.49)$$

Onde,

$l$  – indica o numero de vezes que está sendo aplicado o processo de otimização em PL ( $l \geq 2$ );

$f_{o_l}$  – valor da função objetivo para a  $l$ -ésima otimização.

O erro relativo ( $erro_{f_o}$ ) deve respeitar a tolerância ( $tol$ ) especificada para o sistema a ser otimizado. No modelo utilizado aqui, foi estabelecida uma tolerância na ordem de  $10^{-8}$ .

É importante ressaltar que as saídas do modelo, que possibilitam extensivas análises de desempenho do sistema hídrico em estudo, são os valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria por reservatório, vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio, vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocada por cultura e por perímetro, receita líquida anual auferida por cultura em cada perímetro (Santos, 2007).

O fluxograma geral do modelo será apresentado na figura a seguir:

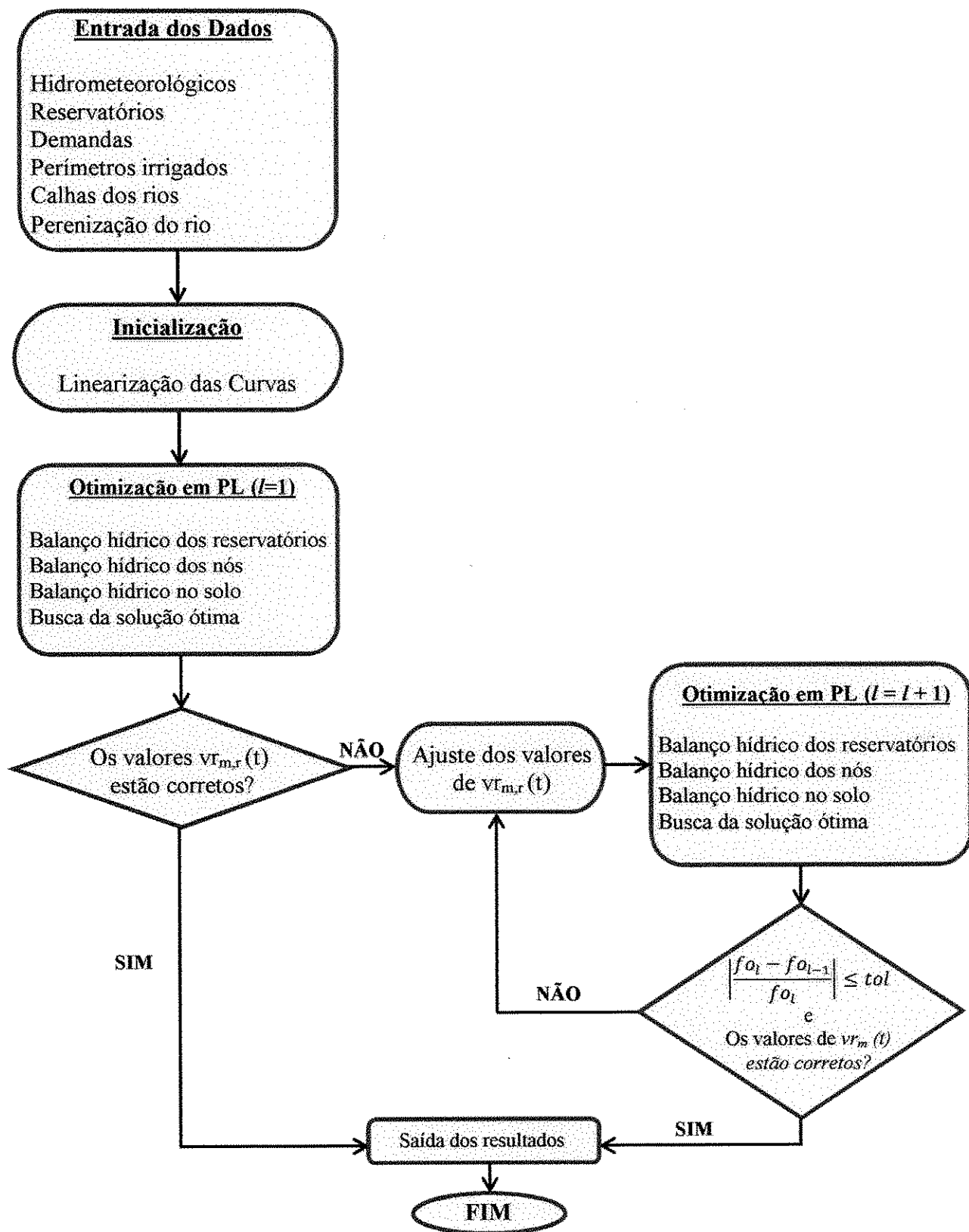


Figura 4.6 – Fluxograma do modelo de otimização  
Fonte: Santos (2007)

## CAPÍTULO V

### DADOS DE ENTRADA NO MODELO, METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

#### 5.1 DADOS DE ENTRADA NO MODELO ORNAP

##### 5.1.1 Precipitação

Os dados de precipitação na região do sistema de açudes aqui trabalhados foram estimados pelo método do Polígono de Thiessen combinado com o método da Interpolação Ponderada pelo Inverso do Quadrado da Distância.

No método dos Polígonos de Thiessen, ou método do vizinho mais próximo, é definida a área de influência de cada posto e é calculada uma média ponderada da precipitação com base nestas áreas de influência.

O primeiro passo, ao utilizar o método de Thiessen, é traçar linhas retas que unem os postos pluviométricos adjacentes, isto é, mais próximos entre si. Em seguida, traçam-se as medianizes dessas retas (linhas médias perpendiculares). A interceptação das linhas médias entre si – e com os limites da bacia – define a área de influência de cada um dos postos. Assim, a chuva média é uma média ponderada utilizando as áreas de influência como ponderador (COLLISCHONN e TASSI, 2011).

Esse método de interpolação foi escolhido apenas para auxiliar na escolha dos postos que permitiriam englobar todos os pequenos açudes aqui estudados. Isto porque é utilizado para o cálculo da precipitação média da bacia hidrográfica e não nos fornece a precipitação para um ponto específico da bacia.

Após a escolha dos postos pluviométricos a serem adotados, empregou-se o método da Interpolação Ponderada pelo Inverso do Quadrado da Distância. Este método considera que a chuva em um local pode ser calculada como uma média ponderada das chuvas registradas em pluviômetros da região. Tal ponderação é feita de forma que os postos pluviométricos mais próximos sejam considerados com um peso maior no cálculo da média.

A figura a seguir (figura 5.1), retirada de Collischonn e Tassi (2011) auxilia no entendimento do método:

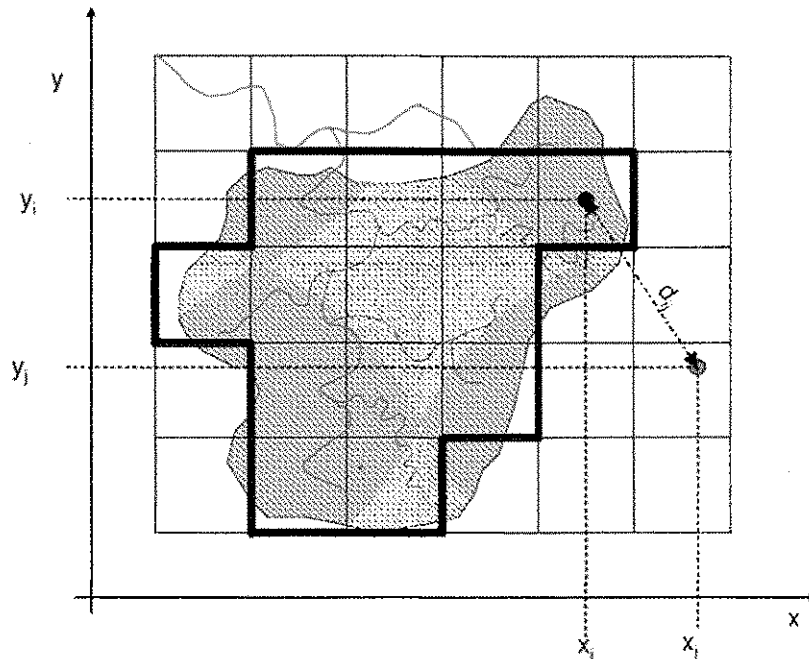


Figura 5.1 – Ilustração do método de interpolação ponderada pelo inverso da distância  
Fonte: Collischonn e Tassi (2011)

O ponto cinza representa o posto pluviométrico e o ponto preto, o centro de uma célula qualquer. A distância entre eles é calculada a partir de suas coordenadas na forma que segue:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5.1)$$

Onde,

$d_{ij}$  – distância entre o centro da célula e o posto pluviométrico;

$x_i$  e  $y_i$  – coordenadas do centro da célula;

$x_j$  e  $y_j$  – coordenadas do pluviômetro.

Se houver mais de um posto pluviométrico, a precipitação média numa célula qualquer  $i$  pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Pm_i = \frac{\sum_{j=1}^{NP} \frac{P_j}{(d_{ij})^b}}{\sum_{j=1}^{NP} \frac{1}{(d_{ij})^b}} \quad (5.2)$$

Onde,

$NP$  – número de postos pluviométricos;

$P_j$  – chuva observada no posto  $j$ ;



$b$  – expoente = 2, pois o método é ponderado pelo inverso do quadrado da distância.

Este método pode ser aplicado para todas as  $NC$  células que representam uma bacia, obtendo-se o valor da chuva média para cada uma delas. Logo, a chuva média da bacia é calculada como a média de todas as células que compõem a bacia, segundo a equação:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{NC} P_{m_i}}{NC} \quad (5.3)$$

Onde  $P_m$  é a chuva média na bacia e  $NC$  é o número de células que compõem a bacia.

Os postos utilizados neste trabalho são apresentados na Tabela 5.1, adiante:

Tabela 5.1 – Postos pluviométricos utilizados no estudo

POSTO	LATITUDE	LONGITUDE
Amparo	-7,5697	-37.0639
Monteiro	-7,8850	-37.1269
Ouro Velho	-7,6206	-37.1508
Prata	-7.6950	-37.0842
Sumé	-7.6736	-36.8964
Sumé/FB	-7.5069	-36.9631

Fonte: AESA

O método da Interpolação Ponderada pelo Inverso do Quadrado da Distância foi aplicado com auxílio do *Software* ARCGIS 9.2, para cada ano da série histórica, que vai do ano 2000 ao ano 2008. O *software* então forneceu as precipitações mensais de cada açude para os 108 meses da série.

A tabela 5.2 apresenta os dados de precipitação direta média mensal nos reservatórios estudados para os 09 anos.

Tabela 5.2 – Precipitação média mensal para a área estudada

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Prec. Média (mm)</b>	57,68	35,76	53,13	47,11	70,39	49,85	52,32	38,24	71,50

### 5.1.2 Evaporação

A região em estudo não dispõe de dados de evaporação para os açudes aqui trabalhados. Portanto, para estimar esses dados, foi novamente aplicada a metodologia dos Polígonos de Thiessen, com assistência do *software* ARCGIS 9.2 para verificar em que área de influência os pequenos açudes estavam localizados para, em seguida, adotar os valores de evaporação de acordo com a influência dos postos utilizados.

Após o traçado dos Polígonos, verificou-se que os 20 açudes só sofriam influência dos postos de Monteiro e Sumé. Como não havia uma estação meteorológica em Sumé, os valores da evaporação média mensal para os pequenos açudes foram todos obtidos através da estação de Monteiro. Tal estimativa, entretanto, não apresenta maiores problemas para a obtenção dos resultados deste estudo, haja vista que seus valores são praticamente idênticos à média da região do Cariri, onde se situam todos os reservatórios aqui examinados.

Tabela 5.3 – Evaporação média mensal em mm para a estação meteorológica de Monteiro

Mês	Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evap	232,8	117,7	156,4	116,4	114,6	127,0	156,4	205,7	238,9	263	266,1	272,5

### 5.1.3 Vazões Afluentes Mensais

As vazões afluentes foram calculadas através do modelo SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), desenvolvido por Lopes et al. (1981), que é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão.

O modelo utiliza séries diárias ou mensais de precipitação e evapotranspiração potencial para gerar séries de vazão. A versão mensal simula dois reservatórios hipotéticos e possui 4 parâmetros: *Sat*, que é o volume máximo armazenado no reservatório do solo (mm); *Pes*, regula o escoamento superficial; *Crec*, que é um parâmetro que regula a recarga subterrânea e; *kkt*, que é um coeficiente de recessão do escoamento de base.

Nesta pesquisa, foi aplicada a versão mensal do SMAP, utilizando-se o critério da divisão da bacia em sub-bacias pela rede de drenagem para determinar as vazões afluentes. Foi elaborada uma planilha para calibrar os parâmetros para os quatro açudes de maior porte que integram a Bacia do Açude de Sumé, por serem estes açudes os únicos que dispõem de dados hidrometeorológicos.

Após a calibração do modelo, foram obtidos os valores de vazão afluente para os pequenos açudes no período correspondente à série histórica, já mencionada.

#### 5.1.4 Demanda Humana e Animal

As demandas para o consumo humano e animal dos pequenos açudes foram estimadas a partir do cálculo da densidade da população rural e do consumo médio diário por cada indivíduo. Os dados de população animal e humana foram retirados do censo de produção pecuária 2009 e do censo demográfico 2010, respectivamente, ambos realizados pelo IBGE.

A densidade populacional rural foi calculada para cada pequeno açude considerando que: para açudes com capacidade volumétrica variando entre 100.000m<sup>3</sup> e 300.000m<sup>3</sup>, a área de influência destes açudes seria para um raio de 3km; para açudes com capacidade entre 300.000m<sup>3</sup> e 500.000m<sup>3</sup>, a área de influência seria de 6km e; para açudes com capacidade entre 500.000m<sup>3</sup> e 1.000.000m<sup>3</sup>, a área de influência seria para um raio de 10km. Essa estimativa levou em consideração um percurso razoável de locomoção para transporte de água em latas ou vasilhames.

Quanto ao consumo *per capita*, Gleick (1996) *apud* Matos (2007) indica que 50L/pessoa/dia são suficientes para suprir as necessidades básicas de ingestão, higiene, serviços sanitários e preparo dos alimentos e recomenda que esse acesso seja garantido independente do status político, social ou econômico do indivíduo. A Agenda 21 propõe um fornecimento de 40 litros de água tratada por dia, por pessoa para ambientes urbanos (CNUMAD, 1992 *apud* MATOS, 2007).

A Fundação Nacional de Saúde acha suficiente 100 l/hab/dia para vilas pequenas comunidades. Em caso de abastecimento de pequenas comunidades, com carência de água e de recursos é admissível até 60l/hab/dia (FEITOSA e FILHO, ?).

Nesta pesquisa, adotou-se o valor de 50l/habitante/dia.

Adiante, seguem os dados do censo demográfico 2010 e de produção pecuária 2009 do IBGE:

Tabela 5.4 – População humana e animal na área de estudo

	Município			
	Monteiro	Ouro Velho	Prata	Sumé
<b>Pop. Rural (hab)</b>	10591	881	1410	3824
<b>Bovinos (cabeças)</b>	20740	3644	3334	8940
<b>Caprinos (cabeças)</b>	30240	2078	7536	19200
<b>Ovinos (cabeças)</b>	12020	1200	6155	7700

Fonte de dados: IBGE: disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 08.11.11

As demandas para dessedentação animal, determinadas pela lei 9.433/1997 como de uso prioritário, foram estabelecidas para rebanhos de criação extensiva ou familiar, ou seja, criações de baixa produtividade, com baixo requerimento de água, sem utilização de agricultura especializada. Conforme Curi e Curi (2004) a quantidade de água para dessedentação dos animais considerados na Tabela 5.4 é de 50l/cabeça/dia para vacas leiteiras e bovinos e entre 5 e 10l/cabeça/dia para caprinos e ovinos (considerou-se 8l/cabeça/dia).

#### 5.1.5 Dados dos Reservatórios

Os dados dos reservatórios foram levantados pela equipe do projeto DISPAB-UFPB/AESA, em 2008, através da coleta em campo do perímetro atual do açude e da estimativa deste perímetro em épocas de cheias, a profundidade mais atual (2009) foi medida (geralmente próxima à parede do açude) junto com a profundidade máxima que o açude alcança em épocas de cheias, observando-se marcas deixadas pela água na parede da barragem ou ao redor do açude. Para estes levantamentos foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- GPS;
- Barco;
- Planilha (em anexo);
- Coletes salva-vidas;
- Trena para medir a profundidade;
- Bóia.
- Câmeras fotográficas e de gravação.

Silva (2010) relata que o perímetro do açude foi obtido percorrendo com o barco, e em alguns açudes a pé, com o GPS a margem do açude. Quando não era possível alcançar a

margem (maioria dos casos) era estimada a distância entre o GPS e a margem anotando na planilha, assim como também era estimada a distância entre a margem no dia do levantamento e a margem máxima em períodos de cheias verificando as marcas deixadas pelas águas na terra e nas rochas presentes no local.

Para o trabalho em campo na bacia do açude de Sumé foram escolhidos 38 açudes dos 624 previamente identificados através da imagem do satélite LANDSAT 5, gerada em 02/05/2008. Entretanto, alguns destes açudes não foram encontrados em campo, não obstante o uso do aparelho de GPS, e optou-se por investigar outros açudes, totalizando, ao final, 42 deles, dos quais se utilizaram 20 neste trabalho, por motivos já referidos.

A capacidade atual (dados de 2009) e a capacidade máxima dos açudes já foram apresentadas no item 3.3.

#### **5.1.6 Dados de Piscicultura**

Os dados sobre *piscicultura extensiva* foram obtidos de Barbosa (2008). Segundo a autora, entre as vantagens da piscicultura extensiva estão: a possibilidade de ser praticada em áreas impróprias para agricultura; por seu caráter pouco consuntivo não interfere em demasiado nos outros usos; não necessita de fontes de energia artificiais; pode ser praticada mesmo em reservatórios salinizados; funciona ainda que em períodos de estiagem e; é aproveitada em regiões com escassez crônica de alimentos e em locais de agricultura frágil, como é o caso do semiárido nordestino.

A região semiárida da Paraíba apresenta ótimas condições de luz e de temperatura para a prática da piscicultura. Além dessas condições, também depara-se com bons valores de alguns elementos químicos imprescindíveis para o desenvolvimento dos peixes, baixa turbidez e bons teores de sais presentes na água.

A piscicultura extensiva é um dos usos múltiplos considerados neste texto e caracteriza-se pela promoção de uma modificação mínima do ambiente natural. Nessa modalidade, o fundo do viveiro é irregular e, corriqueiramente, não existe controle sobre as espécies cultivadas, número de animais, disponibilidade de alimento natural ou adubação, fluxo de água, entre outros. O que se observa nos açudes públicos é apenas o povoamento com espécies de peixes muitas vezes de raças não amigáveis, ou seja, onde uma é predadora da outra ou retira uma quantidade de alimentos do ambiente tal que inviabiliza a manutenção das demais espécies.

Esse tipo de piscicultura aparece em três dos cenários, que serão posteriormente apresentados, e cujos dados para o trabalho de otimização são os seguintes, retirados de Barbosa (2008):

- Custo de alevinagem (Cal) = R\$ 100,00/ha/ano;
- Produtividade média de pescado (Pmp) = 500 kg/ha/ano;
- Preço médio de venda do pescado = R\$ 5,00/kg;
- Despesa média anual por pescador = 1.500 kg/pescador/ano.

Quanto à *piscicultura intensiva*, propôs-se trabalhar com tanques-padrão de 0,3 hectares (3000m<sup>2</sup>), com profundidade mínima de 1m e máxima de 1,5m, totalizando um volume de 3750m<sup>3</sup>. Para Ono *et al* (2005), os tanques devem possuir área entre 1 e 10 ha, com profundidades não muito elevadas para permitir a oxigenação da água, sem necessidade de aeradores.

Por outro lado, indicam que a vazão para manutenção dos viveiros deve ser de aproximadamente 10 l/s/ha, valor este aqui adotado e que corresponde a 3 l/s para os tanques de 0,3 hectares, supracitados.

Cotrin (1995) estabelece que o povoamento em viveiros para piscicultura intensiva deve ser dentro de um intervalo de 1 a 10 peixes/m<sup>2</sup>. Considerou-se uma densidade de 5 peixes/m<sup>2</sup>, totalizando, 15.000 peixes por tanque padrão. O autor, também trata do tempo ideal para despesca que, para a espécie tilápia, é de aproximadamente um ano, com peixes de peso entre 699 g e 1 kg, ideal para o comércio. Lima *et al.*(2010), estimaram um custo de produção para piscicultura intensiva em tanques-rede de R\$ 3,00, valor este adotado nesta pesquisa, embora a hipótese é de que os tanques sejam comuns, de produtividade um pouco menor.

A hipótese para abastecimento hidráulico foi por bombeamento, por ser mais desfavorável, por conseguinte, mais apropriada para o trabalho de otimização dos reservatórios. O valor da tarifa de energia para atividades agropecuárias, fornecido em 2011 pela concessionária de energia da Paraíba, ENERGISA, foi de R\$ 0,06/kWh.

Por fim, o preço de venda do peixe no comércio, fornecido pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas – EMPASA em 2011, através de consulta *in loco*, foi de R\$ 5,00/kg.

### 5.1.7 Dados de Agricultura Irrigada

De forma geral, as solicitações de água para irrigação são intermitentes, com maior requerimento durante os períodos secos e baixas vazões nos períodos chuvosos. Não é demais obtemperar que, embora essas demandas não variem muito, o requerimento de água é maior nos anos de baixos índices pluviométricos.

Através da irrigação são supridas as necessidades hídricas das plantas durante aqueles períodos em que o solo encontra-se com baixa umidade, possibilitando a exploração dessa atividade econômica, mesmo em regiões com clima árido ou semiárido. É um dos elementos da agricultura, devendo funcionar em sintonia com as demais operações agrícolas, sob pena de provocar danos ao solo ou prejudicar o desenvolvimento das lavouras, pela retirada de nutrientes do solo, por exemplo.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP), em mm/mês, das culturas selecionadas para este trabalho, foram adotados os coeficientes de cultivo  $k_c$ , de acordo com o ciclo fenológico de cada uma delas, obtidos de Barros (2010) e apresentados na Tabela 5.5:

Tabela 5.5 - Coeficiente de cultivo médio das culturas adotados no perímetro irrigado

	Cultura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Safr	Tomate	0,00	0,00	0,58	1,10	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pimentão	0,00	0,00	1,06	1,21	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Feijão	0,00	0,00	0,54	1,18	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Repolho	0,00	0,00	0,52	0,93	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Alface	0,00	0,00	0,80	0,80	1,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cebola	0,00	0,00	0,75	0,85	0,95	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entressafr	Tomate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	1,10	0,60	0,00	0,00
	Pimentão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	1,20	1,00	0,00	0,00
	Feijão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,20	1,10	0,00
	Repolho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,90	1,10	0,00
	Alface	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,80	1,00	1,00	0,00
	Cebola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,90	1,00	0,70	0,00
	Banana (perene)	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,10	0,90	0,80	0,80
	Goiaba (perene)	0,45	0,45	0,45	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70

Os dados dos sistemas de irrigação aplicados às culturas são expostos na tabela adiante:



Tabela 5.6 – Dados das culturas e dos sistemas de irrigação

	<b>Cultura</b>	<b>Prod</b>	<b>Prc</b>	<b>Cprod</b>	<b>Hdc</b>
Safr	Tomate	1800	2,1	1597	61
	Pimentão	8000	0,55	1539	66
	Feijão	25000	0,4	3632	115
	Repolho	15000	1	5122	137
	Alface	30000	1,15	6787	235
	Cebola	15000	0,7	5676	211
Entressafr	Tomate	1800	1,6	1597	61
	Pimentão	8000	0,48	1539	66
	Feijão	25000	0,35	3632	115
	Repolho	15000	0,6	5122	137
	Alface	30000	0,65	6787	235
	Cebola	15000	0,4	5676	211
	Banana (percnc)	40000	0,9	4691	213
	Goiaba (perene)	16000	0,8	3861	115

Fonte: Barros (2010)

Onde,

Prod – Produtividade anual da cultura em kg/ha/cultura;

Prc – Preço médio unitário da cultura em R\$/kg/cultura;

Cprod – Custo médio de produção anual da cultura em R\$/kg/cultura (mão de obra, energia, insumos, etc);

Hdc – Trabalho médio requerido por cultura por ano (homens/ano/cultura/ha).

O plano cultural para o perímetro irrigado está indicado na tabela 5.7:

Tabela 5.7 – Plano cultural para o perímetro irrigado

	Cultura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Sistema de Irrigação
Safr	Tomate													gotejamento
	Pimentão													gotejamento
	Feijão													sulco
	Repolho													gotejamento
	Alface													sulco
	Cebola													gotejamento
Entressafr	Tomate													gotejamento
	Pimentão													gotejamento
	Feijão													sulco
	Repolho													gotejamento
	Alface													sulco
	Cebola													gotejamento
	Banana (perene)													microaspersão
	Goiaba (perene)													microaspersão

## 5.2 METODOLOGIA APLICADA

### 5.2.1 Generalidades

A primeira etapa metodológica foi a definição de cenários que contemplassem diversos usos a serem aplicados nos açudes para em seguida verificar o comportamento do modelo de otimização proposto para cada um desses cenários.

Após a alimentação do modelo com os dados já descritos neste capítulo, foram realizadas as primeiras rodadas de otimização no ORNAP para cada um dos cinco cenários que serão definidos mais adiante.

Depois de rodar o ORNAP, inicialmente para um período de 10 anos (de 1999 a 2008), foi possível identificar que diversos reservatórios falharam no atendimento às demandas em todos os cenários além de apresentarem baixos índices de eficiência. Constatou-se que um dos motivos para tal decorreu da hipótese adotada para o volume inicial dos açudes, que correspondia a 40% de suas capacidades máximas. A outra razão foi a coincidência entre o ano inicial da série e a baixa pluviometria desse mesmo ano. Em outras

palavras, o primeiro ano da série de dados foi um ano muito seco, provocando um efeito em cascata que prejudicou o desempenho dos açudes nos anos seguintes.

Para contornar esses vícios, primeiramente eliminou-se o ano inicial da série (1999) para eliminar o efeito dele nos anos subsequentes, já que em modelos de otimização não se recomenda trabalhar, no começo da sequência de dados, com períodos extremos de seca ou de cheia. Também se alterou a hipótese para o volume inicial dos açudes, partindo dos volumes médios desses mesmos açudes, obtidos após aquela primeira rodada de otimização. Essa nova hipótese considerou, portanto, um volume mais coerente com o comportamento dos reservatórios em cada um dos cenários, haja vista que os demais dados de vazões afluentes, pluviometrias, demandas, evapotranspiração, etc., foram mantidos iguais para todas as rodadas no ORNAP.

Com a resolução dos problemas, passou-se a análise dos resultados apresentados pelo ORNAP, que serão apresentados no próximo capítulo.

## **5.2.2 Descrição dos Cenários**

Neste item, serão descritos cada um dos 5 cenários propostos para os reservatórios. Os cenários são caracterizados pelos usos permitidos e pelas prioridades de atendimento para cada uso.

### *5.2.2.1 Cenário 1 (C1)*

O Cenário 1 caracteriza-se por atender apenas as demandas de abastecimento humano e animal, prioritárias segundo a Lei 9.433/1997 como já aludido. Como seus usos são prioritários em detrimento dos outros, este é o cenário padrão e serve como base para comparação com os demais.

Este cenário é o mais conservador e guarda maior identidade com a cultura do semiárido, qual seja a de preservar ao máximo a água para os períodos de seca, retirando dos açudes apenas o mínimo para a sobrevivência. Como foi visto no Capítulo III os reservatórios são utilizados amplamente para consumo humano, atividades domésticas e para dessedentação de animais que, inclusive, bebem diretamente no espelho d'água. Outras atividades, como piscicultura e irrigação são praticadas de maneira muito incipiente e não profissional, ou seja, são apenas meios de subsistência familiar. Os coeficientes de ponderação  $\omega_4$  e  $\omega_5$  da função

objetivo do modelo que medem a prioridade de atendimento dada aos objetivos maximização da Receita Líquida e da Mão-de-Obra, respectivamente (v. item 4.2.6), serão iguais a zero, fazendo com que as funções objetivo RL e MO não sejam consideradas no processo de otimização.

O objetivo deste cenário, além de servir como base para comparação com os outros, é verificar o desempenho atual do sistema e identificar as perdas por vertimento e evaporação que possivelmente estejam ocorrendo.

#### 5.2.2.2 Cenário 2 (C2)

Neste cenário o sistema é testado para verificar a possibilidade de seu aproveitamento econômico através da *piscicultura extensiva*. Portanto, os usos aqui permitidos são abastecimento humano e dessedentação animal, prioritariamente, e exploração econômica por meio da piscicultura extensiva como atividade secundária.

A piscicultura extensiva está longe de ser explorada como atividade econômica efetivamente rentável na região. Isto porque não existe uma política voltada ao desenvolvimento desse setor, com incentivo financeiro, preparação técnica dos trabalhadores, auxílio técnico-científico, distribuição de alevinos para povoamento dos reservatórios, acompanhamento ecológico das espécies etc. Por outro lado, a piscicultura extensiva configura-se como uma excelente oportunidade para os habitantes das cidades que envolvem a bacia do açude de Sumé, pois é barata em termos de insumos, não necessita de grande capacidade técnica e utiliza a água de maneira quase não consuntiva, adequando-se à cultura do semiárido.

O objetivo deste cenário, portanto, é verificar se os reservatórios são capazes de atender às demandas do cenário padrão e mais uma, de onde se pode auferir emprego e renda para a população.

#### 5.2.2.3 Cenário 3 (C3)

Com este cenário se pretende averiguar o comportamento do sistema para a inclusão de mais um uso, além dos já permitidos para o cenário anterior. Desta forma, o cenário 3 caracteriza-se por atender às demandas de *abastecimento humano e animal, irrigação e piscicultura extensiva*, nesta respectiva ordem de prioridade.

Neste cenário a agricultura irrigada é a atividade que exerce maior pressão sobre o sistema hídrico, devendo ser praticada apenas quando o abastecimento humano e animal já estejam garantidos para o restante do período analisado. Se ainda assim houver água sobressalente nos açudes, então é permitida a prática da piscicultura extensiva. Dessa forma, é possível que o sistema (ou alguns de seus reservatórios) consiga auferir renda da agricultura irrigada, cuja receita líquida e alocação de mão-de-obra são sabidamente mais elevadas, e da piscicultura extensiva, menos rentável.

Aqui o objetivo é investigar a quantidade de água que pode ser alocada para cada um desses usos, obter informações sobre a área irrigada, a receita líquida obtida com a exploração econômica dos reservatórios, o número de postos de trabalho que podem surgir e a produção agrícola.

#### *5.2.2.4 Cenário 4 (C4)*

Para este cenário foi proposta uma alteração na ordem de prioridade de atendimento do cenário 3. Logo, o cenário 4 caracteriza-se por atender, na seguinte ordem de prioridade, os usos para abastecimento humano e animal, a piscicultura extensiva e a irrigação. Com essa alteração na prioridade de atendimento é possível utilizar os reservatórios de forma mais conservadora, pois a piscicultura extensiva requer uma vazão bem menor do que a agricultura irrigada.

O cenário 4 objetiva trabalhar com os usos efetivamente existentes na bacia hidrográfica do açude de Sumé, conforme apresentou-se no Capítulo II, mas de forma a preservar uma maior segurança para o atendimento à demanda de abastecimento humano e animal, na medida em que só será liberada água para agricultura irrigada quando os outros usos forem satisfeitos.

#### *5.2.2.5 Cenário 5 (C5)*

No cenário 5 foi proposta a inclusão da piscicultura intensiva ao cenário padrão. A prioridade de atendimento permanece com o abastecimento humano e dessedentação de animais, seguido da piscicultura intensiva e da agricultura irrigada.

Como a piscicultura intensiva exige uma vazão fixa e constante, muito provavelmente será uma atividade que exerça grande pressão no sistema. Apesar disso, é possível a

utilização da água efluente dos tanques-viveiros para a prática da agricultura, aproveitando-se esse insumo que já passou por um processo de adubação e que está repleto de nutrientes. Saliente-se, porém, que a agricultura irrigada considerada neste cenário só utiliza água proveniente diretamente do reservatório, não sendo considerada a água efluente dos viveiros no processo de otimização.

A piscicultura intensiva, apesar de necessitar de uma maior capacitação técnica dos produtores e dos trabalhadores é bem mais rentável que a piscicultura extensiva, em virtude da maior produtividade e do controle que pode ser exercido sobre o ambiente aquático, sobre a qualidade dos animais, da ração administrada, do adubamento, entre outros.

O objetivo deste cenário é verificar a possibilidade de exploração econômica do sistema de reservatórios através da construção de viveiros para criação de peixes de forma intensiva (5 peixes/m<sup>2</sup>). Trabalhou-se com tanques padrão de 3000m<sup>2</sup> e com uma vazão liberada de 3l/s por tanque.

A tabela 5.8 mostra um resumo dos cinco cenários com os usos permitidos e as prioridades de atendimento às demandas em cada um.

Tabela 5.8 – Cenários, usos e prioridades de atendimento

Cenários	Usos	Prioridades
Cenário 1	Abastecimento Humano e Animal	1 - Abastecimento Humano 2 - Dessedentação Animal
Cenário 2	Abastecimento Humano e Animal e Piscicultura Extensiva	1 - Abastecimento Humano 2 - Dessedentação Animal 3 - Piscicultura Extensiva
Cenário 3	Abastecimento Humano e Animal, Agricultura Irrigada, Piscicultura Extensiva	1 - Abastecimento Humano 2 - Dessedentação Animal 3 - Agricultura Irrigada 4 - Piscicultura Extensiva
Cenário 4	Abastecimento Humano e Animal, Piscicultura Extensiva, Agricultura Irrigada	1 - Abastecimento Humano 2 - Dessedentação Animal 3 - Piscicultura Extensiva 4 - Agricultura Irrigada
Cenário 5	Abastecimento Humano e Animal, Piscicultura Intensiva, Agricultura Irrigada	1 - Abastecimento Humano 2 - Dessedentação Animal 3 - Piscicultura Intensiva 4 - Agricultura Irrigada

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS E ANÁLISES**

#### **6.1 RESULTADOS E ANÁLISES**

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo de otimização para cada um dos cenários descritos no capítulo anterior, além das análises e discussões pertinentes, serão apresentados no presente capítulo.

#### **6.2 RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 1**

O objetivo do Cenário 1, como descrito no capítulo anterior, é servir como parâmetro para comparação com os outros cenários e verificar o desempenho do sistema, identificando as perdas que eventualmente existam para procurar alternativas que melhorem a forma como a água é usada.

As demandas, que para este cenário são apenas abastecimento humano e dessedentação de animais, foram plenamente atendidas para o período considerado. Não houve falhas no atendimento às vazões requeridas nos 108 meses escolhidos para o estudo. Os indicadores de sustentabilidade fornecidos pelo modelo de otimização demonstram que os reservatórios são plenamente capazes de abastecer a população humana e animal dentro de seus raios de influência, determinados no item 5.1.4, do Capítulo V.

O indicador Confiabilidade foi de 100% para todos os açudes estudados o que aponta que o sistema manteve-se funcionando durante todo o período investigado sem apresentar falhas. A resiliência foi de 100% para todos os reservatórios e a Vulnerabilidade foi de 0%.

Todos os reservatórios atenderam a condição de sustentabilidade hídrica, o que denota que os açudes apresentaram, ao final do período estudado, volume final maior que o volume inicial. Além disso, o volume final dos reservatórios ficou bem acima do seu volume morto, conforme se pode observar pela Figura A.1, em apêndice. Para cada açude, são apresentados dois gráficos: o de cima representa a vazão liberada para o atendimento das demandas do

cenário e o de baixo representa o comportamento hídrico do açude com as flutuações de volume ao longo dos meses.

O ORNAP também calculou, para os 20 reservatórios estudados, os valores dos indicadores de eficiência para o período de nove anos. Os indicadores de eficiência avaliam se os reservatórios estão trabalhando com desperdícios e indicam onde estão ocorrendo as perdas mais importantes.

Tabela 6.1 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 1

Código dos Açudes	IAP	IUD	IUP	$\eta_{vr}$	$\eta_E$	$\eta_p$	$\eta_v$	$\eta_u$
3	0,17	0,44	0,07	0,00	0,25	0,09	0,67	0,07
44	0,05	0,32	0,02	0,00	0,09	0,03	0,89	0,02
51	0,12	0,23	0,03	0,00	0,25	0,09	0,72	0,03
71	0,15	0,79	0,12	0,00	0,08	0,03	0,80	0,12
72	0,04	0,31	0,01	0,00	0,08	0,03	0,91	0,01
73	0,06	0,54	0,03	0,00	0,07	0,02	0,90	0,03
75	0,08	0,59	0,05	0,00	0,08	0,03	0,87	0,05
132	0,04	0,27	0,01	0,00	0,08	0,03	0,91	0,01
144	0,10	0,39	0,04	0,00	0,16	0,06	0,80	0,04
181	0,25	0,62	0,16	0,00	0,26	0,09	0,58	0,16
184	0,15	0,50	0,08	0,00	0,20	0,07	0,72	0,08
191	0,15	0,56	0,08	0,00	0,17	0,06	0,74	0,08
238	0,48	0,71	0,34	0,01	0,36	0,13	0,29	0,34
248	0,11	0,40	0,04	0,00	0,17	0,06	0,78	0,04
255	0,15	0,56	0,09	0,00	0,17	0,06	0,74	0,09
277	0,17	0,52	0,09	0,00	0,20	0,08	0,71	0,09
401	0,09	0,35	0,03	0,01	0,13	0,05	0,84	0,03
433	0,09	0,39	0,04	0,01	0,13	0,05	0,83	0,04
438	0,14	0,27	0,04	0,01	0,26	0,10	0,70	0,04
628	0,01	0,23	0,00	0,00	0,02	0,01	0,98	0,00

O Índice de Ativação da Potencialidade (IAP) representa a parcela do potencial do açude que está sendo efetivamente disponibilizada. Quanto mais próximos de 1 são os valores do IAP, mais o potencial do açude está sendo disponibilizado. No sentido inverso, se os valores do IAP forem próximos de zero, é sinal de que a parcela disponibilizada está muito pequena comparada ao potencial.

Percebe-se, pela análise da Tabela 6.1, que uma quantidade muito pequena da potencialidade dos reservatórios está sendo ativada, ou seja, a relação entre a disponibilidade e a potencialidade está muito próxima de zero. Os valores do IAP variam de 0,01 no açude de



Código 628 a 0,48, no de Código 238, muito baixos e que certamente acarretarão em um aumento nas perdas, conforme será visto mais à frente.

Os Índices de Utilização da Disponibilidade (IUD) dos reservatórios são bem próximos de zero também, embora em alguns açudes estejam um pouco melhores, à exemplo dos açudes 71 e 238, cujos valores são 0,79 e 0,71, respectivamente. Valores baixos do IUD indicam que as demandas não estão utilizando plenamente a água disponibilizada, pois este índice representa a relação entre demanda e disponibilidade.

A combinação entre os baixos valores do IAP e do IUD refletem no Índice de Utilização da Potencialidade (IUP) que, de forma similar, ficaram próximos de zero em todos os reservatórios analisados. Este índice reflete a parcela da potencialidade que está sendo consumida (utilizada) pelas demandas.

Consoante previsto, o sistema está trabalhando, no Cenário 1, com uma quantidade muito grande de desperdícios o que se depreende dos baixos valores do índice  $\eta_U$ . Pela análise da tabela anterior, é possível identificar que a principal causa está na quantidade de água perdida por vertimento, representada pelos índices  $\eta_V$  dos açudes que estão muito próximos da unidade. Outra fonte de perdas é a alta taxa de evaporação na superfície dos reservatórios, retratada pelo índice  $\eta_E$ , chegando, no açude 238, a 36% do volume total afluyente. Nos demais, os valores do  $\eta_E$  são bastante elevados, mas com grande variabilidade, sendo um indicativo de que os açudes possuem uma grande diversidade na relação entre a área do espelho d'água, a profundidade e o tempo de residência da água no reservatório.

Assim, é possível dizer, após as análises para o Cenário 1, que estão ocorrendo muitas perdas em todos os açudes, principalmente em decorrência do excesso de vertimento e das altas taxas de evaporação. A potencialidade dos reservatórios não está sendo utilizada de maneira adequada e não existem riscos aparentes de ocorrerem falhas no atendimento às demandas.

Neste cenário, não é possível deixar de considerar a implantação de novos usos para melhor aproveitar o potencial hídrico do sistema ou simplesmente aumentar às vazões liberadas para as demandas já existentes.

### 6.3 RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 2

O Cenário 2 é integrado pelas demandas de abastecimento humano e animal e pela exploração dos reservatórios através da piscicultura extensiva. O objetivo deste cenário é analisar como se comportam os açudes quando expostos às demandas do cenário padrão (C1) e outra que pudesse fomentar a economia local sem o comprometimento da qualidade da água, no caso, a criação extensiva de peixes.

Observe-se que, da mesma forma que ocorreu no cenário anterior, não houve falhas no atendimento às vazões requeridas para o Cenário 2. Não obstante ter sido acrescentada a piscicultura extensiva, os indicadores de desempenho continuaram idênticos aos do Cenário 1, o que pode ser explicado por ser esta uma atividade quase não consuntiva, com vazões liberadas apenas para manter a qualidade da água. Esta atividade, embora apresente baixa produtividade e tenha um produto de pouca competitividade no mercado, revela-se bastante apropriada para a região, pois pode ser exercida nos reservatórios sem adição de alimentos orgânicos ou minerais e sem grandes intervenções.

Como o sistema se manteve funcionando sem apresentar falhas durante todo o período analisado, o indicador Confiabilidade foi de 100% para todos os açudes. A Resiliência foi de 100% e a Vulnerabilidade foi considerada 0% pelo motivo da ausência de falhas.

A Figura A.2, em apêndice, mostra os gráficos das vazões mensais liberadas para o atendimento das demandas do Cenário 2 e o comportamento hídrico dos reservatórios (volumes mensais). Os gráficos e os indicadores de Sustentabilidade dos açudes, apresentados anteriormente, indicam que ocorreu o atendimento da condição de sustentabilidade hídrica, com volumes finais dos açudes maiores que os volumes iniciais.

Os indicadores de eficiência calculados pelo ORNAP para os reservatórios estão impressos na Tabela 6.2, a seguir:

Tabela 6.2 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 2

Código dos Açudes	IAP	IUD	IUP	$\eta_{Vr}$	$\eta_E$	$\eta_p$	$\eta_V$	$\eta_u$
3	0,17	0,44	0,07	0,00	0,25	0,09	0,67	0,07
44	0,05	0,32	0,02	0,00	0,09	0,03	0,89	0,02
51	0,12	0,23	0,03	0,00	0,25	0,09	0,72	0,03
71	0,15	0,79	0,12	0,00	0,08	0,03	0,80	0,12
72	0,04	0,31	0,01	0,00	0,08	0,03	0,91	0,01
73	0,06	0,55	0,03	0,00	0,07	0,02	0,90	0,03
75	0,08	0,60	0,05	0,00	0,08	0,03	0,87	0,05
132	0,04	0,29	0,01	0,00	0,09	0,03	0,90	0,01
144	0,10	0,41	0,04	0,00	0,16	0,06	0,80	0,04
181	0,26	0,63	0,17	0,00	0,26	0,09	0,57	0,17
184	0,16	0,52	0,08	0,00	0,20	0,07	0,71	0,08
191	0,15	0,58	0,09	0,00	0,17	0,06	0,74	0,09
238	0,49	0,72	0,35	0,01	0,36	0,13	0,28	0,35
248	0,11	0,41	0,04	0,00	0,17	0,06	0,78	0,04
255	0,16	0,57	0,09	0,00	0,17	0,06	0,74	0,09
277	0,17	0,54	0,09	0,00	0,20	0,08	0,71	0,09
401	0,09	0,37	0,03	0,01	0,13	0,05	0,83	0,03
433	0,09	0,41	0,04	0,01	0,13	0,05	0,83	0,04
438	0,15	0,28	0,04	0,01	0,26	0,10	0,69	0,04
628	0,02	0,23	0,01	0,00	0,05	0,02	0,95	0,01

No Cenário 2, tal como ocorreu no Cenário 1, o Índice de Ativação da Potencialidade (IAP) ficou muito próximo de zero, revelando que uma parcela muito pequena da potencialidade dos reservatórios foi ativada. A relação entre a disponibilidade e a potencialidade é muito próxima de zero para todos os açudes, embora tenha havido um aumento ínfimo de 1% em alguns, a exemplo dos 181, 238 e 255. Isso indica que, apesar ser um aumento não significativo, a demanda acrescentada já trouxe uma melhora neste indicador.

Também houve um pequeno incremento no Índice de Utilização da Disponibilidade chegando, em alguns reservatórios, a 2%. Todavia, em geral continuam baixos os valores do IUD, implicando numa fraca relação demanda/disponibilidade. Mais uma vez, verifica-se que mesmo com o acréscimo de uma nova demanda não se está utilizando toda a água disponibilizada.

O Índice de Utilização da Potencialidade (IUP) denota que não está sendo utilizada parcela significativa da potencialidade do sistema, pois todos os valores ficaram próximos de zero. Isto é reflexo dos baixos IAP e IUD que, juntos, influenciam no baixo desempenho do IUP.

O sistema continua ineficiente neste cenário, o que se abstrai dos baixos índices  $\eta_U$  apresentados na Tabela 6.2. A quantidade alta de desperdícios continua sendo importante, assim como no cenário antecedente, e os principais causadores ainda são o vertimento e as altas taxas de evaporação. Inobstante uma melhora – mesmo que insignificante – nos índices de vertimento  $\eta_V$  em alguns açudes, ainda é muito elevada a relação entre o volume vertido e o volume afluente. Pela leitura dos índices  $\eta_E$  da tabela entende-se que a água afluente persiste evaporando de forma muito acelerada, com valores oscilando entre 5 e 36%.

A exploração da piscicultura tem grande potencial para geração de emprego e renda para a região, como mostra a próxima tabela, onde se verifica que a renda líquida auferida após 09 anos, aproxima-se de R\$ 3.700.000,00 (três milhões e setecentos mil reais), o que dá R\$ 185.000,00 (cento e oitenta e cinco mil reais) por ano para os 20 açudes em conjunto. Ao todo foram alocados 747 postos de trabalho para produzir 1120 toneladas de pescado. O volume e área mínimos para a prática da piscicultura intensiva podem ser lidos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 2 – totais para 09 anos

Código dos Açudes	Volume Mínimo (hm <sup>3</sup> /mês)	Área Mínima (ha)	Produção (ton)	Mão de Obra (diárias)	Receita Líquida (R\$)
3	0,2467	170,16	85,08	57	280764,56
44	0,0747	70,14	35,07	23	115724,07
51	0,1701	111,37	55,69	37	183740,5
71	0,1414	157,65	78,83	53	260110,99
72	0,1541	136,71	68,36	46	225559,15
73	0,0937	63,34	31,67	21	104541,42
75	0,0705	47,92	23,96	16	79099,61
132	0,1063	97,92	48,96	33	161561,14
144	0,1556	88,82	44,41	30	146553,12
181	0,8450	362,57	181,29	121	598243,24
184	0,3200	203,51	101,76	68	335793,93
191	0,0683	41,56	20,78	14	68557,00
238	0,2574	114,82	57,41	38	189431,15
248	0,2345	117,51	58,76	39	193877,30
255	0,0950	56,77	28,39	19	93703,63
277	0,0483	55,45	27,73	18	91496,16
401	0,1039	62,36	31,18	21	102909,09
433	0,0826	52,63	26,32	18	86835,46
438	0,1663	99,06	49,53	33	163458,56
628	0,1706	131,28	65,64	44	216610,49
<b>TOTAIS</b>			<b>1120,78</b>	<b>747</b>	<b>3.698.570,56</b>

Neste segundo Cenário, a potencialidade do sistema não é convenientemente utilizada e os riscos de ocorrerem falhas no atendimento às demandas são quase nulos. Estão ocorrendo ainda muitas perdas por vertimento e por evaporação, porém de maneira um pouco menos agressiva.

É notório que com a entrada da piscicultura extensiva neste cenário, houve um importante ganho social e econômico para a região, mesmo com uma utilização ainda inadequada do potencial hídrico do sistema. Como pode ser visto, o uso dos reservatórios para criação extensiva de peixes com fito de exploração econômica não provocou diminuição relevante no atendimento das demandas prioritárias.

Nos próximos itens, serão investigadas se e quais novas demandas podem ser acrescidas ao sistema para melhorar os índices de desperdício que estão ocorrendo nos Cenários 1 e 2 e, desta maneira, melhor usufruir dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do açude de Sumé.

#### **6.4 RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 3**

Este terceiro cenário é composto pela demanda prioritária de abastecimento humano e dessedentação animal, mais as demandas de irrigação e piscicultura extensiva, nesta respectiva ordem de prioridade. O objetivo deste cenário é aumentar os ganhos socioeconômicos do sistema hídrico através da utilização mais adequada da água. Como foi visto, a demanda para piscicultura extensiva do Cenário 2 não trouxe melhorias significativas nos indicadores de desempenho e de eficiência do sistema, embora tenha trazido uma perspectiva de emprego e renda para a população.

O ORNAP gerou os indicadores de desempenho para os açudes estudados, cujos resultados estão na Tabela 6.4. Percebe-se que, com exceção do açude 72, todos os demais tiveram suas demandas plenamente atendidas. A Confiabilidade do açude Raminho (Código 72), localizado no município Prata, foi de 97%, com apenas 3 falhas no atendimento às demandas durante todo o período analisado.

Por outro lado, o índice Resiliência para o açude que apresentou falhas foi de 33%, valor este muito alto e que manifesta uma demora relativamente grande para o sistema se recuperar. Neste caso específico, isto representa que as três falhas ocorreram em meses consecutivos, o que pode ser bastante prejudicial para as atividades desenvolvidas no açude, conforme se observa na Figura A.3, em apêndice. Para os demais açudes, como não

existiram falhas, igualmente não existe índices de Resiliência associados, sendo considerado igual a zero.

A Vulnerabilidade, que é a razão entre a soma dos déficits percentuais de falhas no atendimento à demanda e o número total de falhas, foi de 25% para o açude 72 e inexistente para os demais. Isto quer dizer que, em média, quando da ocorrência de uma falha, as demandas foram atendidas em 75% da demanda requerida do açude Raminho.

Tabela 6.4 – Indicadores de desempenho dos açudes para o Cenário 3

Código dos Açudes	Confiabilidade (%)	Nº de Falhas	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Déficit Máximo (%)	Sustentabilidade (%)
3	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
44	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
51	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
71	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
72	97,00	3,00	33,00	25,00	25,00	24,00
73	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
75	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
132	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
144	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
181	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
184	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
191	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
238	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
248	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
255	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
277	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
401	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
433	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
438	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
628	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00

A Figura A.3, em apêndice, mostra que todos os reservatórios chegaram a secar em algum mês dos nove anos da série, em geral nos meses de janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro, que coincidem com o período sem chuva na região. Não obstante, eles conseguiram atender às suas demandas plenamente, exceto o reservatório 72, como já mencionado.

A seguir, a Tabela 6.5 apresenta os índices de eficiência gerados pelo ORNAP para o sistema hídrico investigado:

Tabela 6.5 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 3

Código dos Açudes	IAP	IUD	IUP	$\eta_v$	$\eta_E$	$\eta_p$	$\eta_V$	$\eta_U$
3	0,44	0,81	0,36	0,00	0,21	0,08	0,43	0,36
44	0,23	0,86	0,20	0,00	0,08	0,03	0,72	0,20
51	0,46	0,82	0,38	0,00	0,20	0,08	0,42	0,38
71	0,24	0,85	0,20	0,00	0,09	0,04	0,71	0,20
72	0,12	0,73	0,09	0,00	0,08	0,03	0,83	0,09
73	0,20	0,87	0,17	0,00	0,06	0,03	0,77	0,17
75	0,26	0,89	0,23	0,00	0,07	0,03	0,70	0,23
132	0,26	0,82	0,21	0,00	0,11	0,05	0,67	0,21
144	0,39	0,86	0,33	0,00	0,13	0,05	0,53	0,33
181	0,56	0,83	0,46	0,00	0,27	0,10	0,27	0,46
184	0,40	0,82	0,33	0,00	0,19	0,07	0,49	0,33
191	0,55	0,90	0,50	0,00	0,13	0,05	0,37	0,50
238	0,76	0,86	0,65	0,00	0,29	0,11	0,06	0,65
248	0,38	0,85	0,32	0,00	0,14	0,06	0,54	0,32
255	0,47	0,88	0,41	0,00	0,14	0,06	0,45	0,41
277	0,42	0,83	0,35	0,00	0,17	0,07	0,48	0,35
401	0,37	0,88	0,32	0,00	0,10	0,04	0,58	0,32
433	0,39	0,89	0,34	0,00	0,10	0,04	0,55	0,34
438	0,50	0,83	0,41	0,00	0,20	0,08	0,39	0,41
628	0,11	0,83	0,09	0,00	0,04	0,02	0,86	0,09

O Índice de Ativação da Potencialidade melhorou consideravelmente neste cenário com relação aos anteriores. Em média, obteve-se um aumento de 343% no IAP com relação ao Cenário 2, denotando que uma parcela bem maior da potencialidade dos reservatórios foi ativada. O motivo para tal incremento foi, obviamente, a inclusão da demanda de irrigação no sistema.

Muito boa também foi a melhora no Índice de Utilização da Disponibilidade, em média atingindo 85%. Isto implica em uma forte relação entre a demanda e a disponibilidade, mostrando que a agricultura irrigada gerou uma maior utilização da água disponibilizada.

Embora tenham aumentado, os Índices de Utilização da Potencialidade associados ainda estão muito aquém do ponto máximo, ficando em média em 32% para os 20 açudes, sendo que nos açudes de códigos 72 e 628 não chegaram a 10%. Mas isto já representa um excelente resultado em comparação aos Cenários 1 e 2, onde a média para os 20 reservatórios ficou em torno de 7%.

A eficiência do sistema, medida pelo indicador  $\eta_U$  da Tabela 6.5, melhorou significativamente, saindo de uma média de 7%, no Cenário 2, para 32%, no terceiro cenário. O principal motivo para tanto foi a redução nos desperdícios por vertimento e por evaporação. O índice  $\eta_V$ , que mede o vertimento com relação à vazão afluente, apresentou grande

variabilidade entre os açudes, ficando entre 6% e 86%, porém com uma média de 54% contra 76% do Cenário 2. Ainda é uma perda muito considerável, mas já representa um cuidado maior com a utilização deste recurso. Os índices  $\eta_E$  também diminuíram e revelam uma diminuição nas perdas por evaporação, resultado da utilização mais racional da água neste cenário.

A vazão aduzida para a área irrigada e as áreas alocadas para as culturas sazonais e perenes estabelecidas no Item 5.1.7 estão representadas na Figura A.4, no Apêndice.

Pela análise dos gráficos da Figura A.4, pode-se afirmar que as maiores vazões aduzidas para as áreas irrigadas coincidem com os meses de maior volume precipitado (de março a junho) o que, por conseguinte, acarreta em maior área irrigada para as culturas sazonais no período de safra. No sentido inverso, na entressafra, as vazões aduzidas reduzem consideravelmente e diminuem a área irrigada.

Confrontando os gráficos dos volumes mensais dos reservatórios (Figura A.3) com os gráficos das áreas irrigadas (Figura A.4) verifica-se que quando os volumes mensais se aproximam do volume morto não se permite a produção agrícola, pois a água deve ser prioritariamente alocada para consumo humano e animal.

As Tabelas A.1 a A.20, em apêndice, apresentam os resultados da agricultura irrigada gerados pelo ORNAP para os 09 anos da série trabalhada, em cada açude. Elas apontam que algumas culturas não podem ser praticadas em alguns açudes, pois não são vantajosas economicamente. É o caso da goiaba e da banana perene em diversos açudes e de algumas culturas de entressafra, como a cebola, o feijão, o tomate e o pimentão. O ORNAP otimizou a relação entre alocação de água e os benefícios socioeconômicos em cada um dos reservatórios do sistema hídrico para cada mês. Isto quer dizer que a água só será fornecida para as culturas mais vantajosas e apenas nos meses com disponibilidade, ou seja, se sobrar da demanda prioritária.

Com o acréscimo da irrigação no Cenário 3, foi possível auferir uma receita líquida de, aproximadamente, R\$ 220.500.000,00 (duzentos e vinte milhões e quinhentos mil reais) gerando, 3.500.000 postos de trabalho nos 108 meses do recorte temporal analisado. Este valor corresponde a um aumento de impressionantes 6000% com relação ao Cenário 2, cuja receita líquida extraída da piscicultura extensiva foi de R\$ 3.698.570,56.

Nos nove anos, a soma das áreas irrigadas foi de 23000 ha e o volume total liberado para irrigação foi de 81 milhões de metros cúbicos.



A prática da piscicultura extensiva no Cenário 3, como teve menor prioridade que a agricultura irrigada, apresentou um rendimento menos expressivo do que no Cenário 2, gerando uma Receita Líquida de quase 2 milhões de reais. A mão de obra requerida para esta atividade foi de 343 trabalhadores e a produção foi de 589 toneladas, contra 747 trabalhadores e 1121 toneladas do cenário passado.

Tabela 6.6 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 3 – totais para 09 anos

Código dos Açudes	Volume Mínimo (hm³/mês)	Área Mínima (ha)	Produção (ton)	Mão de Obra (diárias)	Receita Líquida (R\$)
3	0,0960	87,36	43,68	29	144183,78
44	0,0277	32,85	16,43	11	54161,06
51	0,0583	53,76	26,88	18	88703,19
71	0,1273	113,23	56,62	38	186857,64
72	0,0652	77,82	38,91	26	128440,22
73	0,0346	31,18	15,59	10	51421,46
75	0,0275	24,19	12,10	8	39973,28
132	0,0412	44,25	22,13	15	73038,07
144	0,0503	41,72	20,86	14	68808,37
181	0,3312	202,80	101,40	68	334594,00
184	0,1221	102,81	51,41	34	169618,96
191	0,0257	20,76	10,38	7	34194,02
238	0,1112	71,00	35,50	24	117151,01
248	0,0734	53,04	26,52	18	87523,37
255	0,0350	28,41	14,21	9	46848,71
277	0,0303	36,30	18,15	12	59927,06
401	0,0344	27,90	13,95	9	46100,02
433	0,0297	24,65	12,33	8	40731,78
438	0,0583	48,14	24,07	16	79436,41
628	0,0576	55,80	27,90	19	92022,37
<b>TOTAIS</b>			<b>588,99</b>	<b>393</b>	<b>1.943734,78</b>

O quadro seguinte resume a receita líquida e a mão de obra obtidos com a otimização dos pequenos açudes no presente cenário:

Quadro 6.1 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 3 – totais para 09 anos

<b>Cenário 3</b>	Receita Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)
Agricultura Irrigada	220.500.000,00	3.500.000
Piscicultura Extensiva	1.943734,78	393
<b>TOTAIS</b>	<b>222.443.734,78</b>	<b>3.500.393,00</b>

Como foi visto, quando se acrescentou ao cenário anterior a agricultura irrigada, os ganhos socioeconômicos foram abundantemente ampliados, demonstrando que os desperdícios diminuíram através da utilização otimizada dos reservatórios. Embora ainda se observem perdas por vertimento e por evaporação no sistema, isto pode ser um problema difícil de ser eliminado, haja vista, entre outros fatores, a configuração geométrica e o tamanho dos reservatórios, que favorecem a existência dessas perdas.

O próximo cenário tem as mesmas demandas deste cenário, porém com uma inversão na prioridade de atendimento da irrigação e da piscicultura extensiva, seguindo o consumo humano e animal como demanda prioritária.

## **6.5 RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 4**

O Cenário 4 tem o objetivo de investigar como o sistema se comporta quando trabalha simultaneamente com três demandas principais: abastecimento humano e animal, piscicultura extensiva e irrigação, nesta ordem de prioridade. A diferença para o cenário anterior, como já explicado, é a alteração na prioridade de atendimento entre irrigação e piscicultura. O objetivo aqui é verificar qual dos dois cenários (3 ou 4) é o mais vantajoso para a região em estudo.

A primeira observação a ser feita é que, ao contrário do Cenário 2, nem um dos açudes sofreu interrupção no fornecimento de água, ou seja, não houve falhas em nenhum deles. Como corolário, o índice Resiliência foi considerado 100% e o índice Vulnerabilidade foi de 0% para todos os reservatórios.

A Confiabilidade dos reservatórios foi de 100%, significando que todas as demandas foram plenamente atendidas durante todo o período estudado. Isto denota uma melhora neste cenário, porém apenas com relação à ausência de falhas no atendimento, já que os outros aspectos só serão analisados adiante.

Na Figura A.5, no Apêndice, são apresentados os dois gráficos das vazões mensais liberadas para o atendimento das demandas e dos volumes mensais dos reservatórios. A leitura dos índices de Sustentabilidade na tabela anterior e a análise dos gráficos da Figura A.5, sugerem que a condição de sustentabilidade hídrica foi atendida e, portanto, o volume final foi maior que o inicial no recorte temporal considerado.

Ao contrário do ocorrido no Cenário 3, apenas o reservatório 71 atingiu a cota do volume morto, e somente uma vez, em todo o período trabalhado. Já é possível adiantar que com esse comportamento, as perdas por vertimento certamente serão maiores, pois quase todos os açudes passam vários meses trabalhando com a lâmina máxima durante o ano.

É possível confirmar essa afirmação através da análise da Tabela 6.7, onde estão registrados os índices de eficiência gerados pelo ORNAP:

Tabela 6.7 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 4

Código dos Açudes	IAP	IUD	IUP	$\eta_{vr}$	$\eta_E$	$\eta_p$	$\eta_v$	$\eta_u$
3	0,30	0,69	0,21	0,00	0,25	0,09	0,54	0,21
44	0,15	0,78	0,12	0,00	0,09	0,03	0,79	0,12
51	0,29	0,68	0,19	0,00	0,25	0,09	0,55	0,19
71	0,20	0,83	0,17	0,00	0,09	0,03	0,74	0,17
72	0,08	0,57	0,04	0,00	0,09	0,03	0,87	0,04
73	0,14	0,81	0,11	0,00	0,07	0,03	0,82	0,11
75	0,19	0,84	0,16	0,00	0,08	0,03	0,76	0,16
132	0,12	0,69	0,08	0,00	0,10	0,04	0,82	0,08
144	0,26	0,78	0,20	0,00	0,16	0,06	0,64	0,20
181	0,37	0,72	0,26	0,00	0,29	0,10	0,45	0,26
184	0,26	0,70	0,19	0,00	0,21	0,08	0,60	0,19
191	0,36	0,83	0,30	0,00	0,17	0,06	0,53	0,30
238	0,62	0,78	0,48	0,01	0,36	0,13	0,15	0,48
248	0,23	0,73	0,17	0,00	0,17	0,06	0,66	0,17
255	0,33	0,80	0,27	0,00	0,17	0,06	0,56	0,27
277	0,31	0,75	0,24	0,00	0,20	0,08	0,56	0,24
401	0,24	0,76	0,18	0,01	0,13	0,05	0,69	0,18
433	0,24	0,78	0,19	0,01	0,12	0,05	0,68	0,19
438	0,32	0,68	0,22	0,01	0,26	0,10	0,52	0,22
628	0,06	0,68	0,04	0,00	0,05	0,02	0,91	0,04

Ocorreu uma diminuição nos Índices de Ativação da Potencialidade, comparando este cenário com o Cenário 3, de 32,49%, em média, para todos os açudes nos 09 anos. Todos os reservatórios apresentaram queda no IAP, o que significa que houve diminuição na parcela da potencialidade ativada.

Embora num percentil menor, também o Índice de Utilização da Disponibilidade sofreu redução em todos os açudes. A média geral, para todo o período considerado, foi de 12% de diminuição no IUD, todavia ainda guardando boa relação entre a demanda e a disponibilidade, pois a média no IUD do Cenário 3 foi de 74,40%. É sinal de que as demandas estão consumindo bem a disponibilidade dos reservatórios.

No mesmo diapasão segue o Índice de Utilização da Potencialidade que, além de ter atingido uma média para todo o sistema muito baixa (19,10%), sofreu redução de 39,84% com relação ao cenário antecedente. Os valores do IUP no cenário presente oscilaram entre 4% e 48%, contra 9% e 65% do Cenário 3, percebendo-se uma queda bem considerável para valores que já não eram tão bons. Certamente os valores do IUP sofreram queda, influenciados pela depressão nos IAP e IUD.

Como previsto, neste quarto cenário o índice  $\eta_U$  diminuiu em quase 40% relativamente ao cenário precedente. A média do índice  $\eta_U$  na Tabela 6.7 foi de 19,10% e isto representa uma piora na relação entre o volume que sai para atender as demandas e o volume afluente. Como consequência, o volume não utilizado foi perdido por evaporação ou vertimento. O índice  $\eta_V$  variou entre 15% e 91% no Cenário 4, com média de 64,20% na relação entre vazão vertida e vazão afluente para todos os açudes no período estudado. No Cenário 3, esse mesmo índice variou entre 6% e 86% e obteve média bem menor, de 54%. Quanto às perdas por evaporação, avaliadas através do índice  $\eta_E$ , houve aumento de 18,21% comparativamente ao terceiro cenário. A média obtida pela Tabela 6.7 foi de 16,55% de água desperdiçada por evaporação.

No Apêndice, é possível observar a Figura A.6, que mostra os gráficos da vazão aduzida para a área irrigada e as áreas alocadas para agricultura durante o horizonte de estudo:

A Figura A.6 mostra que as vazões aduzidas para as áreas irrigadas são maiores nos meses de março, abril, maio e junho, período esse correspondente aos meses com chuva na região. Por conseguinte, as áreas para plantio são maiores neste período, ao contrário do período de entressafra, onde a prática da agricultura é drasticamente diminuída, chegando a zerar para diversas culturas.

É possível ver na Figura A.6 que as vazões retiradas diminuíram com relação às vazões plotadas nos gráficos da Figura A.4 (Cenário 3).

Para confirmar essa informação, as Tabelas A.21 a A.40 trazem os resultados para agricultura irrigada no Cenário 4, gerados pelo modelo de otimização:

Como ocorrido no Cenário 3, algumas culturas não recebem água nos períodos de entressafra, pois trazem mais problemas do que vantagens para o sistema hídrico e para a região como, por exemplo, aumentar o risco de secar os reservatórios, prejudicando o abastecimento humano. Igualmente, a água alocada para as duas culturas perenes em todos os açudes é tão próxima de zero que elas não tem área associada, podendo ser considerado inexistente o plantio dessas culturas para o Cenário 4.

A receita líquida advinda da agricultura foi de R\$ 170.800.000,00 (cento e setenta milhões e oitocentos mil reais) neste cenário, criando dois milhões e quinhentos mil postos de trabalho, aproximadamente, no período de 09 anos, para os 20 açudes. Porém, este cenário apresentou desempenho para receita líquida 22,5% menor que o terceiro cenário. Quanto à mão de obra alocada, a redução foi de 28,5%. O volume total liberado para agricultura irrigada foi de 60 milhões de metros cúbicos e a área total irrigada foi de 17538 ha, números bastante inferiores ao Cenário 3.

No tocante à piscicultura extensiva, seus resultados foram mais expressivos neste cenário, com uma receita líquida total de mais de três milhões e quinhentos mil reais, utilizando 717 diárias, com uma produção de 1075,90 toneladas de peixes.

Tabela 6.8 – Piscicultura Extensiva para o Cenário 4 – totais para 09 anos

Código dos Açudes	Volume Mínimo (hm³/mês)	Área Mínima (ha)	Produção (ton)	Mão de Obra (diárias)	Receita Líquida (R\$)
3	0,2401	165,02	82,51	55	272286,21
44	0,0707	66,31	33,16	22	109425,52
51	0,1657	107,71	53,86	36	177726,30
71	0,1273	148,17	74,08	49	244476,37
72	0,1408	132,85	66,43	44	219203,56
73	0,0834	60,65	30,33	20	100077,21
75	0,0662	45,51	22,76	15	75097,55
132	0,1028	85,72	42,86	29	141439,69
144	0,1448	84,96	42,48	28	140182,84
181	0,7645	353,24	176,62	118	582851,72
184	0,3066	197,95	98,97	66	326615,96
191	0,0642	39,23	19,62	13	64734,30
238	0,2169	112,21	56,11	37	185154,76
248	0,2146	112,58	56,29	38	185750,01
255	0,0910	53,90	26,95	18	88937,00
277	0,0480	54,08	27,04	18	89230,05
401	0,0886	59,18	29,59	20	97653,79
433	0,0695	49,50	24,75	16	81667,10
438	0,1625	96,19	48,10	32	158720,55
628	0,1665	126,83	63,42	42	209272,10
<b>TOTAIS</b>			<b>1075,90</b>	<b>717</b>	<b>3.550.502,59</b>

Em seguida, o Quadro 6.2 fornece uma síntese da receita líquida e da mão de obra alcançada com as atividades econômicas exercidas no Cenário 4:

Quadro 6.2 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 4 – totais para 09 anos

<b>Cenário 4</b>	Receita Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)
Agricultura Irrigada	170.803.772,5	2.501.718
Piscicultura Extensiva	3.550.502,59	717
<b>TOTAIS</b>	<b>174.354.275,1</b>	<b>2.502.435</b>

Ao alterar a ordem de prioridade no atendimento das demandas de piscicultura e irrigação entre os Cenários 3 e 4, logicamente ocorreu uma alteração no desempenho socioeconômico dessas atividades dentro da região estudada. Muito embora a receita líquida total auferida e a mão de obra tenham diminuído, o risco de ocorrerem falhas no atendimento às demandas foi significativamente reduzido neste cenário com relação ao terceiro. Da mesma forma, ao tempo em que as perdas aumentaram no Cenário 4 comparativamente ao Cenário 3, isto também representa uma maior “segurança” contra o possível corte no fornecimento de água.

O quinto cenário propõe a inclusão da demanda de *piscicultura intensiva* no sistema na seguinte ordem de prioridade: abastecimento humano/animal, piscicultura intensiva e agricultura irrigada.

## 6.6 RESULTADOS E ANÁLISES PARA O CENÁRIO 5

O Cenário 5 apresenta uma proposta de inclusão de uma atividade mais especializada e com maior capacidade de produção do que a piscicultura extensiva. A piscicultura intensiva tem maior potencial de produção de peixes com competitividade no mercado e pode gerar um número bem maior de empregos que a extensiva. Por outro lado, exige uma demanda bem mais elevada de água, e seu uso se caracteriza por ser consuntivo, pois a vazão liberada para manutenção dos viveiros é depois desperdiçada neste cenário.

O consumo humano e animal tem prioridade máxima de atendimento, seguida da piscicultura intensiva e da agricultura irrigada, nesta ordem.

Observando a Tabela 6.9 logo se percebe que acorreram falhas no atendimento às demandas nos açudes de Códigos 44, 71 e 72. A Confiabilidade foi alta para todos os

reservatórios e, com exceção dos três que tiveram falhas, os demais conseguiram atender plenamente as demandas solicitadas.

Pela análise concomitante da Tabela 6.9 com a Figura A.7, em apêndice, verifica-se que os açudes 44 e 71, apresentaram bons índices de Resiliência, apontando que eles saem rapidamente das falhas. Quanto ao açude 72, seu índice Resiliência foi muito baixo, indicando que quando entra em falha, demora em média 9 meses para se recuperar, deixando de alocar toda a água disponível durante esse período.

Por outro lado, a Vulnerabilidade desses reservatórios que entraram em falha durante algum período é baixa, significando que a maior parte do volume demandado foi atendido, com déficit máximo de 25% para os açudes 71 e 72 e de 12% para o 44.

Tabela 6.9 – Indicadores de desempenho dos açudes para o Cenário 5

Código dos Açudes	Confiabilidade (%)	Nº de Falhas	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)	Déficit Máximo (%)	Sustentabilidade (%)
3	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
44	99,00	1	100,00	12,00	12,00	87,00
51	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
71	97,22	3	66,67	12,69	25,00	56,59
72	91,67	9	11,11	25,00	25,00	7,64
73	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
75	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
132	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
144	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
181	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
184	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
191	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
238	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
248	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
255	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
277	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
401	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
433	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
438	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00
628	100,00	0	100,00	0,00	0,00	100,00

Os gráficos dos reservatórios são exibidos na Figura A.7, em apêndice. O gráfico superior apresenta as vazões liberadas para o atendimento das demandas e o inferior, os volumes mensais dos açudes.

Tal como ocorreu no Cenário 3, alguns reservatórios atingiram a cota de volume morto, mas a maioria não chegou a secar durante o período investigado. Dessa forma,

provavelmente esses açudes terão um comportamento semelhante aos do Cenário 4, porém com perdas um pouco menores.

Na Tabela 6.10 sintetizam-se os resultados gerados pelo ORNAP para os índices de eficiência associados aos açudes nos 09 anos.

Tabela 6.10 – Indicadores de eficiência dos açudes para o Cenário 5

Código dos Açudes	IAP	IUD	IUP	$\eta_{vr}$	$\eta_E$	$\eta_p$	$\eta_v$	$\eta_u$
3	0,20	0,55	0,11	0,00	0,25	0,09	0,61	0,11
44	0,08	0,57	0,04	0,00	0,08	0,03	0,83	0,04
51	0,15	0,39	0,06	0,00	0,25	0,09	0,66	0,06
71	0,17	0,80	0,13	0,00	0,08	0,03	0,78	0,13
72	0,05	0,41	0,02	0,00	0,08	0,03	0,89	0,02
73	0,09	0,72	0,06	0,00	0,06	0,02	0,87	0,06
75	0,11	0,73	0,08	0,00	0,08	0,03	0,80	0,08
132	0,06	0,46	0,03	0,00	0,09	0,03	0,87	0,03
144	0,14	0,59	0,08	0,00	0,16	0,06	0,75	0,08
181	0,28	0,66	0,19	0,00	0,27	0,10	0,50	0,19
184	0,18	0,59	0,11	0,00	0,20	0,07	0,66	0,11
191	0,21	0,70	0,14	0,00	0,17	0,06	0,66	0,14
238	0,47	0,74	0,35	0,00	0,34	0,12	0,19	0,35
248	0,14	0,55	0,08	0,00	0,16	0,06	0,71	0,08
255	0,20	0,67	0,13	0,00	0,17	0,06	0,67	0,13
277	0,20	0,62	0,13	0,00	0,20	0,08	0,66	0,13
401	0,12	0,57	0,07	0,00	0,11	0,05	0,72	0,07
433	0,13	0,61	0,08	0,01	0,12	0,05	0,73	0,08
438	0,16	0,41	0,06	0,00	0,24	0,09	0,58	0,06
628	0,03	0,43	0,01	0,00	0,04	0,02	0,92	0,01

Os açudes ficaram, em média, com Índice de Ativação da Potencialidade de 15,85%, variando de 3% a 47%. Com relação ao Cenário 3, houve uma diminuição de 57,8% no IAP, significando que a parcela da potencialidade ativada diminuiu.

O IUD também foi reduzido em 30%, com média geral para os açudes de 58,85% contra os 84,50% do Cenário 3. Aqui se nota que a relação demanda/disponibilidade não está em um patamar tão satisfatório como nos Cenários 3 e 4.

A redução nos Índices de Ativação da Potencialidade e de Utilização da Disponibilidade trouxe consigo a redução nos Índices de Utilização da Potencialidade, que ficaram com 9,8% em média. Relativamente ao Cenário 3, essa diminuição foi de 31,75%, revelando que as demandas estão consumindo muito pouco da potencialidade, muito provavelmente porque os pequenos açudes não estão conseguindo suportar as pressões existentes neste cenário.



O Índice  $\eta_U$  ficou com média muito baixa, de apenas 9,8%, sofrendo grande redução comparando com o terceiro cenário, de 31,75%. Isto, certamente acarretará em um aumento nas perdas, seja por evaporação ou por vertimento. O  $\eta_U$  variou entre 1% e 35%, sendo um indicativo da variabilidade na relação área do espelho d'água/profundidade dos açudes.

O  $\eta_E$  diminuiu 12,5%, comparativamente ao Cenário 3. Esta diminuição pode ter sido provocada pela rapidez com que os reservatórios deplecionam seus volumes devido aos consumos. Quanto menos tempo a água permanece armazenada no reservatório, menores serão as perdas por evaporação.

Por outro lado, as perdas por vertimento aumentaram neste cenário em, aproximadamente, 30% em relação ao Cenário 3. O menor valor do  $\eta_V$  foi de 19% e o maior foi de 92%, denotando que as perdas são muito elevadas neste quesito. A média para todos os 20 açudes nos 09 anos pesquisados, foi de 70,3% na relação entre o volume vertido e o volume afluente.

A Figura A.8, nos Apêndices, mostra o comportamento dos reservatórios através dos gráficos da vazão aduzida para irrigação bem como das áreas alocadas para agricultura durante o período analisado, todos gerados pelo modelo de otimização.

Os gráficos da Figura A.8 indicam que as áreas e as vazões liberadas para irrigação foram muito menores se confrontadas com os Cenários 3 e 4. O principal motivo para tal é que a segunda maior prioridade de atendimento é para piscicultura intensiva, que demanda uma vazão bastante considerável. Nos cenários anteriores, a piscicultura praticada era a extensiva, como visto, cujo uso é praticamente não consuntivo.

As Tabelas A.41 a A.60 apresentam os resultados gerados pelo ORNAP para cada um dos açudes durante 09 anos, no Cenário 5.

No Cenário 5 as vazões dispensadas para agricultura são bastante reduzidas e, por conseguinte, a área irrigada diminuiu bastante para todas as culturas.

A receita líquida obtida com a agricultura irrigada foi de R\$ 42.000.000,00 (quarenta e dois milhões de reais), aproximadamente, com uma redução de 80,9% em relação ao Cenário 3. A mão de obra empregada foi de 615.682 diárias nos 09 anos considerados para toda a área irrigada, que foi de 4.316 hectares plantados, contra 3.500.000 diárias e 23.000 hectares do terceiro cenário. Neste cenário o volume total liberado para agricultura irrigada foi de 12 milhões de metros cúbicos de água, reduzindo em mais de 85% o volume utilizado para o Cenário 3.

Os resultados relativos à piscicultura intensiva no Cenário 5, são apresentados na Tabela 6.11, adiante:

Tabela 6.11 – Piscicultura Intensiva para o Cenário 5 – totais para 09 anos

Código dos Açudes	Volume Mínimo (hm <sup>3</sup> /mês)	Área Utilizada (m <sup>2</sup> )	Produção (ton)	Mão de Obra (diárias)	Receita Líquida Anual (R\$)
3	0,2000	318172,9	1272,691	573	2545380,45
44	0,0300	465197,6	1860,79	837	3721580,64
51	0,1500	154279,1	617,1163	278	1234232,64
71	0,1300	217711,8	870,8472	392	1741693,59
72	0,0900	467349,8	1869,399	841	3738800,43
73	0,0800	82724,49	330,898	149	661795,92
75	0,0400	302358,4	1209,434	544	2418870,6
132	0,0900	103307,4	413,2296	186	826457,58
144	0,1500	70577,73	282,3109	127	564620,22
181	0,7200	810000	3240	1458	6479999,19
184	0,2500	458997	1835,988	826	3671976,24
191	0,0600	98706,6	394,8264	178	789654,42
238	0,1500	530840,8	2123,363	956	4246723,89
248	0,1800	406393,2	1625,573	732	3251143,98
255	0,0800	125913,7	503,6548	227	1007308,71
277	0,0400	68952,87	275,8115	124	551625,39
401	0,0300	586126,5	2344,506	1055	4689013,86
433	0,0300	360997,6	1443,99	650	2887978,86
438	0,0800	553497,3	2213,989	996	4427980,02
628	0,0900	810000	3240	1458	6479999,19
<b>TOTAIS</b>			<b>27.968,42</b>	<b>12.586</b>	<b>55.936.835,82</b>

Filho *et al* (2003) estabelecem que a mão de obra necessária para produzir em 2 hectares de viveiros é de 32 dias-homem para um ciclo de 8 meses, incluindo-se pessoal para serviços de distribuição de calcário, povoamento, alimentação, coletas de amostras de peixes, despesa, operação de equipamentos e vistoria diária, além do pessoal fixo da administração e gerência. Como o ciclo aqui adotado é de 1 ano para que os animais atinjam um peso maior (entre 800g e 1kg), estabeleceu-se uma mão de obra de 18 homens/ha/ano.

Portanto, é possível empregar 12.586 postos de trabalho ao final de nove anos de exercício da piscicultura em tanques de terra. Esse é um número bem mais expressivo que os 717 trabalhadores empregados pela piscicultura extensiva no Cenário 4.

A produção de peixes neste cenário foi de 27 mil toneladas, considerando-se uma produtividade de 4 kg/m<sup>2</sup>, haja vista a densidade de 5 peixes/m<sup>2</sup> em tanques-padrão de 0,3 hectares, totalizando 15000 peixes/tanque, e com peso médio de despesa de 0,800 kg.

Ao final do período estudado, a renda total líquida possível de ser extraída da atividade de piscicultura neste cenário foi de R\$ 56.000.000,000 (cinquenta e seis milhões de reais), aproximadamente.

O Quadro 6.3 sintetiza os resultados gerados pelo ORNAP nos itens Receita Líquida e Mão de Obra para o Cenário 5.

Quadro 6.3 – Resultados da receita líquida e mão de obra para o Cenário 5 – totais para 09 anos

<b>Cenário 5</b>	Receita Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)
Agricultura Irrigada	42035625,84	615682
Piscicultura Intensiva	55.936.835,82	12586
<b>TOTAIS</b>	<b>97.972.461,66</b>	<b>628268</b>

O quinto cenário, representado pelas demandas de abastecimento humano e animal, piscicultura intensiva e agricultura irrigada, demonstrou não possuir desempenho semelhante aos Cenários 3 e 4 com relação aos resultados de Receita Líquida e Mão de Obra alocada sendo, portanto, uma opção menos vantajosa quanto aos aspectos sociais e econômicos. O número de falhas e o risco de que ocorram aumentaram com relação ao cenário precedente, denotando mais um ponto negativo. Outro fator negativo foi a demora em se recuperar, mormente do açude 72, quando entra em estado de falha, o que pode trazer interrupção ou diminuição em um dos usos por um período médio de 9 meses.

## 6.7 ANÁLISE CONCLUSIVA DOS CENÁRIOS

Foi possível verificar que a potencialidade dos reservatórios está subutilizada em todos os reservatórios estudados, sem probabilidade de ocorrência de falhas no atendimento das demandas para o Cenário 1, que abrangia apenas as demandas de abastecimento humano e animal. Como consequência, foi possível identificar através do uso do modelo muitas perdas por evaporação e por vertimento, refletidos pelos índices  $\eta_V$  e  $\eta_E$  apresentados. Apesar da grande disponibilidade de água, as demandas propostas para o cenário padrão não são capazes de utilizá-la convenientemente, provocando baixos valores nos Índices de Utilização da Disponibilidade.

Por sua vez, observou-se que o Cenário 2, apesar de contar com o acréscimo de uma demanda para gerar aproveitamento econômico do sistema hídrico, também não foi capaz de aproveitar adequadamente a potencialidade dos reservatórios, apresentando baixos indicadores de desempenho. A piscicultura extensiva, embora tenha um produto pouco competitivo no mercado, é uma atividade não consuntiva e que prescinde de mão de obra qualificada, de adubação e de adição de ração, sendo uma atividade já praticada na região, embora ainda de maneira bastante precária. Comparativamente ao Cenário 1, praticamente não houve melhoria nos índices IAP, IUP e IUD. De igual modo, as perdas por evaporação e por vertimento permaneceram elevadas e não se vislumbra perigo de ocorrência de falhas no atendimento. Aproximadamente R\$ 3.700.000,00 (três milhões e setecentos mil reais) podem ser obtidos com a exploração da piscicultura extensiva ao longo dos nove anos analisados, gerando quase 750 postos de trabalho.

Assim, é possível afirmar que o acréscimo da piscicultura extensiva é plenamente viável para o sistema hídrico dos pequenos açudes, haja vista não representar risco para o atendimento das demandas prioritárias, além de gerar emprego e riqueza para a região.

Quanto ao Cenário 3, percebe-se que com a entrada de mais uma demanda no sistema, a pressão sobre os recursos hídricos se tornou mais importante. Como visto no Cenário 2, apesar da perspectiva de criação de postos de trabalho e renda não se perceberam melhoras nos índices de desempenho e eficiência do sistema. Os resultados obtidos para o terceiro cenário mostram que todos atenderam plenamente às demandas, com exceção do açude de código 72. Porém, também foi visto que quase todos os açudes atingiram a cota de volume morto em quase todos os anos, indicando que nos períodos de estiagem é praticamente inviável a exploração econômica através da agricultura e da piscicultura extensiva, sendo liberadas vazões apenas para abastecimento humano e animal. Quanto às perdas no sistema, todavia tenham diminuído, ainda perseveram elevadas provavelmente devido às condições climáticas e à geometria dos açudes, já relacionadas.

Também se percebeu que algumas culturas são extremamente vantajosas em comparação com as demais para serem praticadas no sistema, como é o caso do feijão, repolho, cebola e alface, cujos resultados foram bem mais expressivos em termos de receita líquida e mão de obra. A receita líquida auferida com a agricultura irrigada após a otimização dos reservatórios no Cenário 3, superou em muito o cenário anterior, correspondendo a R\$ 220.500.000,00 (duzentos e vinte milhões e quinhentos mil reais) ao final do recorte temporal estudado, gerando 3.500.000 diárias. No tocante à piscicultura extensiva, a receita

líquida gerada foi de cerca de R\$ 2.000.000,00 (dois milhões de reais), com criação de 343 postos de trabalho em nove anos.

Já no Cenário 4, onde houve uma inversão na prioridade de atendimento entre a agricultura irrigada e a piscicultura extensiva, se observaram diferenças no comportamento do sistema com relação aos índices de desempenho e de eficiência associados aos reservatórios. Não se observaram falhas no quarto cenário, havendo plenitude de atendimento das demandas com índice Confiabilidade de 100% para todos os reservatórios. O número de vezes que os açudes atingiram a cota de volume morto foi praticamente zerado, indicando que este cenário é mais seguro que o anterior, não obstante as perdas sejam mais elevadas, naturalmente. Da mesma forma que ocorreu no Cenário 3, algumas culturas sofreram restrição em sua irrigação, chegando a não receber água em determinados meses. As culturas perenes também não se mostraram viáveis por necessitar de vazão o ano todo e serem, relativamente às outras, pouco rentáveis.

A receita líquida obtida com a agricultura irrigada e com a piscicultura extensiva no quarto cenário foi de R\$ 174.000.000,00 (cento e setenta e quatro milhões de reais), aproximadamente, gerando cerca de 2.500.000 (dois milhões e quinhentos mil) postos de trabalho (diárias).

Em comparação com o Cenário 3, é possível verificar que o quarto cenário apresenta menor ganho socioeconômico com relação aos aspectos de renda líquida e geração de empregos, além de ocorrerem maiores perdas. Entretanto, é um cenário mais seguro, pois diminui os riscos de ocorrerem falhas no atendimento das demandas prioritárias, o que é extremamente relevante nessas comunidades que dependem quase que exclusivamente dos açudes como fonte de sobrevivência, consoante visto no Capítulo III.

O último cenário propôs a inclusão da piscicultura intensiva no sistema, cujo potencial de produção é bem mais relevante que a extensiva, além de ter mais competitividade no mercado e gerar mais empregos, embora também mais especializados. Um primeiro ponto observado no Cenário 5 é que houve falhas no atendimento das demandas em três reservatórios. Em um deles, de código 72, o índice Resiliência foi muito baixo, apontando uma demora considerável para o sistema se recuperar. As perdas foram importantes neste cenário e indicam que as demandas utilizam de forma menos eficiente a potencialidade dos reservatórios, comparando-se com os Cenários 3 e 4.

Quanto às vazões liberadas para irrigação, em confronto com os Cenários 3 e 4, foram muito menores, haja vista as vazões elevadas exigidas pela piscicultura intensiva. Isto

---

representou uma diminuição drástica na receita líquida obtida com a agricultura irrigada, com relação aos cenários anteriores, gerando apenas R\$ 42.000.000,00 (quarenta e dois milhões de reais) após o período de tempo estudado. No total, somando-se a agricultura irrigada e a piscicultura intensiva, o Cenário 5 foi capaz de gerar apenas 628.268 postos de trabalho e cerca de R\$ 98.000.000,00 (noventa e oito milhões de reais).

Desta maneira, afirma-se que o quinto cenário não apresentou desempenho equivalente ao terceiro e quarto cenários, cujos resultados foram bem mais importantes em termos econômicos e sociais para a região envolvida pelos vinte pequenos açudes escolhidos para este trabalho.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O enfoque deste estudo foi a aplicação de um modelo de otimização baseado em programação linear para maximizar os ganhos socioeconômicos da região da bacia hidrográfica do açude de Sumé, verificando onde estão ocorrendo perdas no sistema e propondo mudanças na forma de se utilizar a água.

A análise multiobjetiva foi realizada nos 20 reservatórios selecionados para um recorte temporal de nove anos, permitindo identificar em qual dos cenários (propostos no capítulo 4) existe maior aproveitamento das vocações econômicas e da mão de obra disponível.

O modelo adotado mostrou-se adequado para o problema proposto, contemplando os fatores hidroclimáticos, dados dos reservatórios, demandas, dados dos perímetros irrigados, características das culturas agrícolas, de forma que foi capaz de determinar uma política operacional ótima em cada cenário para o sistema integrado de açudes dentro de um tempo computacional irrisório (cerca de 1 minuto para cada cenário).

Através da análise dos resultados fornecidos pelo modelo de otimização adotado, observou-se que o sistema hídrico formado pelos pequenos açudes na bacia de Sumé está sendo utilizado de maneira inadequada, verificando-se muitas perdas e baixo aproveitamento do potencial hídrico para a geração de riqueza e desenvolvimento social, motivados principalmente pela cultura da região que teme pela estiagem e que, por isso, utiliza a água apenas para as necessidades básicas, para dessedentação de animais e para atividades de subsistência, como piscicultura extensiva e agricultura familiar, embora de maneira muito precária. Por outro lado, o poder público ainda não estabeleceu uma política capaz de aperfeiçoar e fomentar as atividades rurais e gerar desenvolvimento socioeconômico para a região estudada.

Evidentemente que existem algumas fontes de erro nos dados e nas hipóteses adotadas que devem ser corrigidas, mas que de forma alguma invalidam o escopo deste trabalho. Uma dessas fontes ocorreu devido à inexistência de dados hidrometeorológicos referentes aos pequenos açudes da bacia e que, por sua vez, tiveram que ser estimados através dos métodos apresentados no Capítulo V e do modelo chuva-vazão utilizado (SMAP). Outra fonte provável de erro corresponde à estimativa populacional, baseada no critério da área de influência dos açudes, onde se considerou um percurso razoável médio para a locomoção dos

indivíduos das suas residências até os reservatórios para buscar água. Também é possível considerar que os dados referentes ao volume inicial dos reservatórios foi uma provável fonte de erro, pois não se dispunham desses dados, já que os volumes iniciais foram estimados conforme explicado no item 5.2.1. Não sendo assim, esses dados teriam que ser colhidos no primeiro dia do mês inicial da série.

Finalmente, este estudo forneceu subsídios para a escolha de uma alternativa de alocação dos recursos hídricos a ser implantada para os pequenos açudes, cujos benefícios poderiam ser auferidos a médio e longo prazo. Cabe ao gestor público e a população envolvida optar por um cenário mais arrojado, como é o caso do terceiro, ou por um cenário mais conservador, cujos riscos são pequenos, porém com menor desempenho, como o Cenário 4.

Como recomendações para trabalhos futuros, destacam-se:

- Incorporação da análise multicriterial, destacando-se fatores econômicos, sociais, ambientais, políticos e culturais;
- Elaboração de um modelo de outorga baseado na análise multiobjetivo e multicriterial dos usos múltiplos;
- Elaboração de um modelo de cobrança baseado na análise multiobjetivo e multicriterial dos usos múltiplos;
- Avaliação dos impactos que os pequenos açudes geram nos açudes maiores à jusante;
- Ampliação do período investigado, inclusão de demandas futuras de abastecimento humano e seleção de culturas mais adaptadas à região;



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Resumo Executivo e Atlas, 2006.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. E SANTOS, J. R. **Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 6, nº 1, 2002.

ATECEL. **Estudo técnico integrado sobre o uso múltiplo dos recursos hídricos da bacia hidrográfica Sucurú**. Campina Grande, 1993.

BARBOSA, Roberta Lima. **Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial. Estudo de Caso: Reservatório Coremas-Mãe D'Água - PB**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

BARBOSA, P. S. F. **Modelos de programação linear em recursos hídricos**. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2ª Edição. Editora da UFRGS-ABRH, p. 97-163. Porto Alegre-RS, 2002.

BARROS, Sâmea Valensca Alves. **Otimização dos usos múltiplos em pequenos açudes na bacia do açude de Sumé-PB**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

BENAYOUN, R.; MONTGOLFIER, J.; TERGNY, J.; LARITCHIEV, O. **Linear programming with multiple objective functions: step method**. mathematical programming, North-Holland Publishing Company. V.1, nº 3, p. 366 – 375, 1971.

BRAGA B., BARBOSA, P. S. F. & NAKAYAMA, P. T. **Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos**. RBRH, v. 3, nº 3. São Paulo-SP, 1998.

BRAGA JUNIOR, B. P. F. **Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos**. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Ed. Nobel: ABRH. Cap.5, p.427 – 517. São Paulo-SP, 1987.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. **A Preference Ranking Organisation Method**. The Institute of Management Science, V. 31, n.6, p. 647 – 656. Brussels, 1985.

BRAVO, J. M., COLLISCHONN, W., PILAR, J. V. **Otimização da operação de reservatórios: estado-da-arte**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa. CD-ROM.

CADIER, E. **Hidrologia das pequenas bacias do nordeste semiárido – transposição hidrológica**. SUDENE, Recife, 373 p., 1994.

CELESTE, A. B. **Determinação e análise de indicadores e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do Rio Piancó – PB e de suas potenciais demandas.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, UFPB. Campina Grande-PB, 2006.

CHARNES, A.; COOPER, W. **Management models and industrial applications of linear programming.** John Wiley, v. 1. New York, 1961.

COLLISCHONN, Walter, TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia.** IPH, UFRGS. Porto Alegre, 2011.

COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; PILAR, J. V. **Otimização da operação de reservatórios: estado da arte.** In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa-PB, 2005. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/ClimaRH/download/PAP0372-juan%20martin.pdf>>. Acesso em 19 de outubro de 2011.

COTRIN, Décio. **Piscicultura: manual prático.** Ed. Revisada, 2002. EMATER, Porto Alegre, 1995

CURI, W. F.; CURI, R. C. **Optimal Reservoir Network Analysis Program.** In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. CD – ROM, Aracaju, 2001.

CURI, R. C.; CURI, W. F.; OLIVEIRA, M. B. A. **Análise de alterações na receita Líquida de um Perímetro Irrigado no Semi-árido sob Condições de Variações Hídricas e Econômicas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 9, n. 3, p. 39-53. São Paulo-SP, 2005.

CURI, W. F., CURI, R. C. **Notas de aula da disciplina Engenharia de Recursos Hídricos: introdução ao estudo de demandas d'água.** UFCG, Campina Grande-PB, 2004.

CURI, W. F., CURI, R. C. & BATISTA, A. C. **Alocação ótima da água do reservatório Engenheiro Arco Verde para irrigação via Programação Não-Linear.** XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória-ES, 1997.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. **Perímetro irrigado sumé.** Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/pb/sume.htm](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/pb/sume.htm)>. Acesso em 20 de outubro de 2011.

FEITOSA, Nilson de Brito; FILHO, Carlos Fernandes de Medeiros. **Abastecimento de água no meio rural.** Treinamento de Curta Duração em Saneamento Rural, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, ano (?).

FRANCATO, A. L.; BARBOSA, P. S. F. **Programação ótima da operação energética de sistemas hidroelétricos.** In: XVII Congresso Latino-Americano de Hidráulica. Guayaquil, Equador, 1996.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** 3 ed. Editora Universitária – UFPB, Campina Grande-PB, 1999.

HAIMES, Y. Y.; HALL, W. A. **Multiobjectives in water resources systems analysis: the surrogate worth trade off method.** Water Resources Research. Vol. 10, nº.4, p. 615 – 624. 1974

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. **Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation.** Water Resources Research, Vol. 18, nº1, p. 14-20. 1982.

HISSL, H.; DUCKSTEIN, L; PLATE, E. J. **Multiobjective Q-analysis with concordance and discordance concepts.** Applied Mathematics and Computation, v.17, p. 107 – 122. 1985.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 08.11.11

KEENEY, R.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs.** Cambridge University Press. Canadá, 569 p. 1993.

LABADIE, J. W. **Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review.** Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 130, nº. 2, p. 93-111. 2004.

LANNA, A. E. **Análise de sistemas e engenharia de recursos hídricos.** In: Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre-RS, 1997.

LIMA, H. V. C., LANNA, A. E. L. **Modelos para operação de sistemas de reservatórios: atualização do estado da arte.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.10, nº. 3, p.5-22. São Paulo-SP, 2005.

LIMA, T. A. S.; FAVERO, L. A.; GOULART, D. F.; ALVES, R. S.; SILVA, A. F. G; SANTOS, P. M. **Cadeia Produtiva da Piscicultura: estudo de caso no município de Sapé-PB.** X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, JEPEX, UFRPE, Recife, 2010.

LOPES, J. E. G.; BRAGA JR. B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **Simulação Hidrológica:Aplicação de um Modelo Simplificado.** In: Anais do IV Simpósio de Hidrologia e Recursos Hídricos. Fortaleza, 1981.

LOUCKS, D. P. **Sustainable water resources management.** Water International Resource Association, v. 25, n. 1 p. 3-10. 2000.

MARZALL, K. & ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas.** Seminário Internacional sobre Potencialidades e Limites do Desenvolvimento Sustentável. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, 1999.

MAUAD, F. F. **Planejamento integrado de recursos hidroenergéticos: o confronto de usos múltiplos da água no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em Portugal.** Tese de Doutorado, 182 p., Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2000.

MOLLE, François; CADIER, Eric. **Manual do pequeno açude.** SUDENE-DPG-PRN-DPP-WR. Recife-PE, 1992.

ONO, Eduardo Akifumi; CAMPOS, João; KUBITZA, Fernando. **Construção de viveiros e de estruturas hidráulicas para o cultivo de peixes**. Revista Panorama da Aquicultura, Vol. 12, nº 74, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, J. A.; LANNA, A. E. L. **Otimização de um sistema de reservatórios atendendo a múltiplos usos no nordeste brasileiro**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 2, n.2, p. 123-141. São Paulo-SP, 1997.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. João Pessoa, Paraíba, 2004.

PHILIP, J. **Algorithms for the vector maximization problem**. Mathematical Programming, Vol. 2, nº 2. 1972.

RIBEIRO, M. M. R. **Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação**. UFPB – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 171p. Campina Grande-PB, 1990.

ROY, B. **Problems and methods with multiple objective functions**. Mathematical Programming, v.1, n.2, p. 239 – 266. 1971.

SAATY, T. L. A Scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, Vol.15. 1977.

SANTOS, F. A.; SILANS, A. M. B. P.; PORTO, R. Q.; ALMEIDA, C. N. **Estimativa e Análise do Volume dos Pequenos Açudes através de Imagens de Satélite e Levantamento de Campo na Bacia Hidrográfica do Açude de Sumé**. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande. Disponível em: <<http://dispab.lrh.ct.ufpb.br/documents/30.html>>. Acessado em 13 de outubro de 2011.

SANTOS, V. S.; VIEIRA, A. S.; CURI, W. F., CURI, R. C. **Otimização multiobjetivo plurianual e integrada dos recursos hídricos dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo no semiárido paraibano**. In: Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. CD - ROM. Salvador-BA, 2008.

SANTOS, V. S. **Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistemas de Recursos Hídricos**. Campina Grande: UFPB – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Dissertação de Mestrado. 143p, 2007.

SILANS, A. M. B. P.; QUEIROZ, Renato; SANTOS, F. A.; SILVA, A. C. S. **Relatório projeto DISPAB**. UFPB/AESA, 2009. Disponível em: <<http://dispab.lrh.ct.ufpb.br>>. Acessado em 22 de setembro de 2011.

SILVA, A. C. S. **Metodologias para definição da disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas na região semiárida**. Projeto DISPAB-SA, 2010.

SILVA, A. C. S.; SILANS, A. M. B. P.; NETO, A. F. S.; PORTO, R. Q. **Considerações sobre os aspectos sociais e físicos da açudagem na bacia do açude de Sumé - PB**. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande-MS, 2009.

SILVA, L. F. D. **Avaliação de Unidades Produtivas da Agricultura Familiar no Perímetro Irrigado de Sumé - PB.** UFCG – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Drenagem, Dissertação de Mestrado. Campina Grande-PB, 2006.

SIMONOVIC, S. P.; BURN, D. H. **An improved methodology for short-term operation of a single multipurpose reservoir.** Water Resource Research. Vol. 25, nº 1. 1989.

SIMONOVIC, S. P. **Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice.** Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 118, nº 3, p. 262-280. 1992

SOUZA FILHO, J.; SCHAPPO, C.L.; TAMASSIA, S.T. J. **Custo de produção do peixe de água doce.** Ed. rev. Instituto Cepa/SC/ Epagri. Florianópolis-SC, 2003.

SRINIVASAN, K., NEELAKANTAN, T.R.; NARAYAN, P.S.; NAGARAJUKUMAR, C. **Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization.** Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 125, nº 5, p. 298-301. Set./Out. 1999.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ Associação brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

VIEIRA, V. P. P. B. **Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Vol. 1, nº 1, p.91-107. São Paulo-SP, 1996.

WURBS, R. A. **Reservoir-system simulation and optimization models.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 119, n. 4, p.455-472, 1993.

WURBS, R. A. **Modeling and analysis of reservoir system operations.** Editorial Prentice-Hall, Inc. 356p. 1996.

WURBS, R. A. **Comparative evaluation of generalized river/reservoir system models.** Technical Report n. 282. Texas Water Resources Institute. 2005

YEH, W. W-G. **Reservoir management and operation models: a state-of-the-art review.** Water Resources Research. Vol. 21, nº 12, p.1797-1818. 1985.

YU, P. **A class of decision problems for group decision problems.** Management Science, n. 19, p. 936 – 946. 1973.

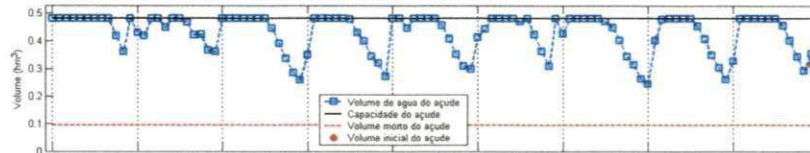
ZADEH, L. A. **Optimality and no scalar valued performance criteria.** IEEE Transactions on Automatic Control. Vol. 8, n. 1, p. 59 – 60. 1963.

## **APÊNDICE**

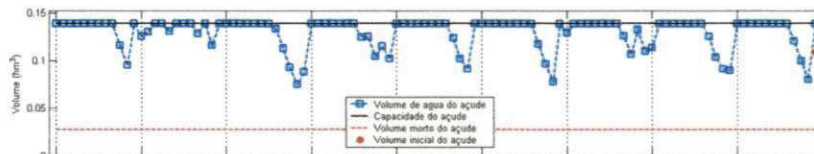
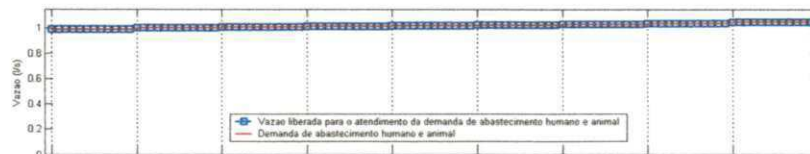
### **Gráficos e Tabelas dos Resultados e Análises (Capítulo VI)**

# Cenário 1

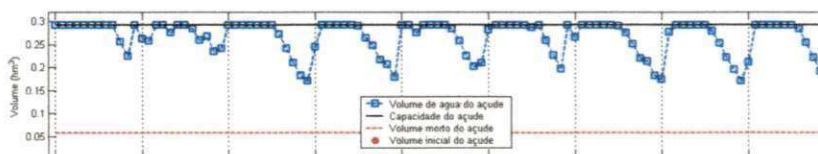
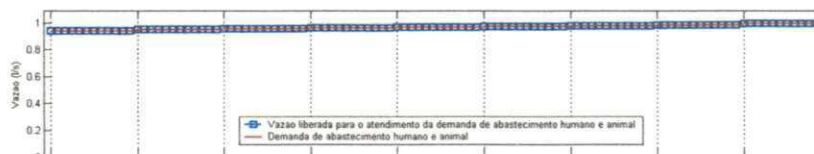
## Açude 03



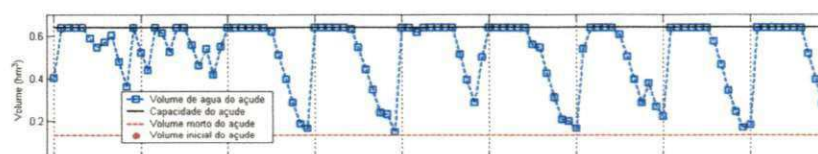
## Açude 44



## Açude 51

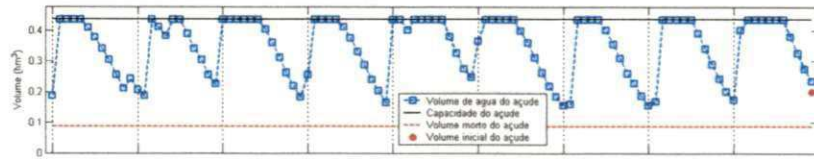


## Açude 71

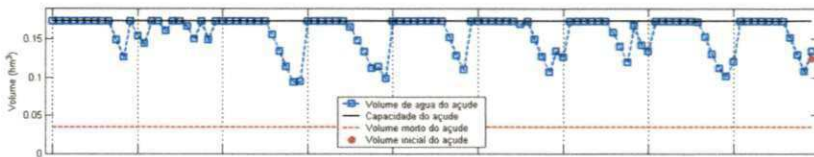
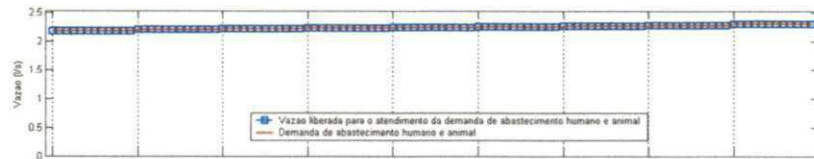




### Açude 72



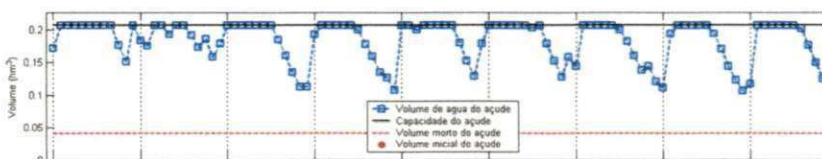
### Açude 73



### Açude 75

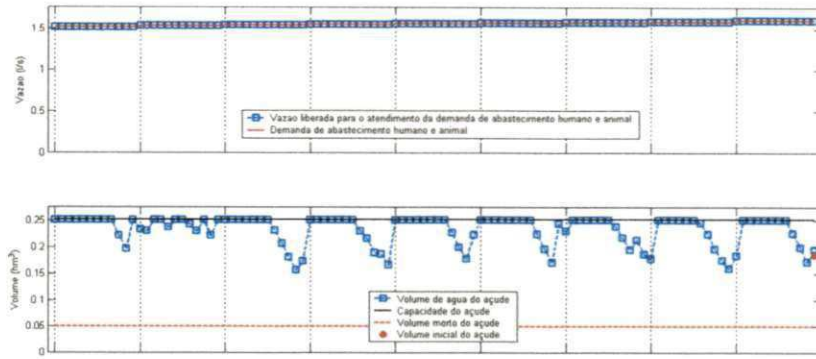


### Açude 132

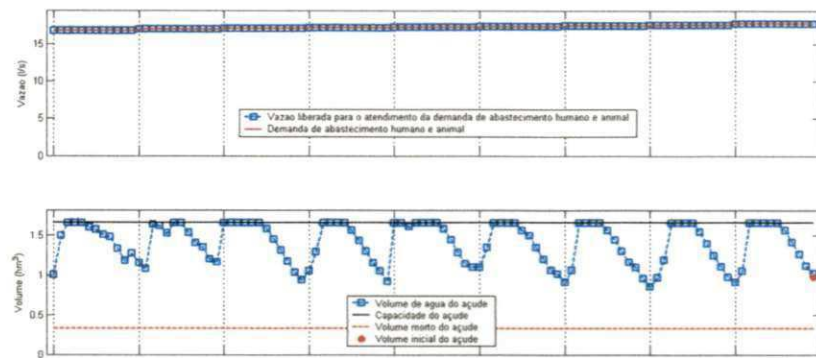




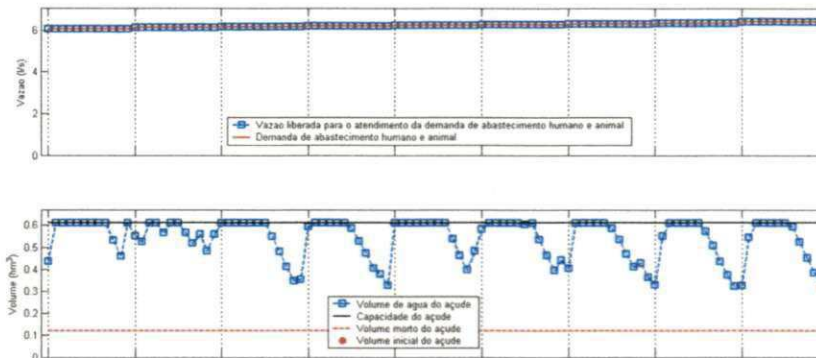
### Açude 144



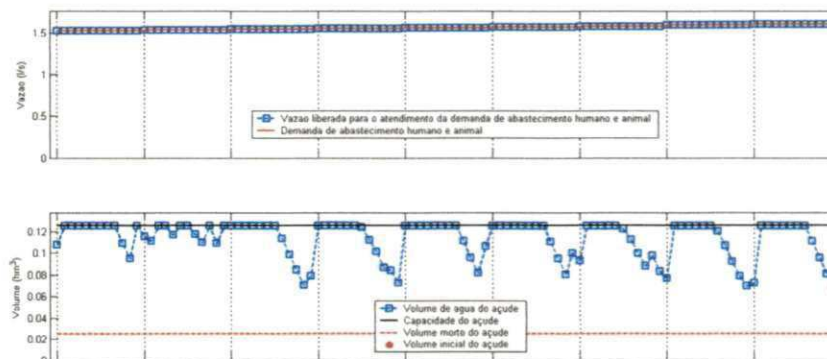
### Açude 181



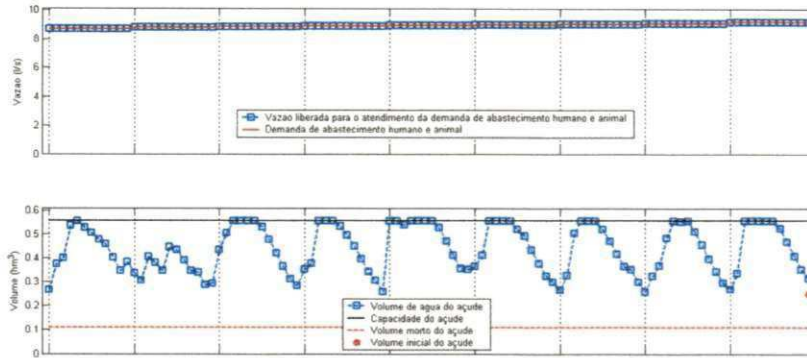
### Açude 184



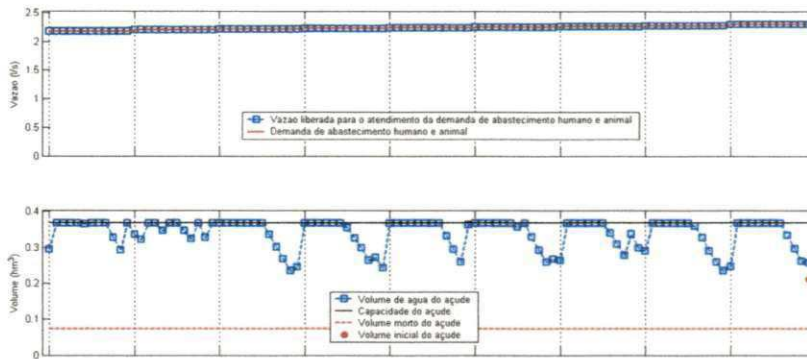
### Açude 191



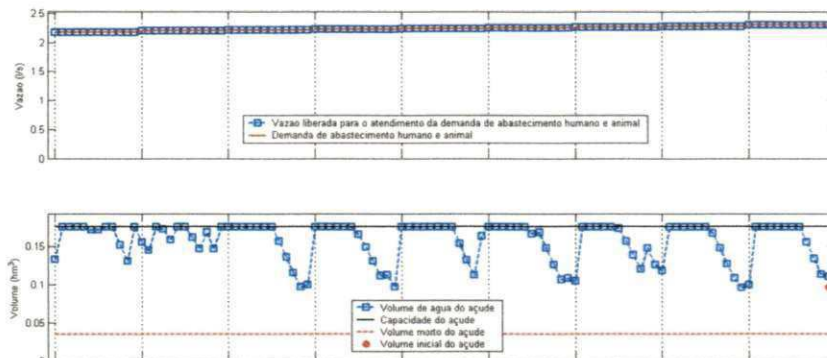
### Açude 238



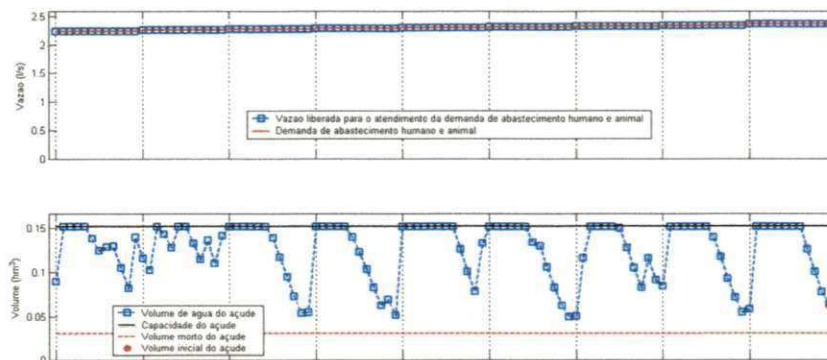
### Açude 248



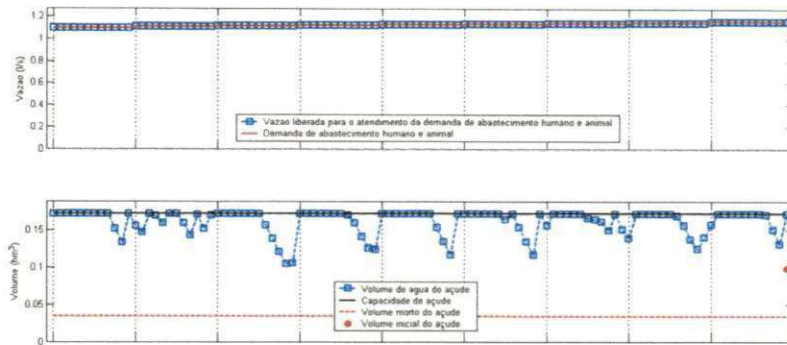
### Açude 255



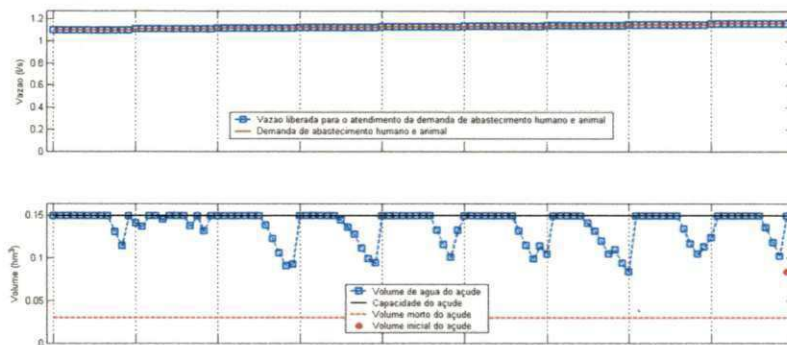
### Açude 277



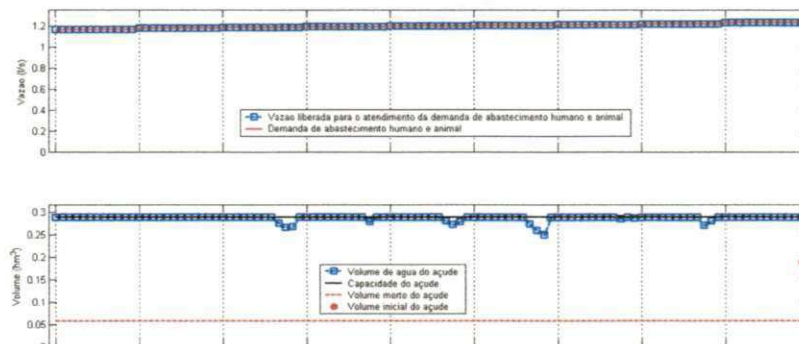
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

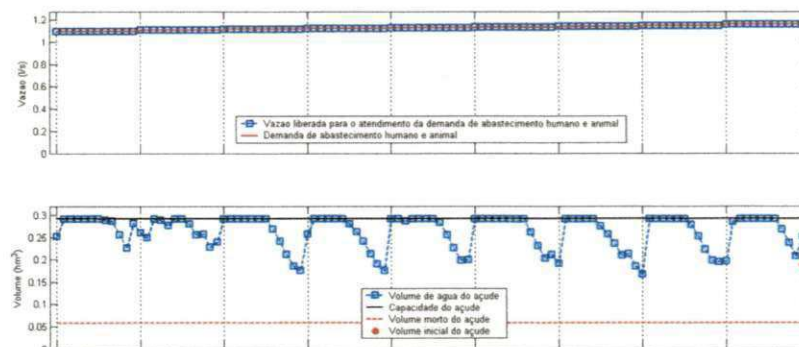
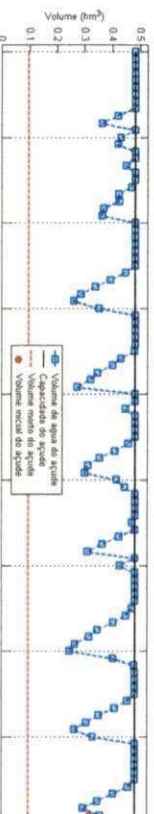
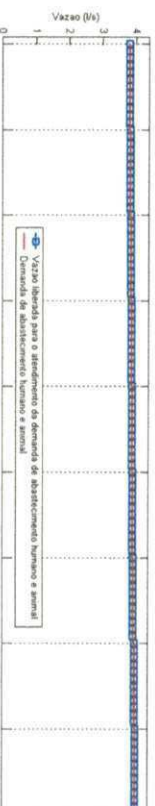


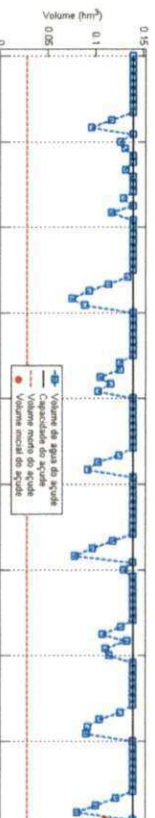
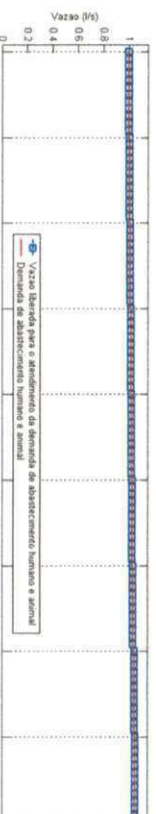
Figura A.1: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 1 e do volume mensal de água dos açudes.

## Cenário 2

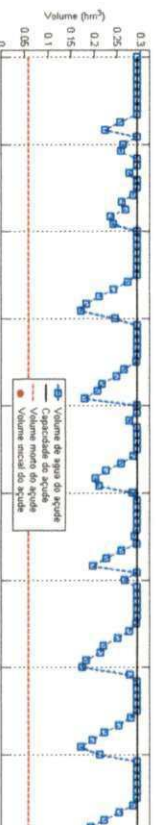
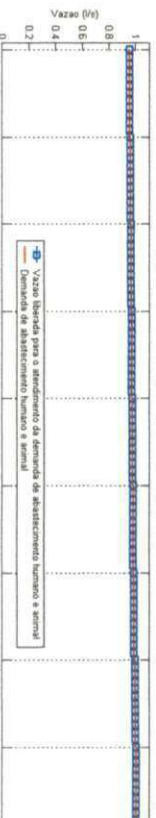
### Açude 03



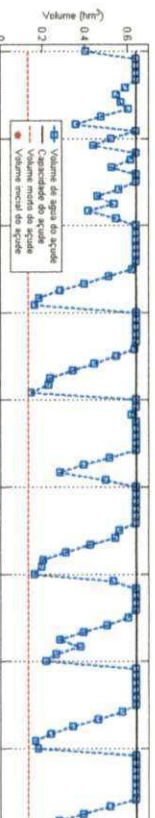
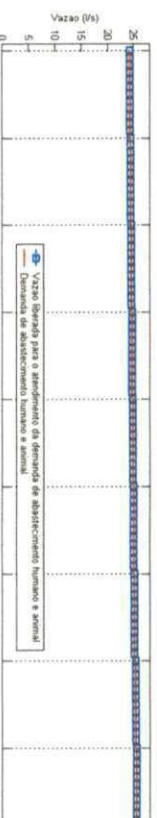
### Açude 44



### Açude 51

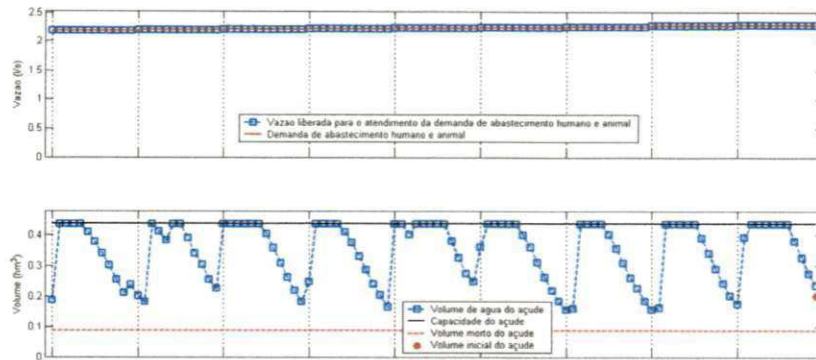


### Açude 71

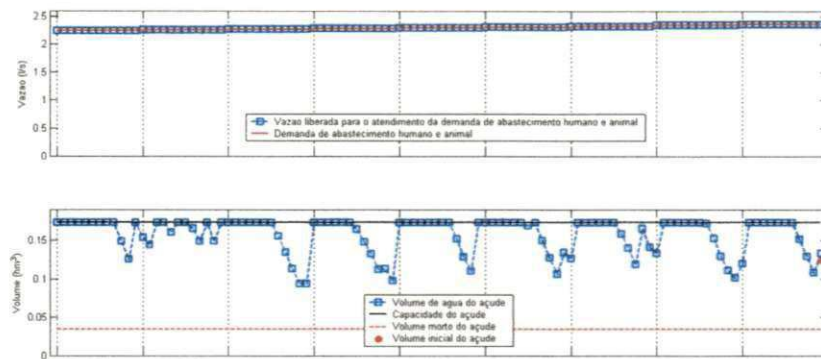




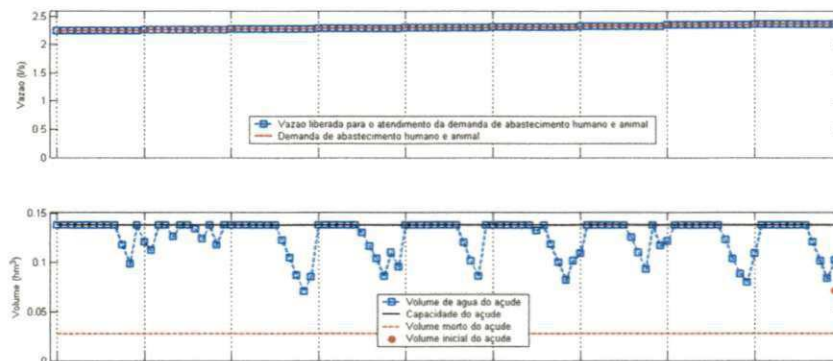
### Açude 72



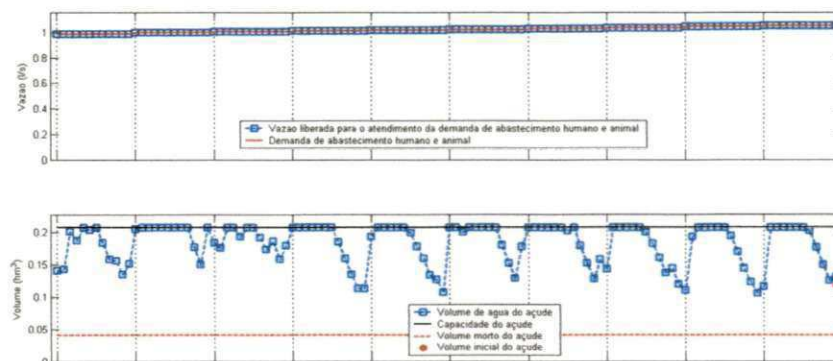
### Açude 73



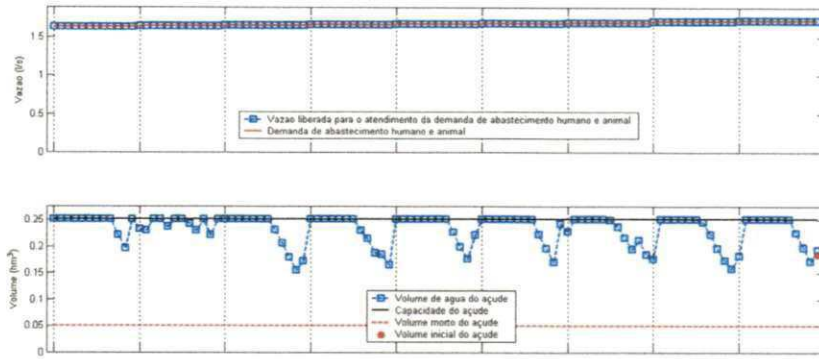
### Açude 75



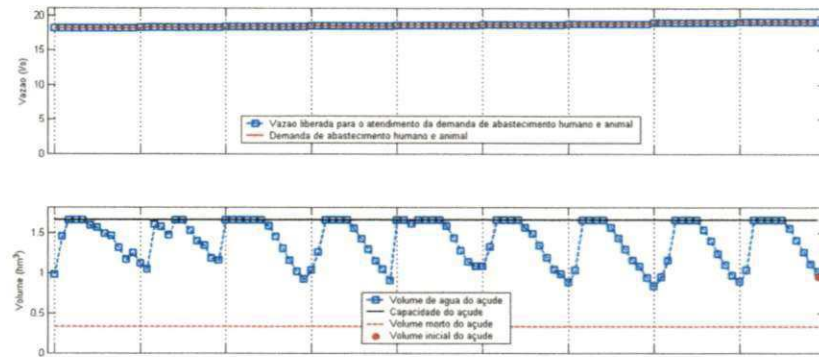
### Açude 132



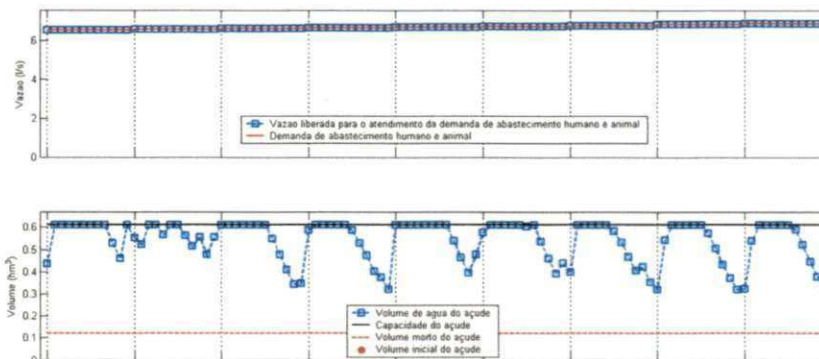
### Açude 144



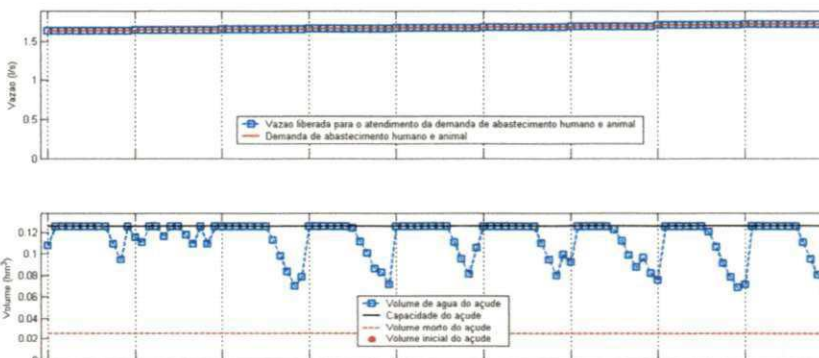
### Açude 181



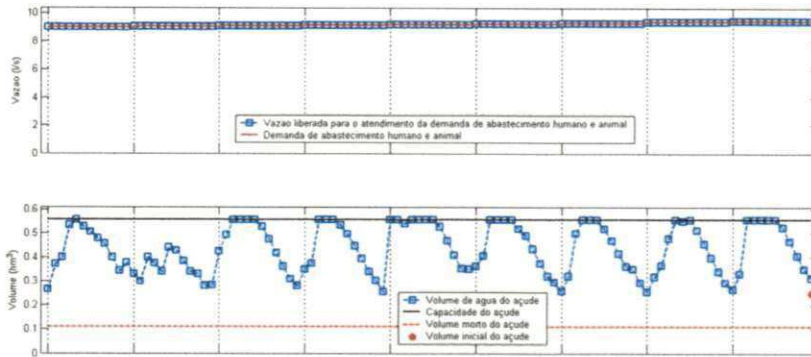
### Açude 184



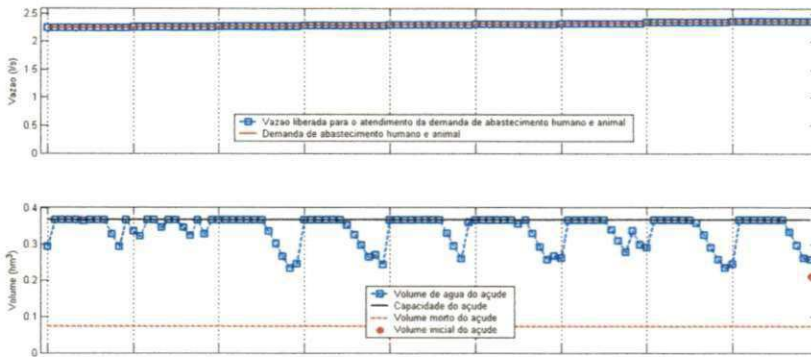
### Açude 191



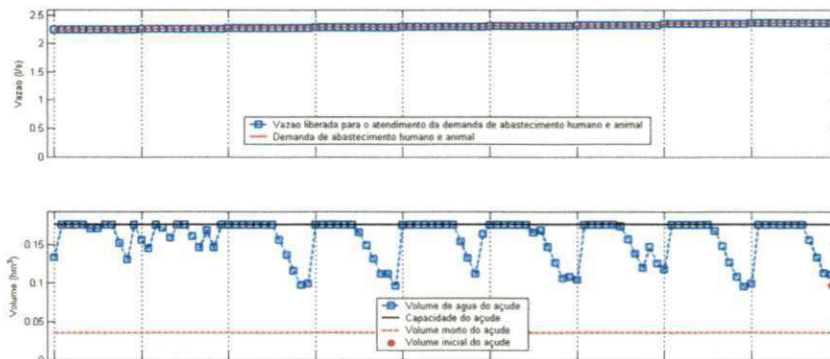
### Açude 238



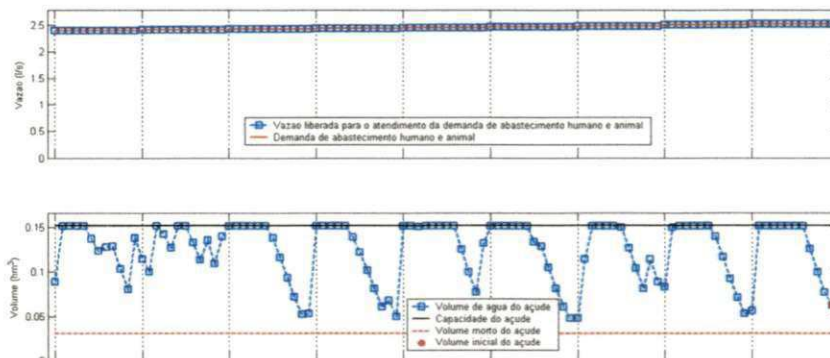
### Açude 248



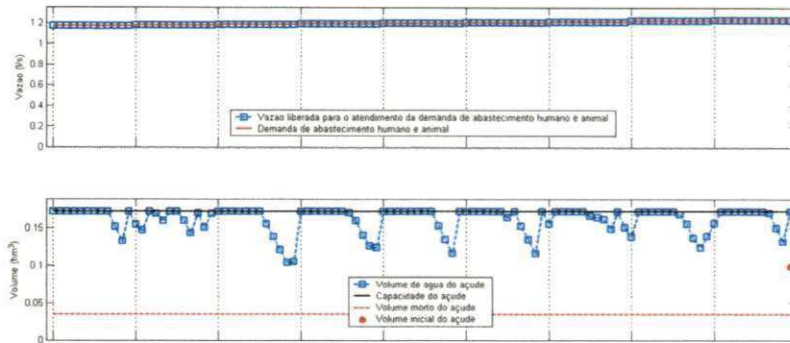
### Açude 255



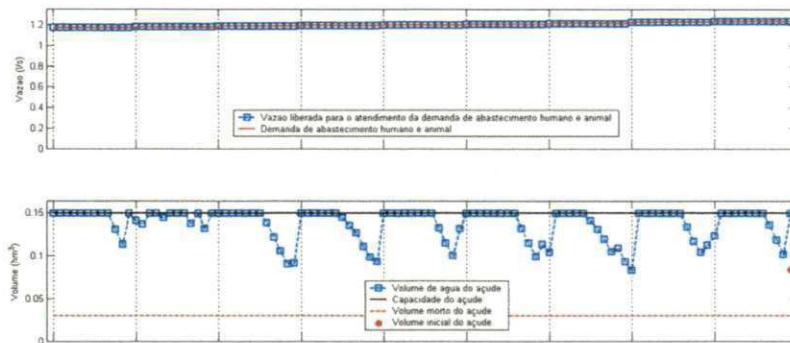
### Açude 277



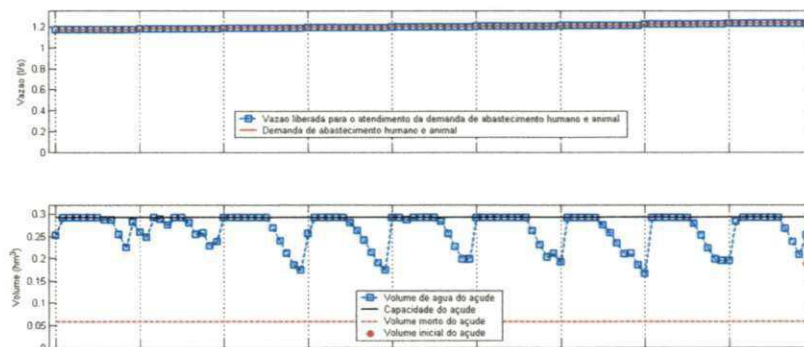
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

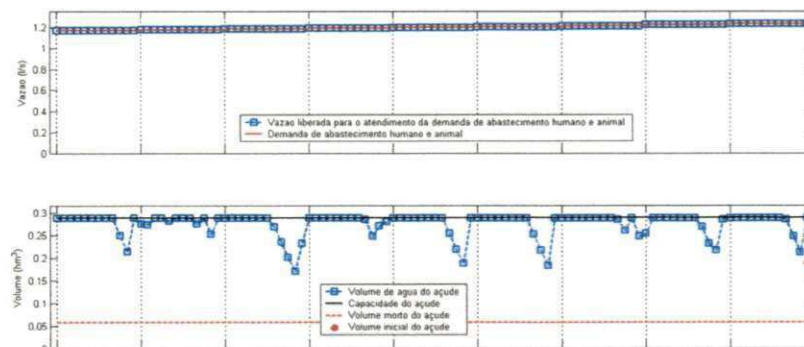
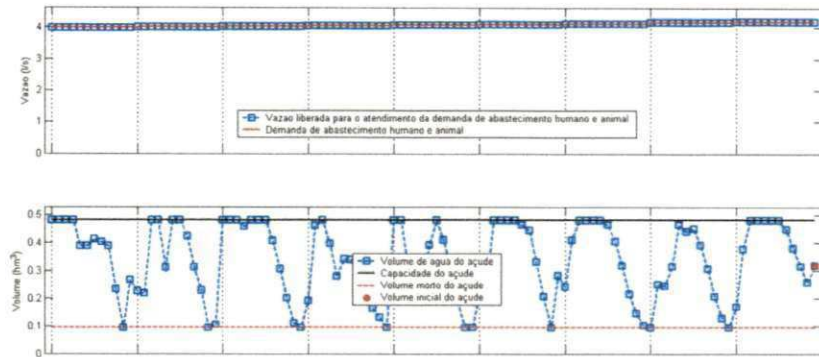


Figura A.2: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 2 e do volume mensal de água dos açudes.

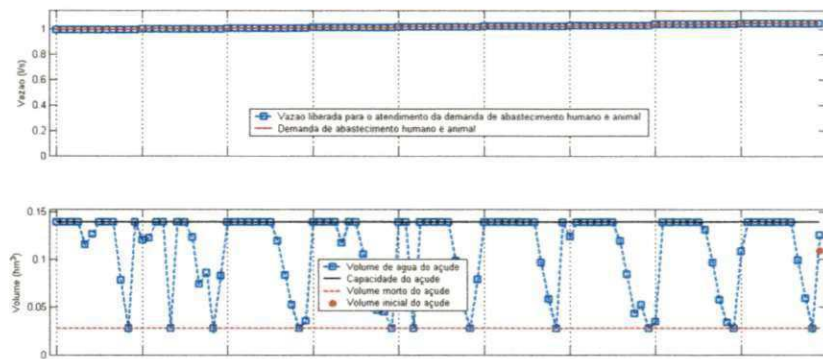


### Cenário 3

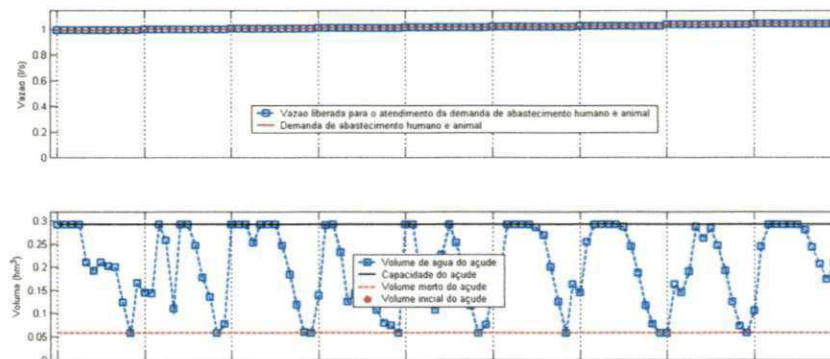
#### Açude 03



#### Açude 44



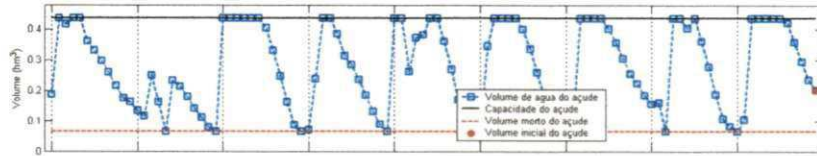
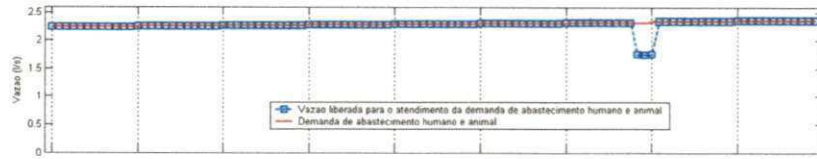
#### Açude 51



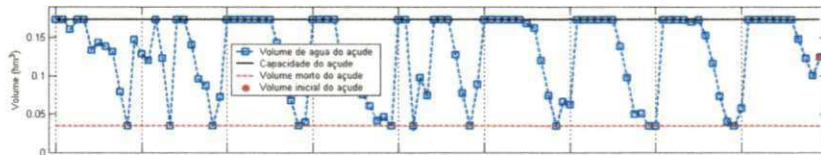
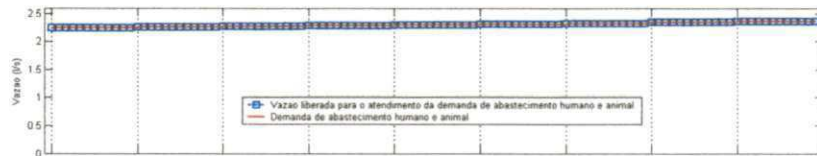
#### Açude 71



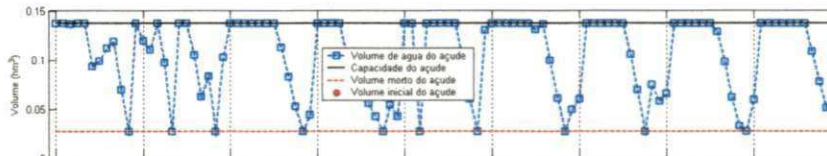
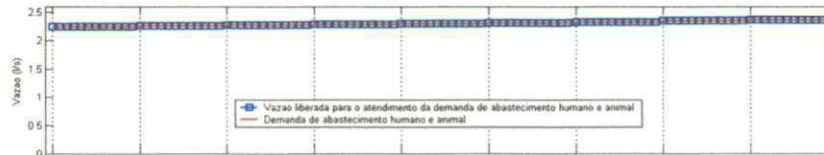
### Açude 72



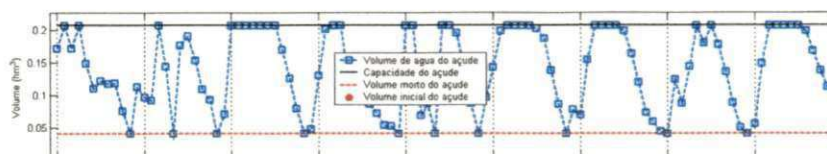
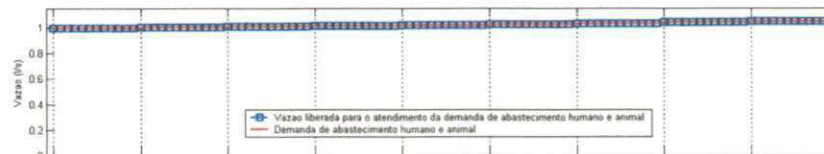
### Açude 73



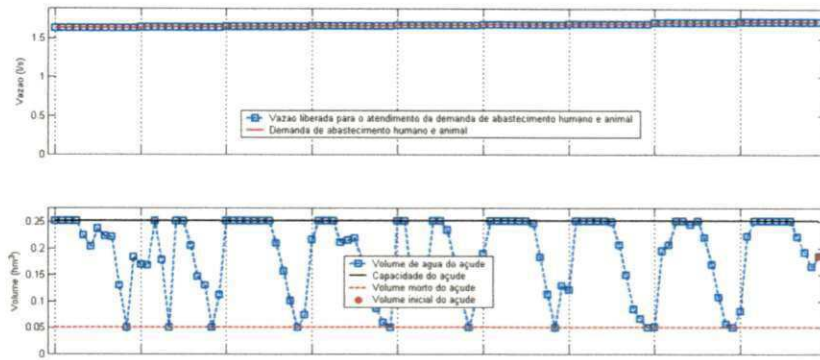
### Açude 75



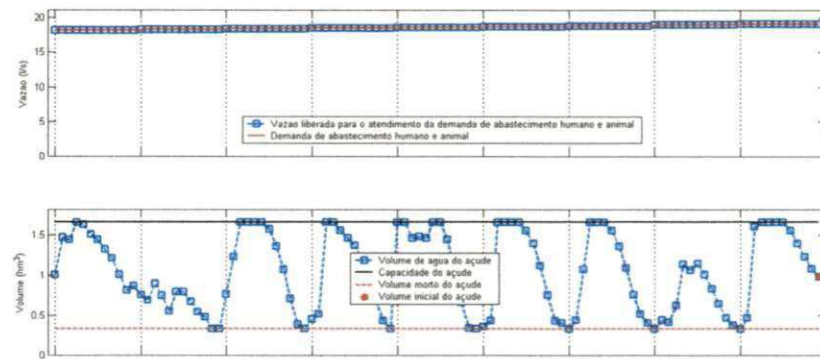
### Açude 132



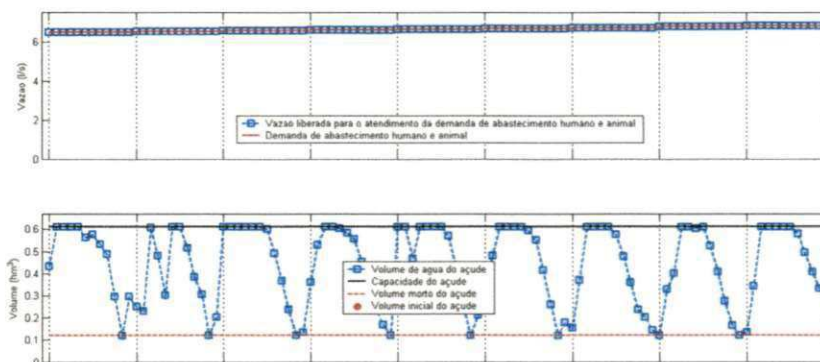
### Açude 144



### Açude 181



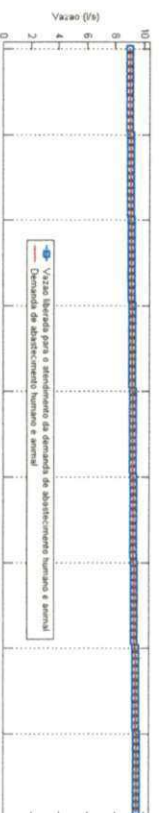
### Açude 184



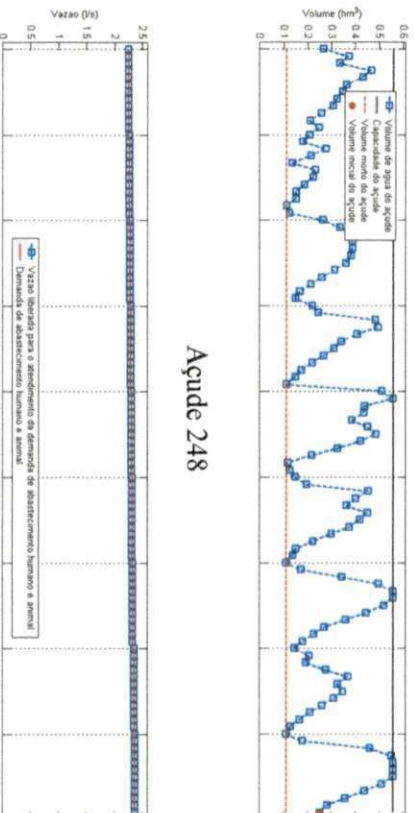
### Açude 191



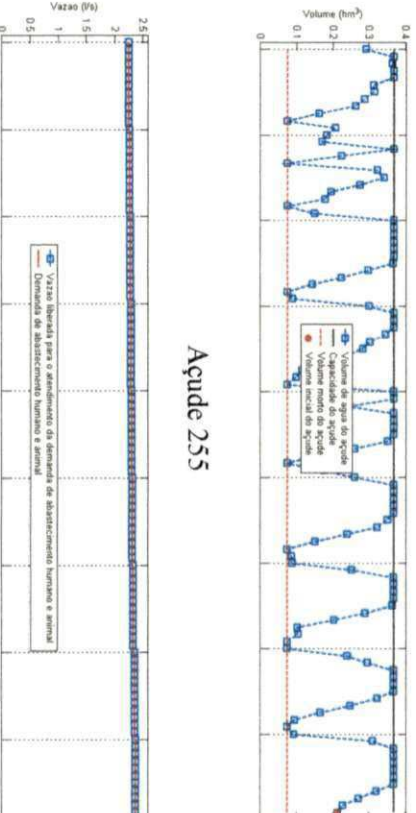
Acude 238



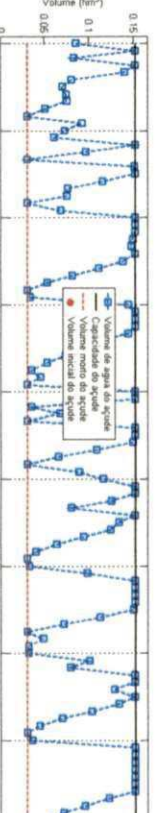
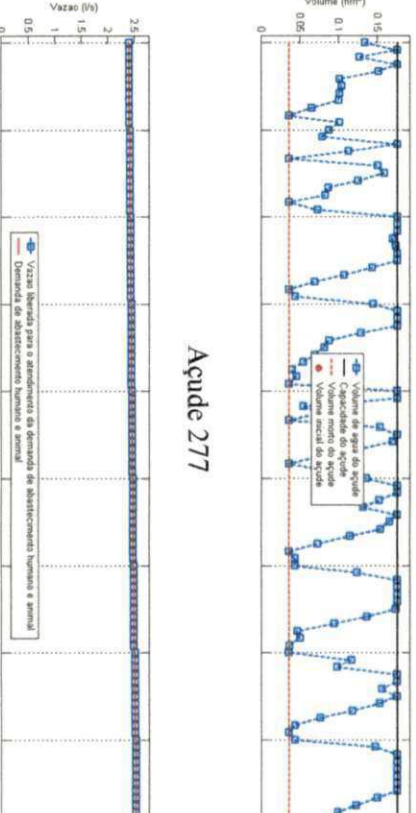
Acude 248



Acude 255

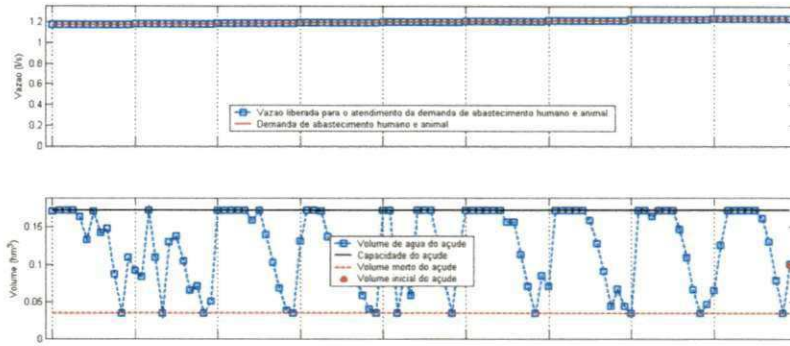


Acude 277

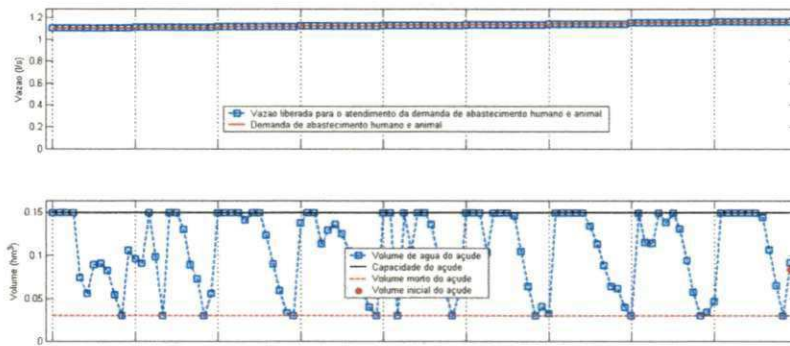




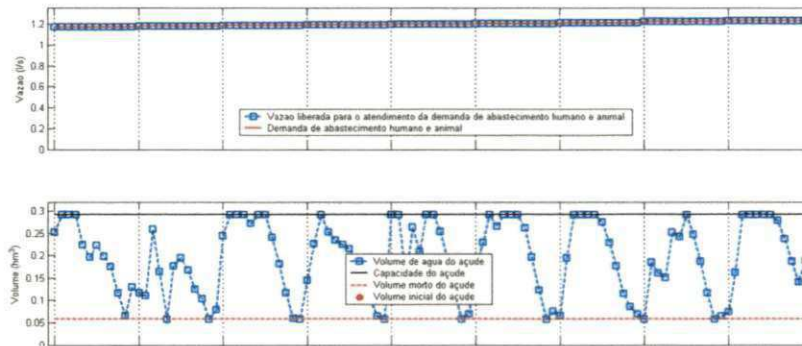
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

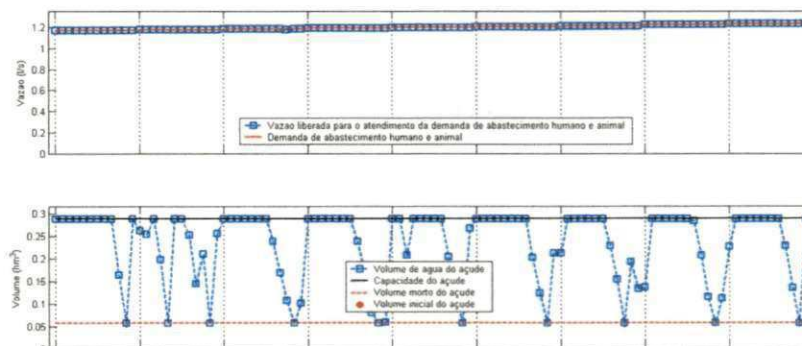
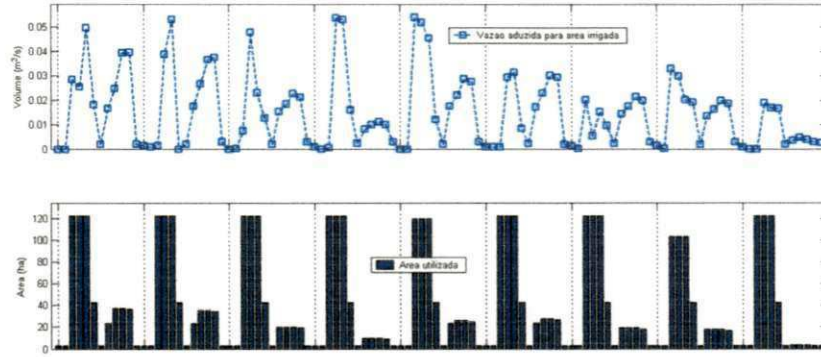
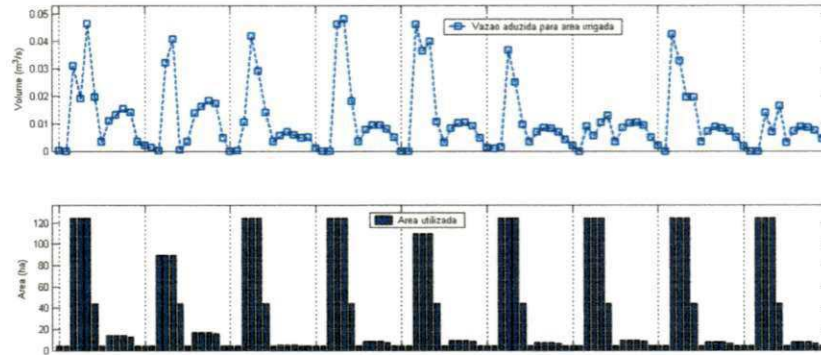


Figura A.3: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 3 e do volume mensal de água dos açudes.

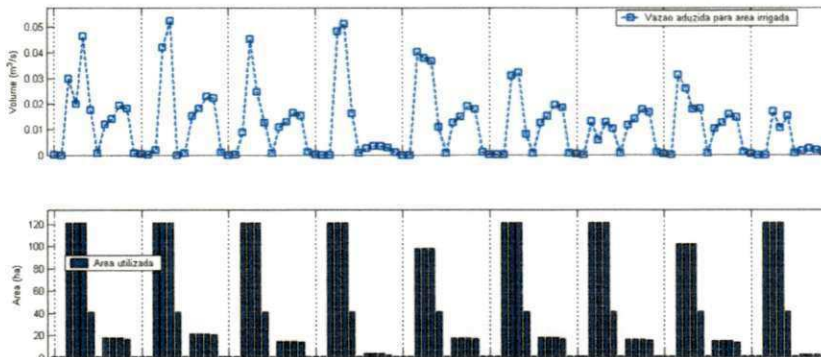
### Açude 03



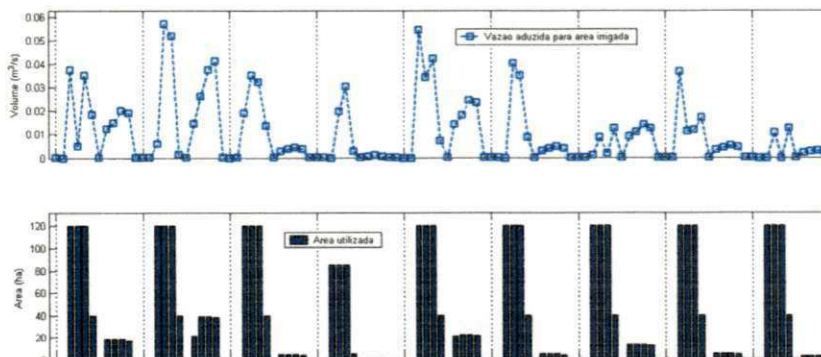
### Açude 44



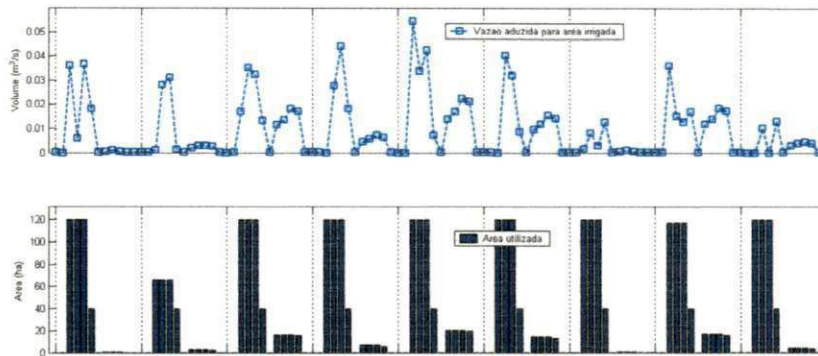
### Açude 51



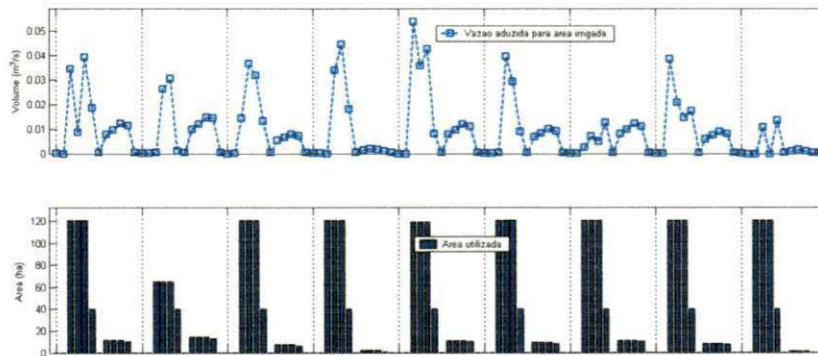
### Açude 71



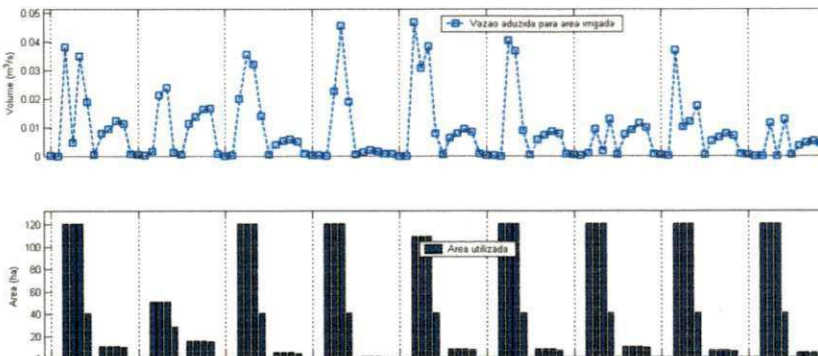
### Açude 72



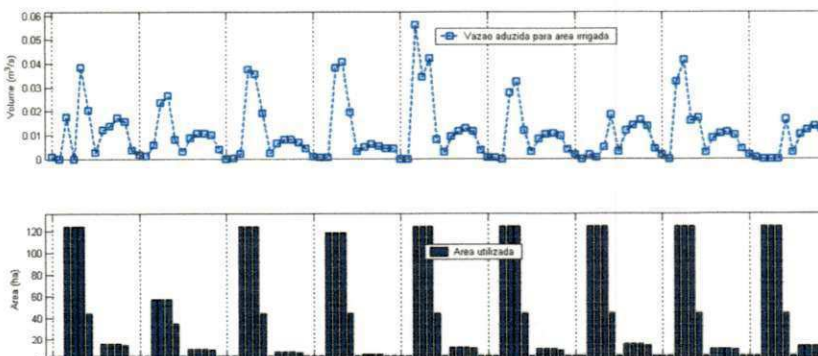
### Açude 73



### Açude 75

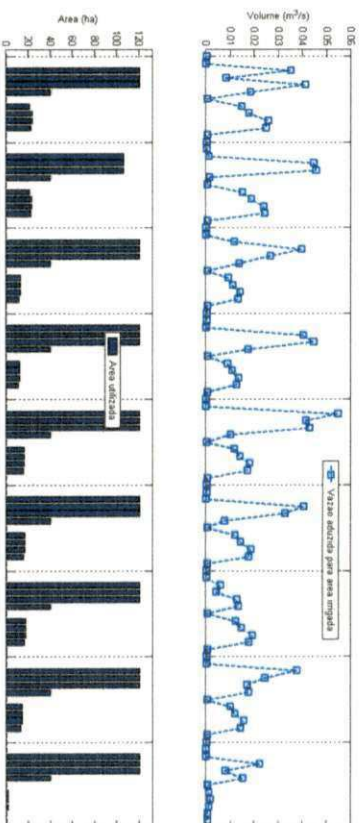


### Açude 132

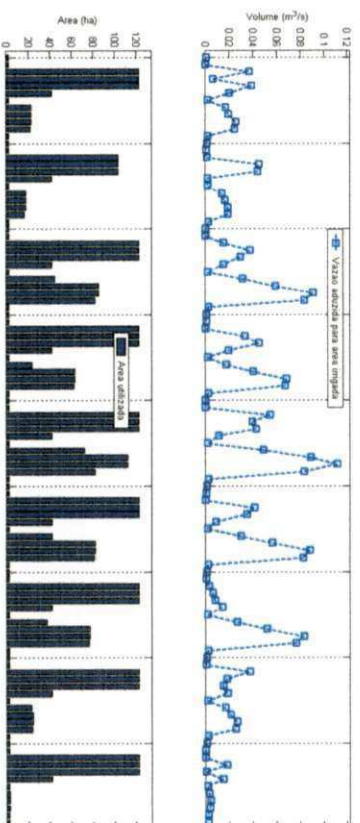




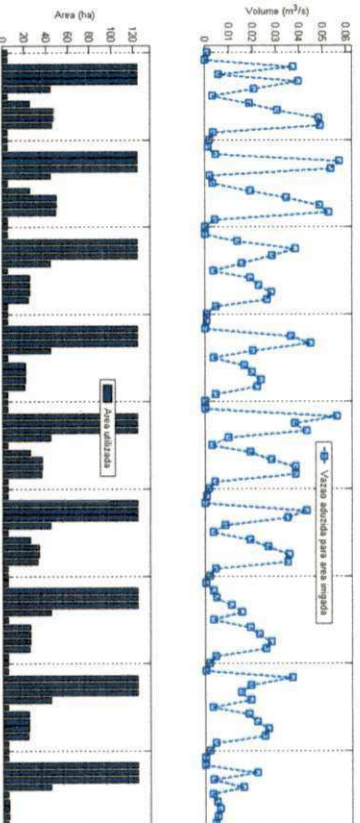
Acude 144



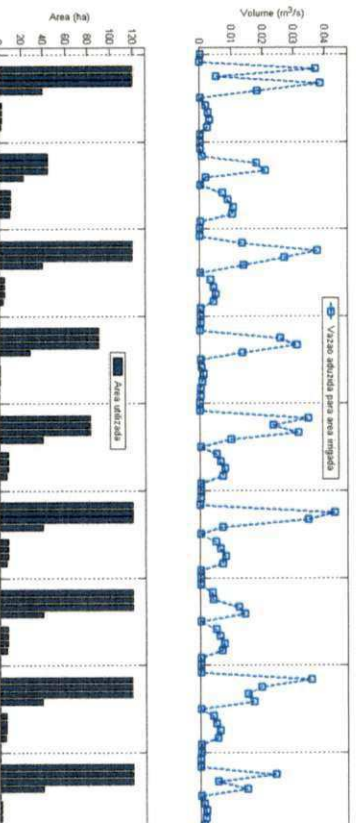
Acude 181



Acude 184

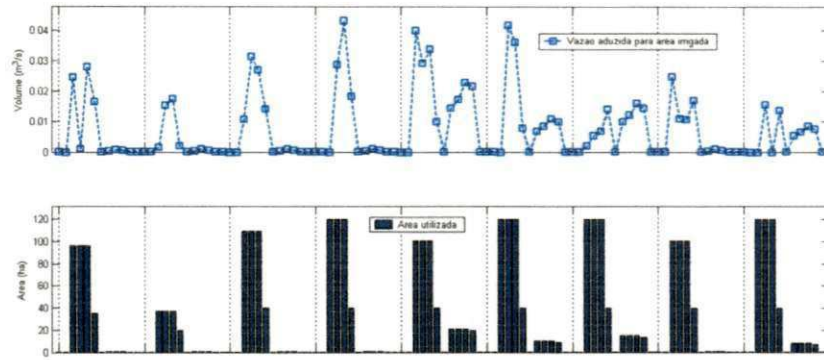


Acude 191

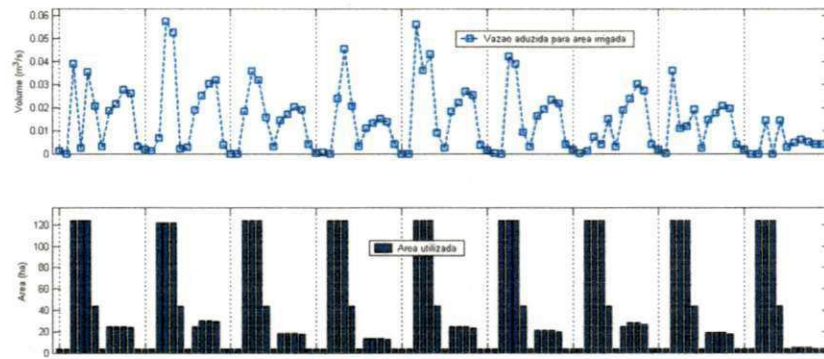




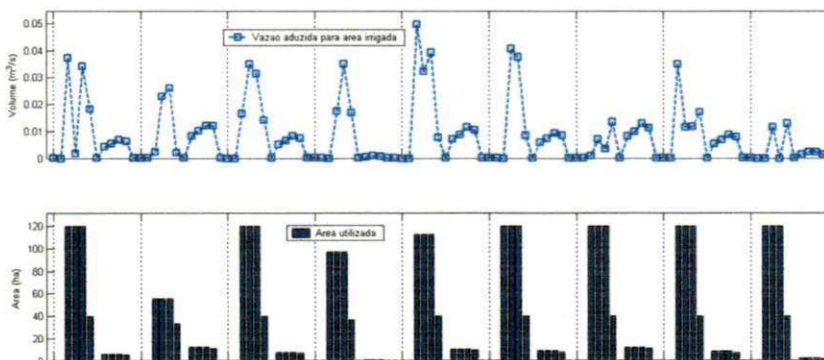
### Açude 238



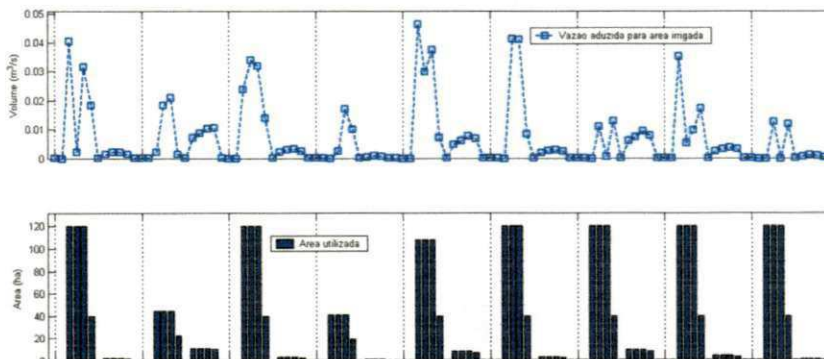
### Açude 248



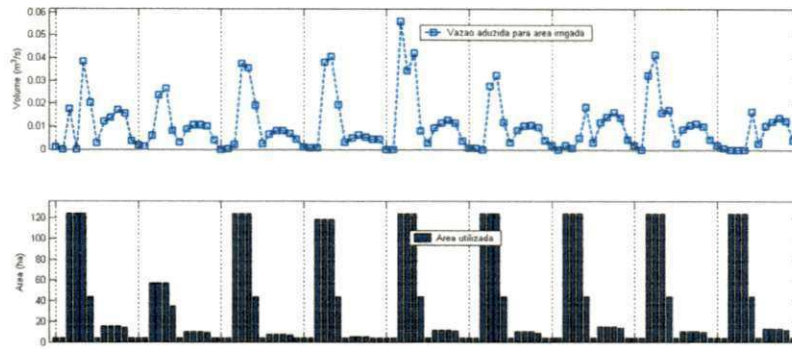
### Açude 255



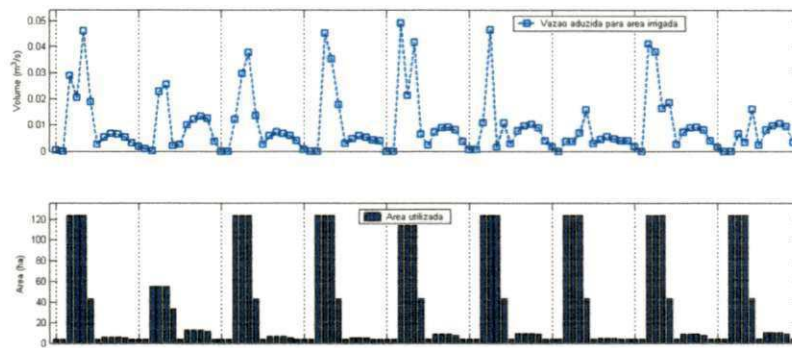
### Açude 277



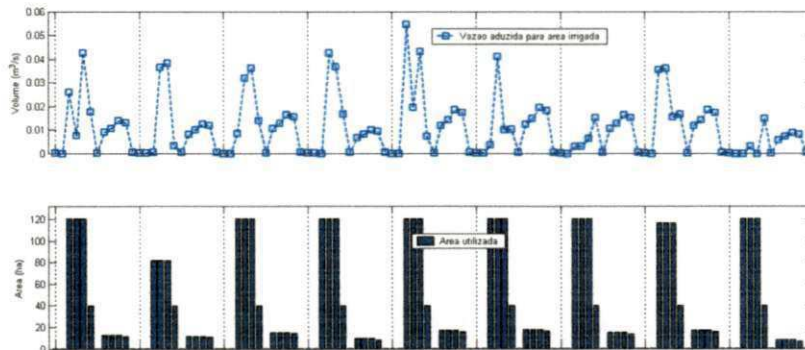
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

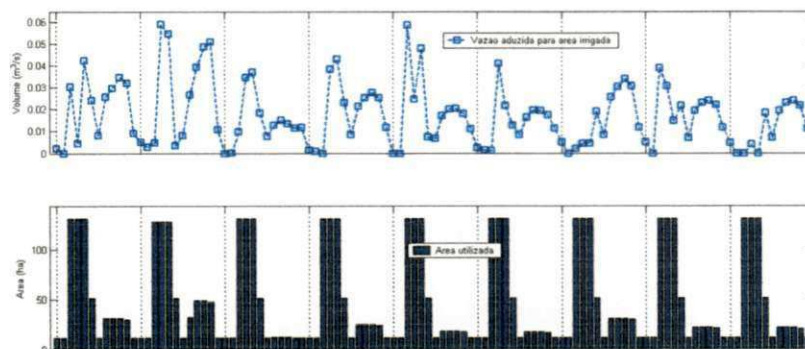


Figura A.4: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 3 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada

Tabela A.1 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	381.907,88	10.980	0,24
PIMENTÃO safra	158,48	435.546,24	10.460	0,39
FEIJÃO safra	180,00	1.130.359,18	20.700	0,35
REPOLHO safra	180,00	1.764.607,58	24.660	0,29
ALFACE safra	180,00	4.965.697,29	42.300	0,49
CEBOLA safra	180,00	848.209,37	37.980	0,44
TOMATE entressafra	9,00	9.388,54	549	0,24
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,75	0	0,39
FEIJÃO entressafra	0,00	7,49	0	0,35
REPOLHO entressafra	32,91	118.080,26	4.509	0,29
ALFACE entressafra	133,31	1.635.902,42	31.329	0,49
CEBOLA entressafra	0,00	0,04	0	0,44
BANANA perene	24,92	758.265,16	5.309	0,48
GOIABA perene	0,00	0,36	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1258,63</b>	<b>12047972,48</b>	<b>188775,50</b>	<b>4,87</b>

Tabela A.2 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 44 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	164,14	349.418,77	10.012	0,19
PIMENTÃO safra	146,85	405.207,22	9.692	0,32
FEIJÃO safra	180,00	1.131.535,14	20.700	0,32
REPOLHO safra	180,00	1.765.768,06	24.660	0,27
ALFACE safra	180,00	4.966.865,75	42.300	0,47
CEBOLA safra	180,00	849.441,54	37.980	0,41
TOMATE entressafra	9,00	9.383,37	549	0,19
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,29	0	0,32
FEIJÃO entressafra	0,00	0,84	0	0,32
REPOLHO entressafra	0,00	0,77	0	0,27
ALFACE entressafra	37,60	461.393,88	8.836	0,47
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,41
BANANA perene	41,13	1.251.476,59	8.760	0,79
GOIABA perene	0,00	1,89	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1118,71</b>	<b>11190494,11</b>	<b>163489,39</b>	<b>4,75</b>

Tabela A.3 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	176,31	374.760,86	10.755	0,22
PIMENTÃO safra	142,00	392.167,65	9.372	0,31
FEIJÃO safra	180,00	1.131.017,20	20.700	0,33
REPOLHO safra	180,00	1.765.254,87	24.660	0,28
ALFACE safra	180,00	4.966.333,67	42.300	0,48
CEBOLA safra	180,00	848.857,17	37.980	0,42

TOMATE entressafra	9,00	9.386,81	549	0,22
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,09	0	0,31
FEIJÃO entressafra	0,00	0,45	0	0,33
REPOLHO entressafra	0,00	0,45	0	0,28
ALFACE entressafra	108,30	1.328.900,65	25.450	0,48
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,42
BANANA perene	8,74	266.003,71	1.862	0,17
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1164,35</b>	<b>11082683,67</b>	<b>173627,89</b>	<b>4,24</b>

Tabela A.4 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	383.656,07	10.980	0,20
PIMENTÃO safra	180,00	496.790,97	11.880	0,40
FEIJÃO safra	180,00	1.133.009,21	20.700	0,29
REPOLHO safra	180,00	1.767.245,15	24.660	0,23
ALFACE safra	165,26	4.561.384,52	38.835	0,40
CEBOLA safra	160,00	756.605,57	33.760	0,33
TOMATE entressafra	9,00	9.383,87	549	0,20
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,40
FEIJÃO entressafra	0,00	0,02	0	0,29
REPOLHO entressafra	20,20	72.532,83	2.767	0,23
ALFACE entressafra	83,57	1.025.657,22	19.640	0,40
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,33
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1158,03</b>	<b>10206265,43</b>	<b>163771,57</b>	<b>3,70</b>

Tabela A.5 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.789,69	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	158,66	438.743,50	10.472	0,33
FEIJÃO safra	164,37	1.035.231,12	18.903	0,25
REPOLHO safra	180,00	1.767.182,85	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.967.996,27	42.300	0,44
CEBOLA safra	180,00	850.760,83	37.980	0,38
TOMATE entressafra	9,00	9.382,43	549	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,33
FEIJÃO entressafra	0,00	0,09	0	0,25
REPOLHO entressafra	0,00	0,09	0	0,24
ALFACE entressafra	76,24	935.335,92	17.916	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,38
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1109,27</b>	<b>10348422,79</b>	<b>162600,91</b>	<b>3,61</b>

Tabela A.6 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.533,95	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	159,86	441.562,11	10.551	0,34
FEIJÃO safra	162,79	1.024.988,39	18.721	0,25
REPOLHO safra	180,00	1.766.885,50	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.967.835,33	42.300	0,45
CEBOLA safra	180,00	850.499,30	37.980	0,39
TOMATE entressafra	9,00	9.381,64	549	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,34
FEIJÃO entressafra	0,00	0,14	0	0,25
REPOLHO entressafra	0,00	0,14	0	0,24
ALFACE entressafra	63,99	785.162,28	15.037	0,45
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,39
BANANA perene	4,78	145.318,47	1.017	0,09
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1101,41</b>	<b>10335167,25</b>	<b>160635,24</b>	<b>3,78</b>

Tabela A.7 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.820,04	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	149,58	414.716,16	9.872	0,29
FEIJÃO safra	160,00	1.007.975,69	18.400	0,24
REPOLHO safra	180,00	1.767.217,59	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.968.066,26	42.300	0,44
CEBOLA safra	168,36	795.942,92	35.524	0,35
TOMATE entressafra	9,00	9.383,73	549	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,29
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,01	0	0,24
ALFACE entressafra	59,45	729.635,43	13.972	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,35
BANANA perene	6,12	186.328,14	1.304	0,12
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1073,52</b>	<b>10223085,97</b>	<b>156402,33</b>	<b>3,55</b>

Tabela A.8 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.375,41	9.821	0,18
PIMENTÃO safra	156,91	433.197,73	10.356	0,34
FEIJÃO safra	174,83	1.099.827,30	20.105	0,29
REPOLHO safra	180,00	1.766.401,33	24.660	0,25
ALFACE safra	180,00	4.967.331,49	42.300	0,46
CEBOLA safra	180,00	850.081,27	37.980	0,40
TOMATE entressafra	9,00	9.387,47	549	0,18

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,99	0	0,34
FEIJÃO entressafra	0,00	4,12	0	0,29
REPOLHO entressafra	0,00	3,91	0	0,25
ALFACE entressafra	64,47	791.150,37	15.151	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,07	0	0,40
BANANA perene	3,38	102.973,92	721	0,06
GOIABA perene	0,00	0,63	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1109,59</b>	<b>10363735,87</b>	<b>161642,99</b>	<b>3,89</b>

Tabela A.9 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	383.042,73	10.980	0,21
PIMENTÃO safra	166,14	457.615,46	10.965	0,38
FEIJÃO safra	180,00	1.131.753,56	20.700	0,31
REPOLHO safra	180,00	1.765.933,30	24.660	0,26
ALFACE safra	180,00	4.966.617,11	42.300	0,47
CEBOLA safra	180,00	849.380,28	37.980	0,41
TOMATE entressafra	9,00	9.386,64	549	0,21
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,30	0	0,38
FEIJÃO entressafra	0,00	2,39	0	0,31
REPOLHO entressafra	4,40	15.800,86	603	0,26
ALFACE entressafra	122,40	1.501.945,62	28.763	0,47
CEBOLA entressafra	0,00	0,02	0	0,41
BANANA perene	4,00	121.837,95	853	0,08
GOIABA perene	0,00	0,18	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1205,94</b>	<b>11203316,36</b>	<b>178353,63</b>	<b>4,20</b>

Tabela A.10 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	383.344,66	10.980	0,21
PIMENTÃO safra	161,00	444.560,69	10.626	0,35
FEIJÃO safra	180,00	1.132.496,59	20.700	0,30
REPOLHO safra	180,00	1.766.732,65	24.660	0,25
ALFACE safra	180,00	4.967.285,21	42.300	0,46
CEBOLA safra	180,00	850.002,84	37.980	0,40
TOMATE entressafra	29,93	31.176,48	1.826	0,21
PIMENTÃO entressafra	10,25	19.652,59	677	0,35
FEIJÃO entressafra	100,00	479.193,01	11.500	0,30
REPOLHO entressafra	101,25	362.890,30	13.872	0,25
ALFACE entressafra	154,88	1.900.464,14	36.398	0,46
CEBOLA entressafra	73,41	0,00	15.489	0,40
BANANA perene	20,06	610.264,00	4.272	0,38
GOIABA perene	0,00	0,54	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1550,78</b>	<b>12941448,92</b>	<b>231278,30</b>	<b>4,30</b>



Tabela A.11 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	383.281,28	10.980	0,21
PIMENTÃO safra	180,00	495.836,46	11.880	0,42
FEIJÃO safra	180,00	1.132.233,15	20.700	0,30
REPOLHO safra	180,00	1.766.394,03	24.660	0,25
ALFACE safra	180,00	4.967.005,05	42.300	0,46
CEBOLA safra	180,00	849.795,19	37.980	0,40
TOMATE entressafra	9,00	9.386,76	549	0,21
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,63	0	0,42
FEIJÃO entressafra	6,32	30.303,46	726	0,30
REPOLHO entressafra	60,33	216.466,26	8.266	0,25
ALFACE entressafra	155,22	1.904.609,28	36.476	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,08	0	0,40
BANANA perene	37,71	1.147.413,10	8.032	0,72
GOIABA perene	0,00	0,18	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1348,58</b>	<b>12902724,75</b>	<b>202549,17</b>	<b>4,82</b>

Tabela A.12 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	142,73	305.407,97	8.706	0,13
PIMENTÃO safra	123,00	340.721,88	8.118	0,24
FEIJÃO safra	160,00	1.007.101,04	18.400	0,26
REPOLHO safra	180,00	1.766.267,41	24.660	0,26
ALFACE safra	180,00	4.966.747,40	42.300	0,47
CEBOLA safra	150,77	711.835,40	31.811	0,34
TOMATE entressafra	9,00	9.386,60	549	0,13
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,15	0	0,24
FEIJÃO entressafra	0,00	0,64	0	0,26
REPOLHO entressafra	0,00	0,63	0	0,26
ALFACE entressafra	41,17	505.243,56	9.676	0,47
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,34
BANANA perene	0,00	0,18	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>986,67</b>	<b>9612712,86</b>	<b>144220,64</b>	<b>3,39</b>

Tabela A.13 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.907,53	9.821	0,16
PIMENTÃO safra	93,39	260.589,36	6.164	0,14
FEIJÃO safra	160,00	1.007.911,91	18.400	0,24
REPOLHO safra	175,62	1.724.194,44	24.060	0,23
ALFACE safra	180,00	4.967.345,05	42.300	0,46
CEBOLA safra	155,59	735.223,96	32.830	0,33
TOMATE entressafra	9,00	9.384,75	549	0,16

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,14
FEIJÃO entressafra	0,00	0,01	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,01	0	0,23
ALFACE entressafra	50,42	618.573,02	11.848	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,33
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>985,02</b>	<b>9667130,04</b>	<b>145971,38</b>	<b>3,13</b>

Tabela A.14 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	383.736,03	10.980	0,20
PIMENTÃO safra	178,21	491.933,74	11.762	0,39
FEIJÃO safra	180,00	1.133.043,63	20.700	0,29
REPOLHO safra	180,00	1.767.188,59	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.967.759,87	42.300	0,45
CEBOLA safra	180,00	850.562,51	37.980	0,39
TOMATE entressafra	9,00	9.386,95	549	0,20
PIMENTÃO entressafra	0,00	1,34	0	0,39
FEIJÃO entressafra	0,01	46,90	1	0,29
REPOLHO entressafra	8,61	30.918,71	1.179	0,24
ALFACE entressafra	132,22	1.622.538,27	31.071	0,45
CEBOLA entressafra	0,00	0,27	1	0,39
BANANA perene	34,92	1.062.508,51	7.438	0,67
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1262,97</b>	<b>12319624,87</b>	<b>188621,27</b>	<b>4,56</b>

Tabela A.15 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	344.061,16	9.821	0,16
PIMENTÃO safra	135,09	374.273,37	8.916	0,27
FEIJÃO safra	160,00	1.008.171,73	18.400	0,23
REPOLHO safra	180,00	1.767.303,62	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.967.867,84	42.300	0,44
CEBOLA safra	170,18	804.393,46	35.907	0,36
TOMATE entressafra	9,00	9.385,09	549	0,16
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,27
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,23
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,23
ALFACE entressafra	61,30	752.232,05	14.405	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,36
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1056,57</b>	<b>10027688,32</b>	<b>154958,35</b>	<b>3,39</b>



Tabela A.16 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	141,99	303.352,25	8.662	0,14
PIMENTÃO safra	130,25	361.300,69	8.596	0,25
FEIJÃO safra	140,00	882.347,86	16.100	0,20
REPOLHO safra	179,99	1.767.239,79	24.658	0,23
ALFACE safra	179,23	4.946.910,88	42.119	0,44
CEBOLA safra	142,66	674.708,58	30.100	0,29
TOMATE entressafra	9,00	9.389,33	549	0,14
PIMENTÃO entressafra	0,00	3,45	0	0,25
FEIJÃO entressafra	0,00	15,52	0	0,20
REPOLHO entressafra	0,00	15,28	1	0,23
ALFACE entressafra	33,09	406.177,33	7.777	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,19	0	0,29
BANANA perene	0,00	2,97	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,90	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>956,22</b>	<b>9351464,64</b>	<b>138562,79</b>	<b>3,10</b>

Tabela A.17 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	344.575,46	9.821	0,15
PIMENTÃO safra	155,95	432.762,24	10.293	0,29
FEIJÃO safra	160,00	1.008.752,88	18.400	0,22
REPOLHO safra	180,00	1.767.254,19	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.967.050,22	42.300	0,46
CEBOLA safra	171,09	808.193,23	36.101	0,37
TOMATE entressafra	9,00	9.385,37	549	0,15
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,29
FEIJÃO entressafra	0,00	0,16	0	0,22
REPOLHO entressafra	0,00	0,16	0	0,23
ALFACE entressafra	52,83	648.270,58	12.414	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,37
BANANA perene	35,74	1.087.574,55	7.613	0,68
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1105,61</b>	<b>11073819,04</b>	<b>162150,49</b>	<b>4,15</b>

Tabela A.18 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 3

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.472,21	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	151,42	418.298,18	9.993	0,32
FEIJÃO safra	160,00	1.007.653,18	18.400	0,24
REPOLHO safra	180,00	1.766.836,92	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.967.515,79	42.300	0,45
CEBOLA safra	169,79	802.185,78	35.825	0,37
TOMATE entressafra	9,00	9.373,14	549	0,17

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,32
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,24
ALFACE entressafra	29,08	356.761,96	6.834	0,45
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,37
BANANA perene	33,47	1.018.448,73	7.128	0,64
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1073,75</b>	<b>10690545,89</b>	<b>155510,50</b>	<b>4,24</b>

Tabela A.19 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 3

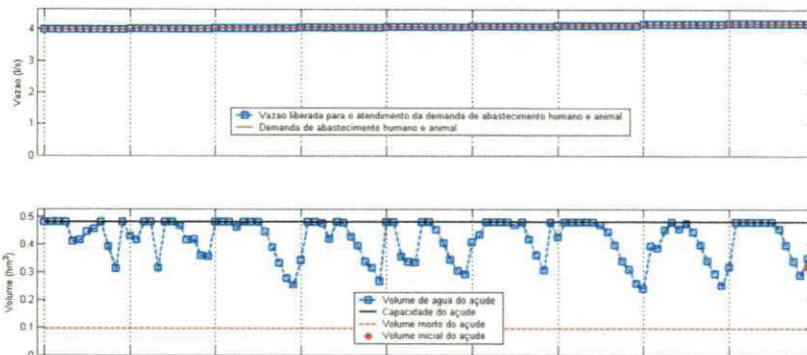
CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	344.249,70	9.821	0,16
PIMENTÃO safra	156,85	434.025,65	10.352	0,32
FEIJÃO safra	180,00	1.133.387,01	20.700	0,28
REPOLHO safra	180,00	1.767.385,30	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.968.074,53	42.300	0,44
CEBOLA safra	180,00	850.953,56	37.980	0,38
TOMATE entressafra	9,00	9.375,60	549	0,16
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,09	0	0,32
FEIJÃO entressafra	0,00	0,47	0	0,28
REPOLHO entressafra	0,00	0,49	0	0,23
ALFACE entressafra	112,30	1.377.791,16	26.391	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,38
BANANA perene	3,79	115.211,57	806	0,07
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1162,94</b>	<b>11000455,22</b>	<b>173559,11</b>	<b>3,68</b>

Tabela A.20 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 3

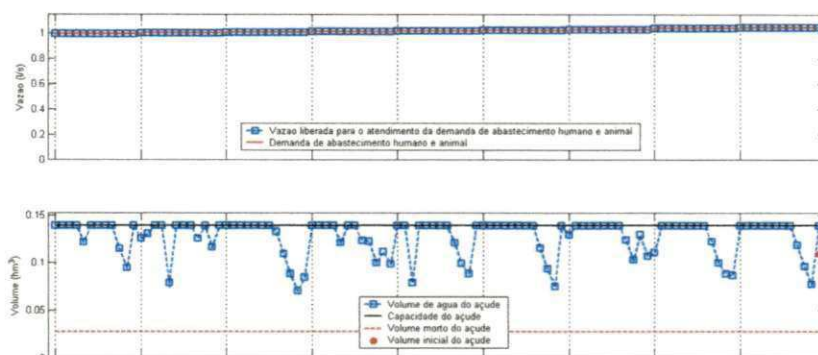
CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	180,00	384.169,29	10.980	0,19
PIMENTÃO safra	177,13	489.264,19	11.690	0,38
FEIJÃO safra	180,00	1.133.340,31	20.700	0,28
REPOLHO safra	180,00	1.767.354,14	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.967.962,05	42.300	0,44
CEBOLA safra	180,00	850.902,09	37.980	0,38
TOMATE entressafra	9,00	9.380,59	549	0,19
PIMENTÃO entressafra	0,00	1,84	0	0,38
FEIJÃO entressafra	0,00	8,43	0	0,28
REPOLHO entressafra	16,71	59.983,66	2.290	0,23
ALFACE entressafra	100,91	1.238.251,97	23.714	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,10	0	0,38
BANANA perene	99,54	3.029.001,60	21.201	1,90
GOIABA perene	0,00	0,81	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1303,29</b>	<b>13929620,87</b>	<b>196064,64</b>	<b>5,70</b>

## Cenário 4

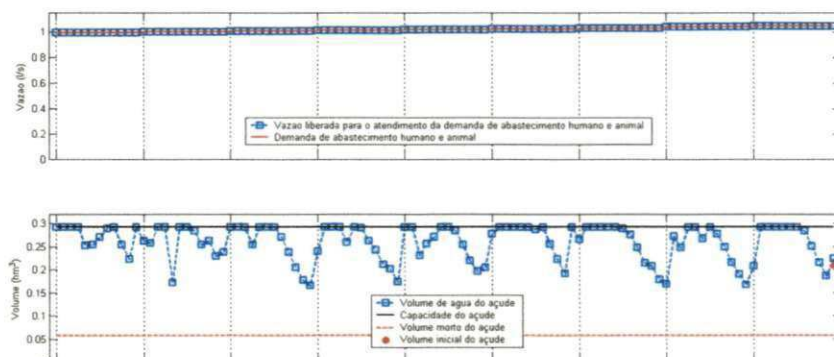
### Açude 03



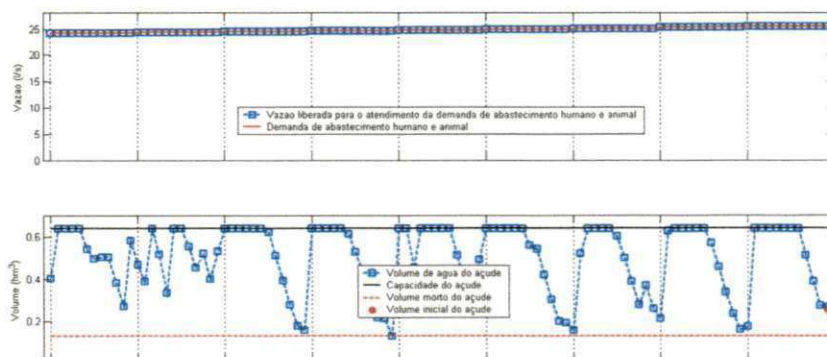
### Açude 44



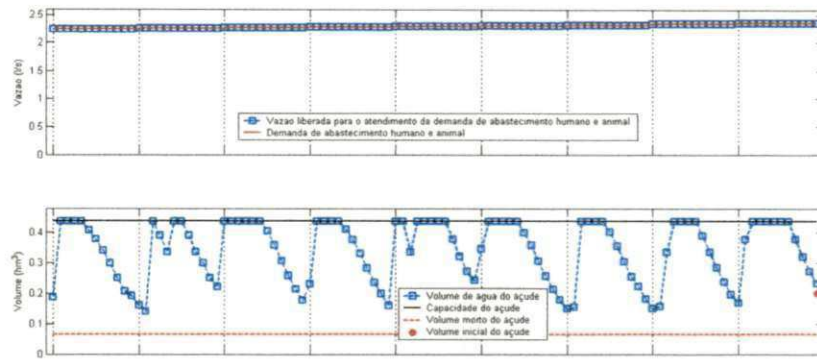
### Açude 51



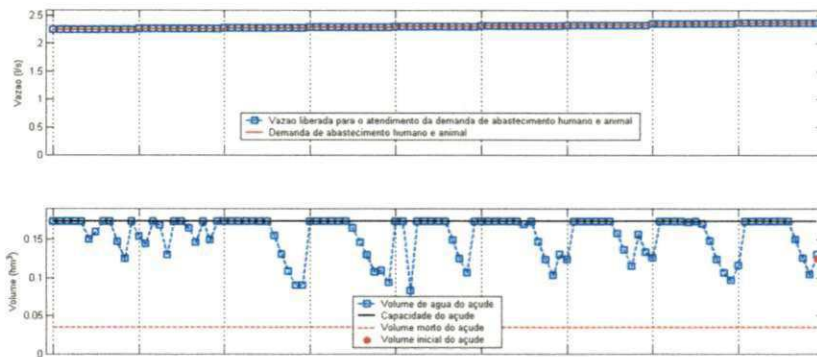
### Açude 71



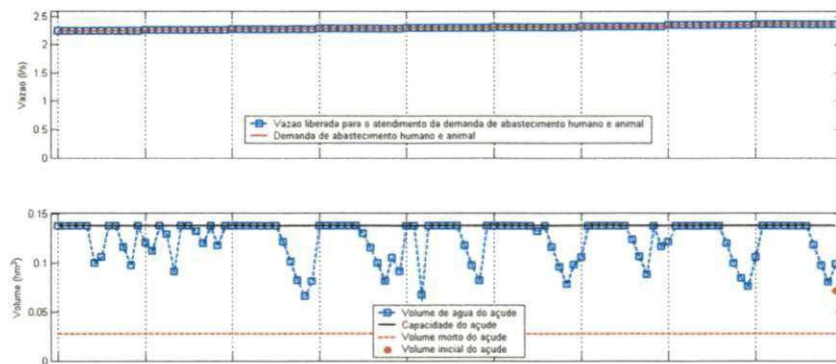
### Açude 72



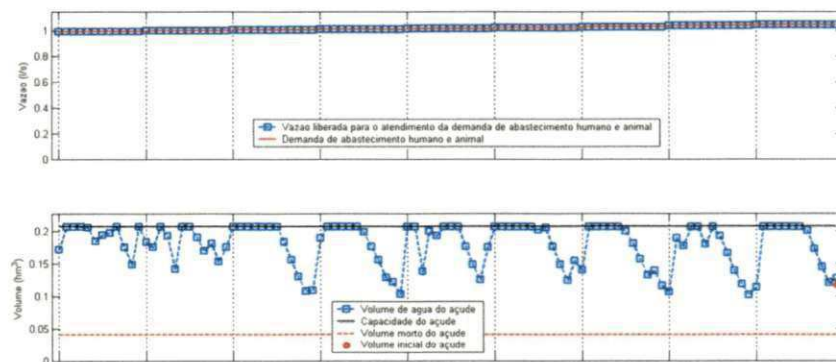
### Açude 73



### Açude 75

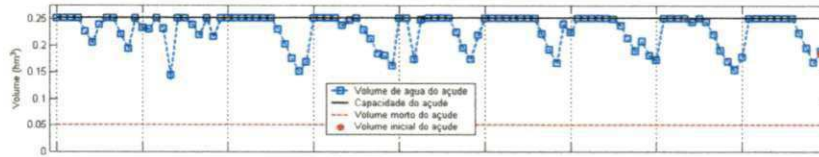
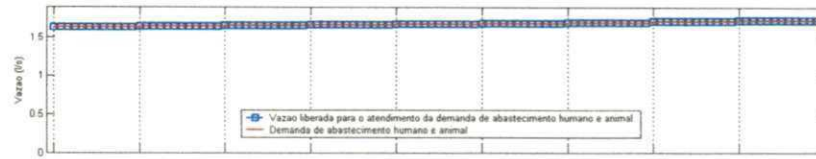


### Açude 132

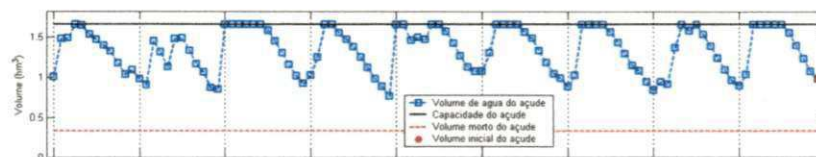
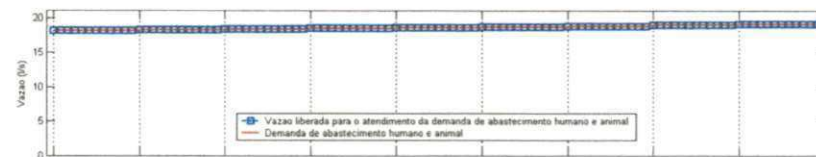




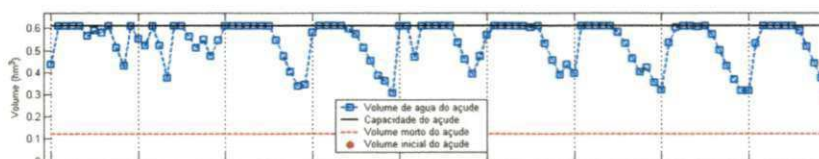
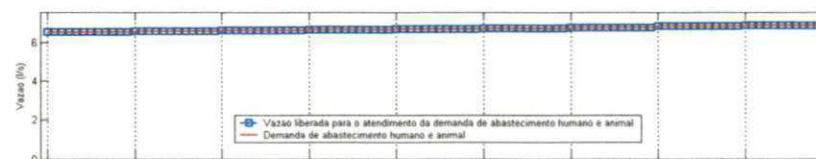
### Açude 144



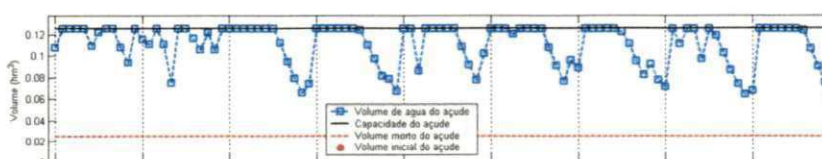
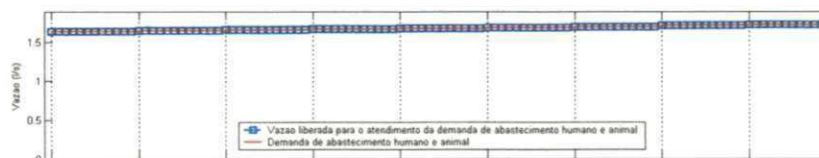
### Açude 181



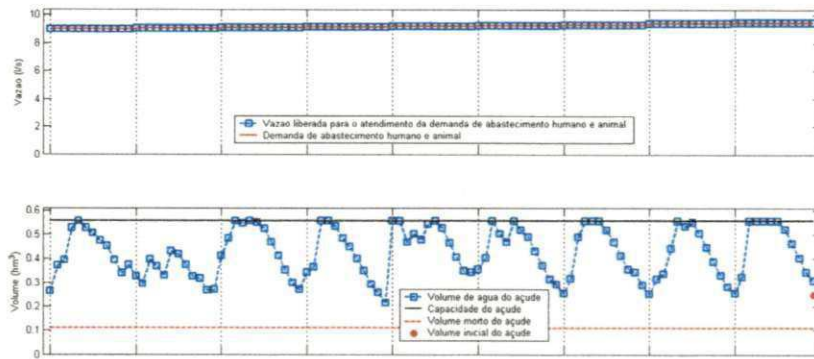
### Açude 184



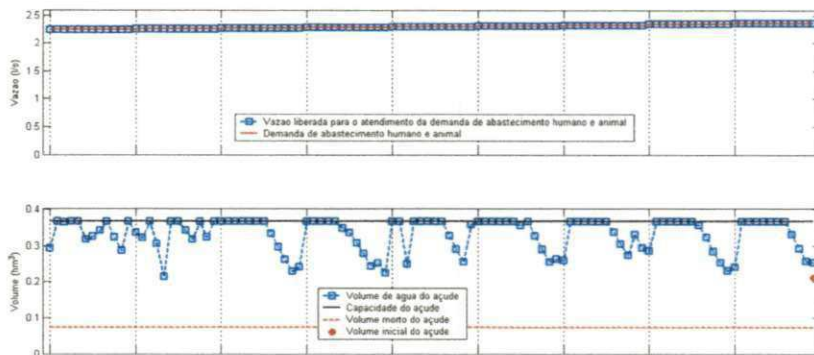
### Açude 191



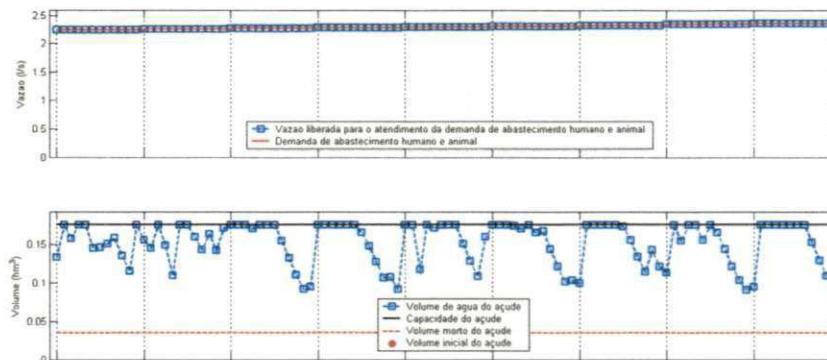
### Açude 238



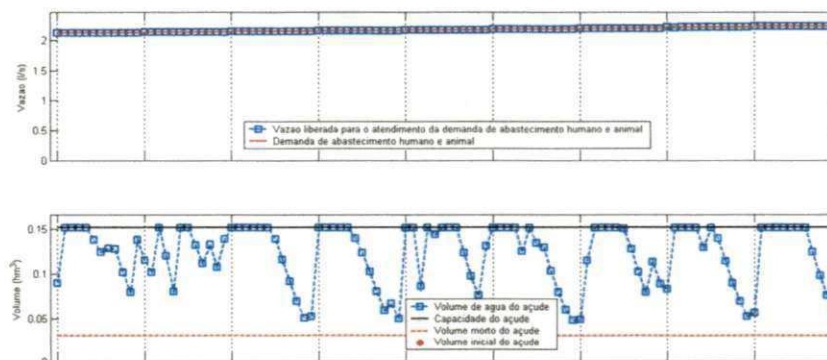
### Açude 248



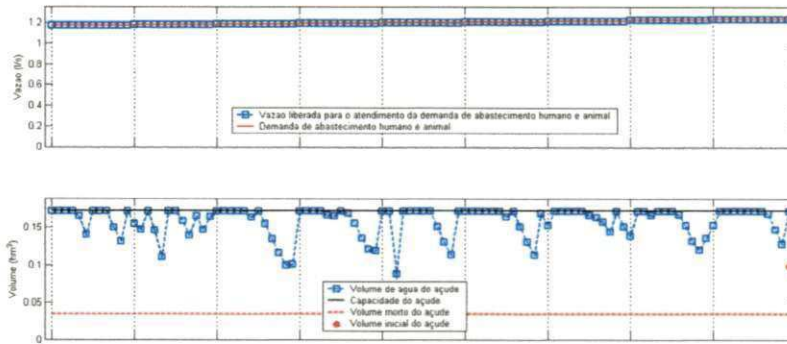
### Açude 255



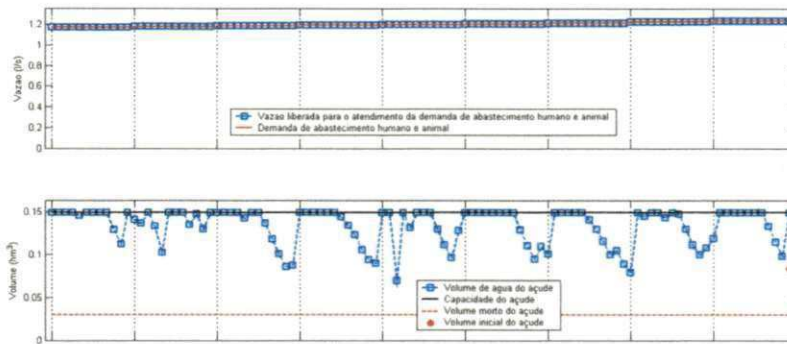
### Açude 277



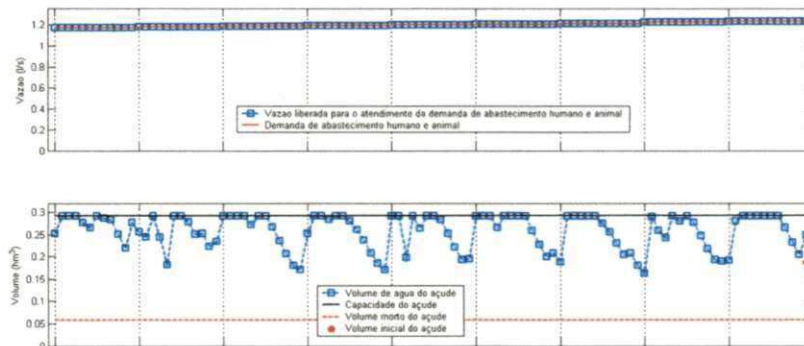
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

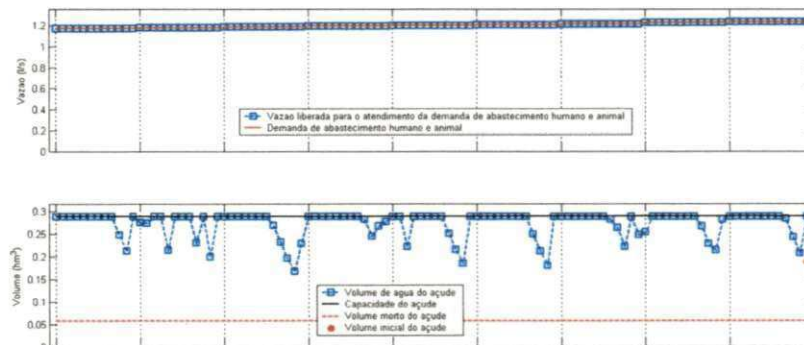
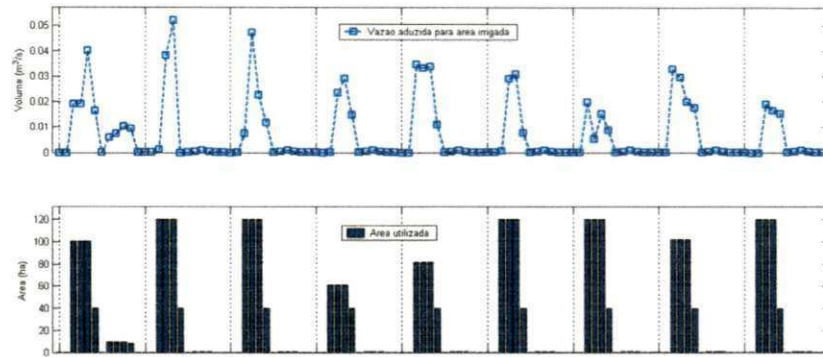


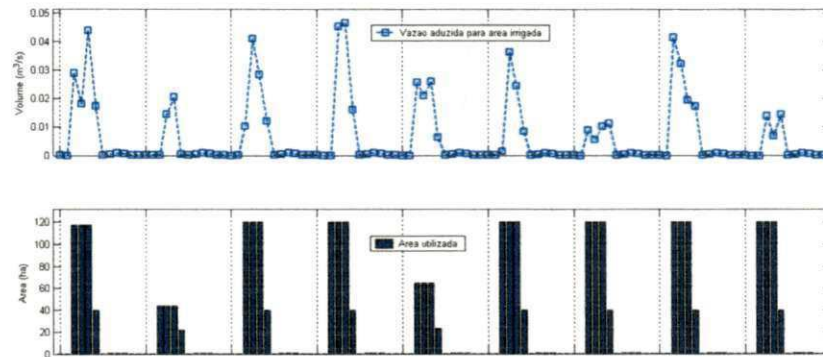
Figura A.5: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 4 e do volume mensal de água dos açudes.



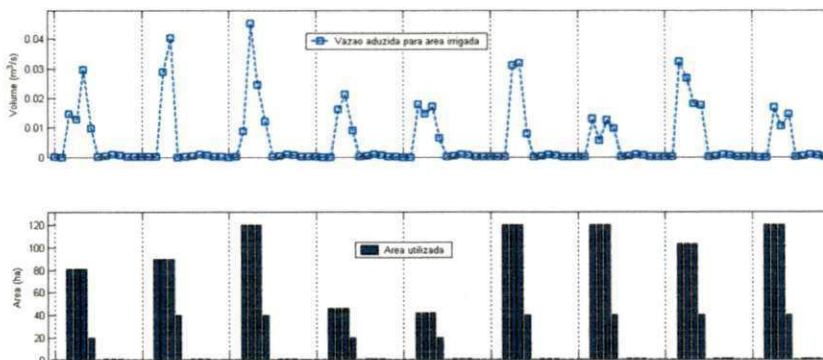
### Açude 03



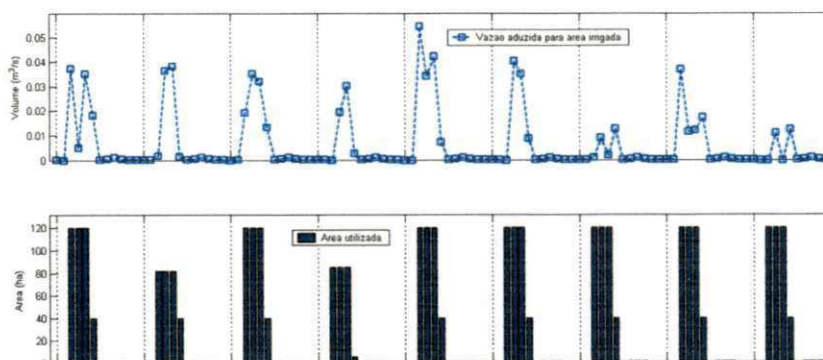
### Açude 44



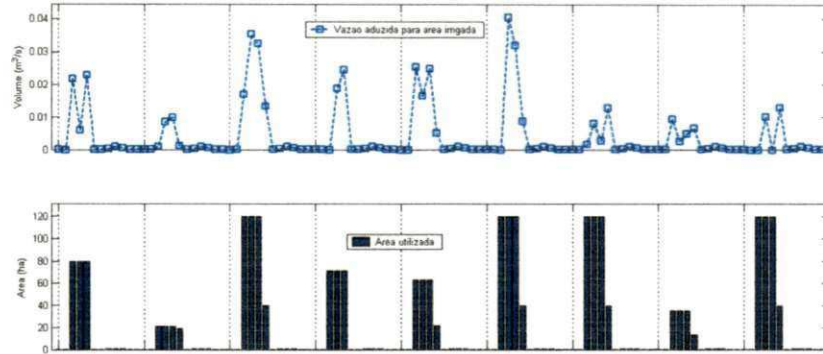
### Açude 51



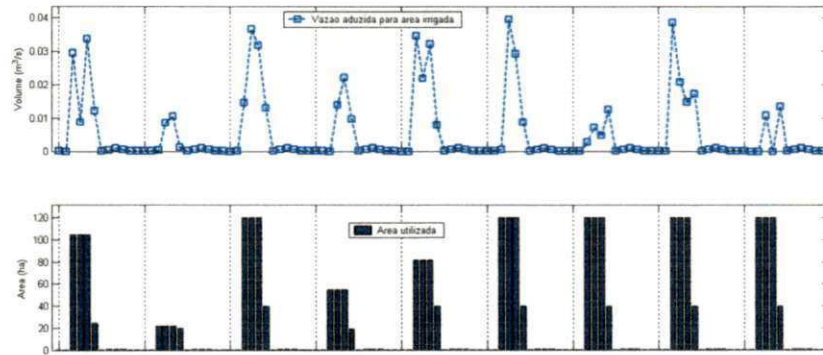
### Açude 71



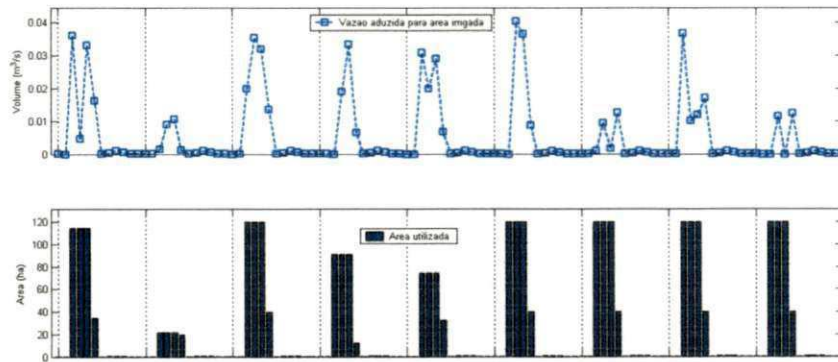
### Açude 72



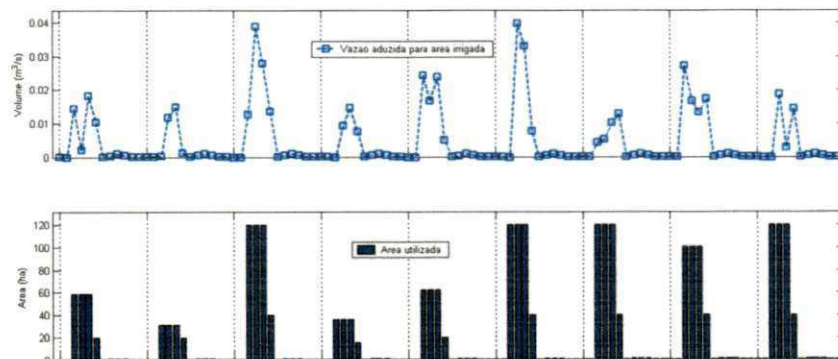
### Açude 73



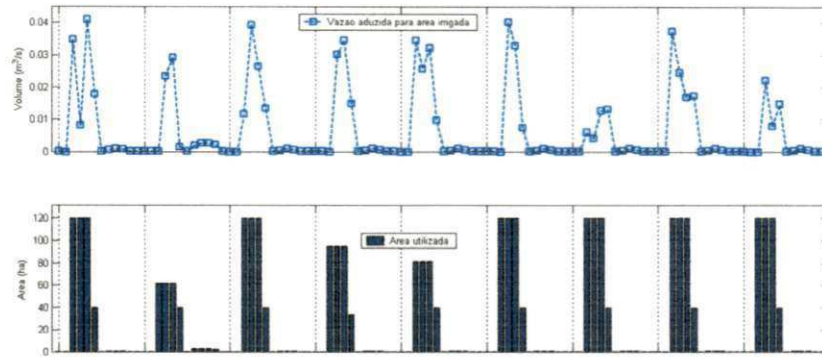
### Açude 75



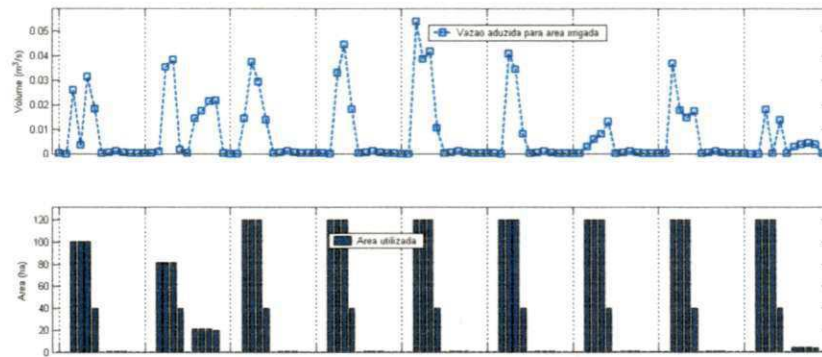
### Açude 132



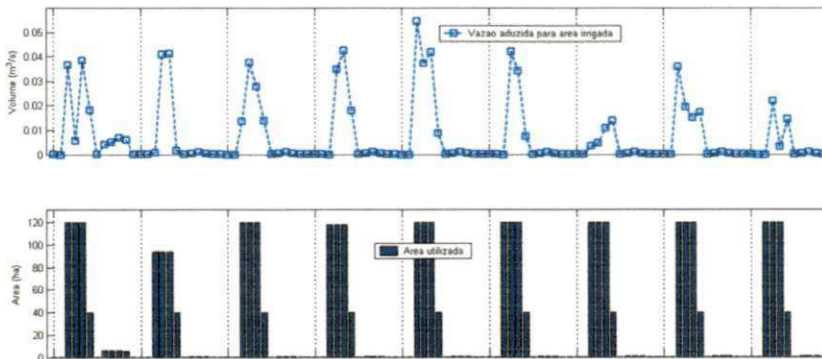
### Açude 144



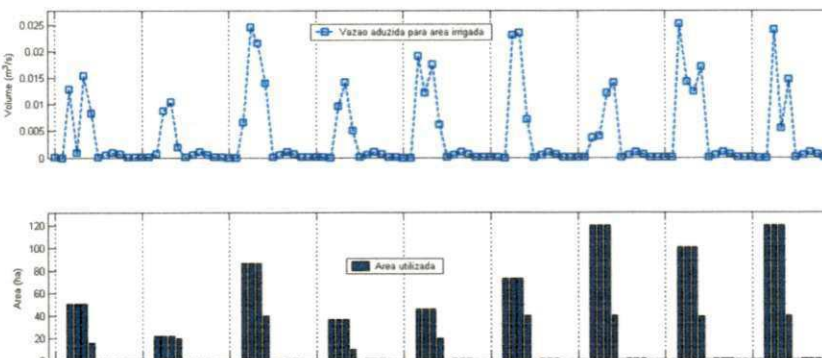
### Açude 181



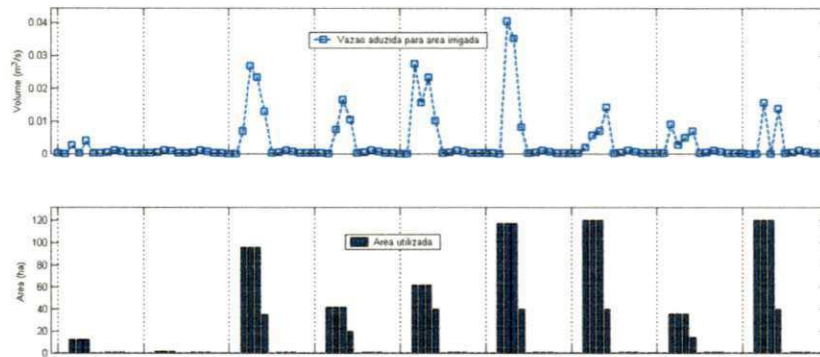
### Açude 184



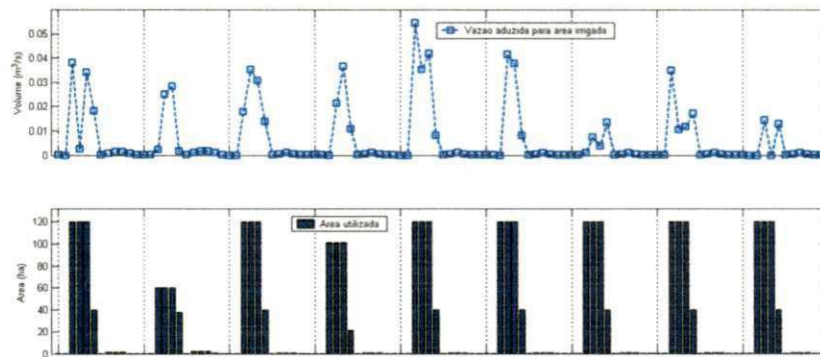
### Açude 191



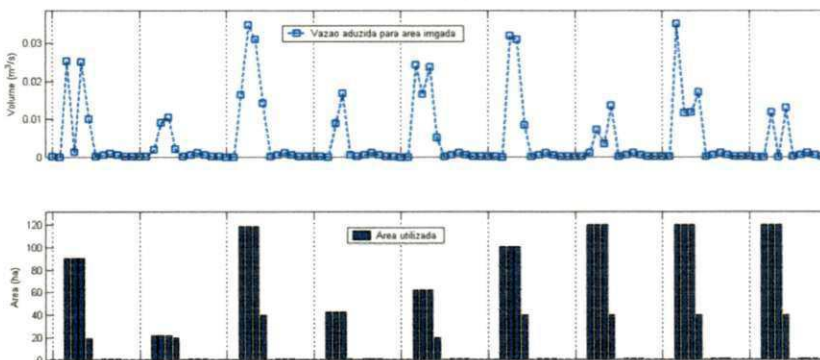
### Açude 238



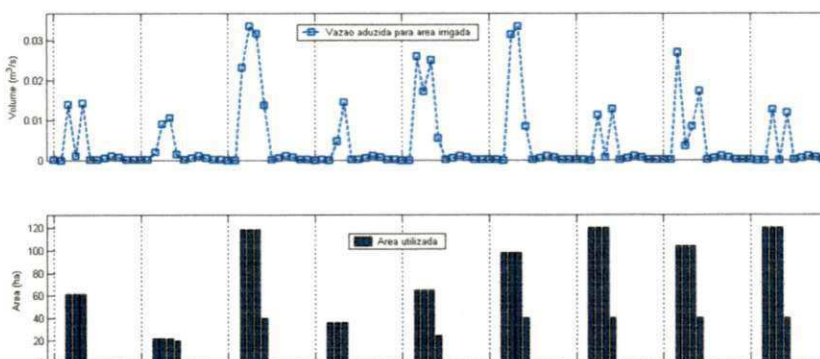
### Açude 248



### Açude 255

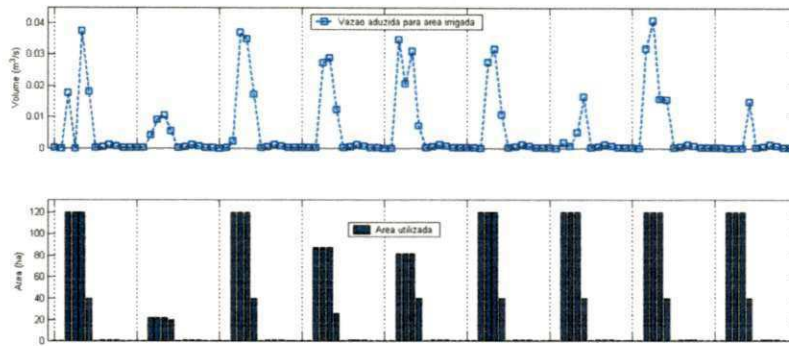


### Açude 277

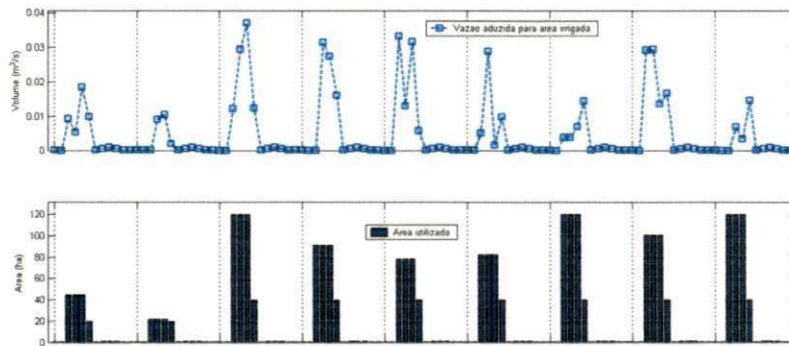




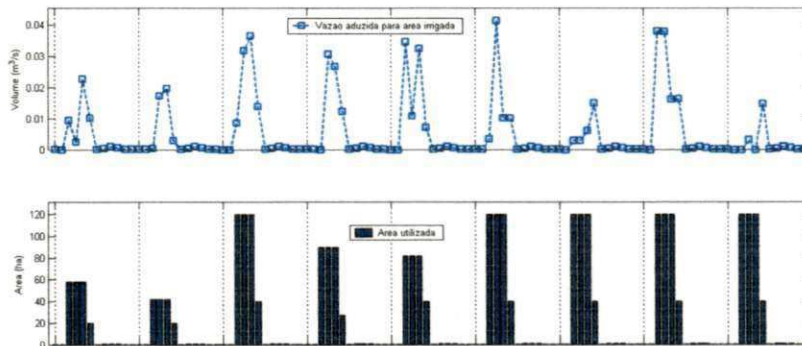
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

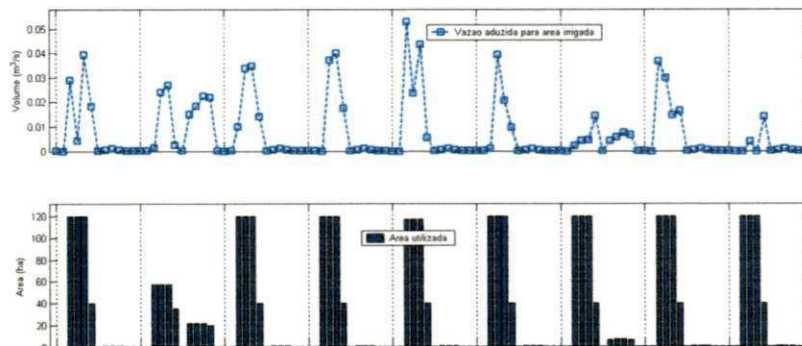


Figura A.6: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 4 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada

Tabela A-21 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	142,00	302.805,39	8.662	0,16
PIMENTÃO safra	104,98	290.773,21	6.929	0,21
FEIJÃO safra	160,00	1.005.262,45	18.400	0,30
REPOLHO safra	180,00	1.764.609,99	24.660	0,29
ALFACE safra	180,00	4.965.700,27	42.300	0,49
CEBOLA safra	179,78	847.190,10	37.934	0,44
TOMATE entressafra	9,00	9.387,80	549	0,16
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,01	0	0,21
FEIJÃO entressafra	0,00	0,05	0	0,30
REPOLHO entressafra	0,00	0,05	0	0,29
ALFACE entressafra	8,67	106.513,50	2.038	0,49
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,44
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>964,43</b>	<b>9292242,82</b>	<b>141471</b>	<b>3,76</b>

Tabela A.22 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 44 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	142,00	303.396,68	8.662	0,14
PIMENTÃO safra	139,25	384.764,18	9.191	0,30
FEIJÃO safra	160,00	1.006.334,99	18.400	0,27
REPOLHO safra	180,00	1.765.769,00	24.660	0,27
ALFACE safra	180,00	4.966.867,14	42.300	0,47
CEBOLA safra	145,00	685.157,24	30.594	0,31
TOMATE entressafra	9,00	9.383,05	549	0,14
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,01	0	0,30
FEIJÃO entressafra	0,00	0,03	0	0,27
REPOLHO entressafra	0,00	0,03	0	0,27
ALFACE entressafra	0,00	0,47	0	0,47
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,31
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>955,25</b>	<b>9121672,82</b>	<b>134356</b>	<b>3,51</b>

Tabela A.23 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	130,88	279.664,01	7.984	0,13
PIMENTÃO safra	87,20	242.297,33	5.755	0,16
FEIJÃO safra	144,43	909.006,32	16.609	0,23
REPOLHO safra	180,00	1.765.255,37	24.660	0,28
ALFACE safra	180,00	4.966.334,25	42.300	0,48
CEBOLA safra	120,00	568.482,68	25.320	0,23
TOMATE entressafra	9,00	9.386,72	549	0,13

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,16
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,23
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,28
ALFACE entressafra	0,00	0,01	0	0,48
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,23
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>851,51</b>	<b>8740426,69</b>	<b>123177</b>	<b>3,00</b>

Tabela A.24 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm³)
TOMATE safra	161,00	343.846,66	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	161,00	445.352,43	10.626	0,33
FEIJÃO safra	180,00	1.133.001,56	20.700	0,29
REPOLHO safra	180,00	1.767.238,62	24.660	0,23
ALFACE safra	165,26	4.561.365,06	38.835	0,40
CEBOLA safra	160,00	756.602,17	33.760	0,33
TOMATE entressafra	9,00	9.384,16	549	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,31	0	0,33
FEIJÃO entressafra	0,00	1,18	0	0,29
REPOLHO entressafra	0,00	1,05	0	0,23
ALFACE entressafra	0,00	3,10	0	0,40
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,33
BANANA perene	0,00	0,27	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1016,25</b>	<b>9016796,66</b>	<b>138950</b>	<b>3,50</b>

Tabela A.25 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm³)
TOMATE safra	123,00	263.555,88	7.503	0,11
PIMENTÃO safra	115,00	319.707,50	7.590	0,20
FEIJÃO safra	140,00	881.778,83	16.100	0,21
REPOLHO safra	159,99	1.571.640,48	21.919	0,19
ALFACE safra	132,59	3.660.677,50	31.159	0,30
CEBOLA safra	81,97	389.737,71	17.295	0,12
TOMATE entressafra	9,00	9.382,46	549	0,11
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,06	0	0,20
FEIJÃO entressafra	0,00	0,18	0	0,21
REPOLHO entressafra	0,00	0,15	0	0,19
ALFACE entressafra	0,00	0,35	0	0,30
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,12
BANANA perene	0,00	0,09	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>761,55</b>	<b>7096481,19</b>	<b>102114</b>	<b>2,27</b>



Tabela A.26 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	123,00	263.623,84	7.503	0,11
PIMENTÃO safra	123,00	341.126,90	8.118	0,23
FEIJÃO safra	154,24	971.374,54	17.738	0,24
REPOLHO safra	160,00	1.571.364,19	21.920	0,20
ALFACE safra	178,96	4.939.132,01	42.055	0,44
CEBOLA safra	124,61	589.842,80	26.293	0,25
TOMATE entressafra	9,00	9.381,55	549	0,11
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,23
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,20
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,25
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>872,81</b>	<b>8685845,83</b>	<b>124176</b>	<b>2,92</b>

Tabela A.27 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	142,00	304.246,76	8.662	0,12
PIMENTÃO safra	140,91	391.341,28	9.300	0,26
FEIJÃO safra	160,00	1.007.975,70	18.400	0,24
REPOLHO safra	160,00	1.571.735,96	21.920	0,19
ALFACE safra	172,26	4.754.579,49	40.482	0,42
CEBOLA safra	127,48	603.677,02	26.899	0,25
TOMATE entressafra	9,00	9.383,73	549	0,12
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,26
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,19
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,42
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,25
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>911,65</b>	<b>8642939,94</b>	<b>126210</b>	<b>2,95</b>

Tabela A.28 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	121,15	259.570,72	7.390	0,11
PIMENTÃO safra	85,00	236.674,32	5.610	0,14
FEIJÃO safra	120,00	755.777,75	13.799	0,18
REPOLHO safra	168,74	1.656.312,08	23.118	0,23
ALFACE safra	174,99	4.829.263,34	41.123	0,44
CEBOLA safra	100,15	475.016,53	21.131	0,18
TOMATE entressafra	9,00	9.386,49	549	0,11

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,14
FEIJÃO entressafra	0,00	0,01	0	0,18
REPOLHO entressafra	0,00	0,01	0	0,23
ALFACE entressafra	0,00	0,08	0	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,18
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>779,02</b>	<b>8222001,33</b>	<b>112720</b>	<b>2,55</b>

Tabela A.29 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm³)
TOMATE safra	142,00	303.693,11	8.662	0,14
PIMENTÃO safra	123,00	340.376,48	8.118	0,25
FEIJÃO safra	160,00	1.006.648,23	18.400	0,27
REPOLHO safra	180,00	1.765.934,50	24.660	0,26
ALFACE safra	180,00	4.966.618,64	42.300	0,47
CEBOLA safra	174,11	821.706,26	36.737	0,40
TOMATE entressafra	9,00	9.386,35	549	0,14
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,01	0	0,25
FEIJÃO entressafra	0,00	0,05	0	0,27
REPOLHO entressafra	0,00	0,08	0	0,26
ALFACE entressafra	2,20	27.006,44	517	0,47
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,40
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>970,31</b>	<b>9241370,15</b>	<b>139943</b>	<b>3,57</b>

Tabela A.30 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm³)
TOMATE safra	161,00	343.513,63	9.821	0,17
PIMENTÃO safra	142,00	392.507,09	9.372	0,30
FEIJÃO safra	180,00	1.132.495,96	20.700	0,30
REPOLHO safra	180,00	1.766.734,11	24.660	0,25
ALFACE safra	180,00	4.967.287,43	42.300	0,46
CEBOLA safra	180,00	850.000,16	37.980	0,40
TOMATE entressafra	9,00	9.384,79	549	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,22	0	0,30
FEIJÃO entressafra	0,00	1,41	0	0,30
REPOLHO entressafra	0,00	1,54	0	0,25
ALFACE entressafra	23,44	287.770,14	5.509	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,40
BANANA perene	0,00	0,27	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1055,44</b>	<b>9749696,84</b>	<b>150890</b>	<b>3,74</b>

Tabela A.31 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	172,75	368.079,24	10.538	0,20
PIMENTÃO safra	159,13	439.132,08	10.502	0,35
FEIJÃO safra	180,00	1.132.234,20	20.700	0,30
REPOLHO safra	180,00	1.766.395,26	24.660	0,25
ALFACE safra	180,00	4.967.006,55	42.300	0,46
CEBOLA safra	180,00	849.795,67	37.980	0,40
TOMATE entressafra	9,00	9.386,11	549	0,20
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,35
FEIJÃO entressafra	0,00	0,08	0	0,30
REPOLHO entressafra	0,00	0,08	0	0,25
ALFACE entressafra	5,61	68.890,19	1.319	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,40
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1066,49</b>	<b>9600919,46</b>	<b>148547</b>	<b>3,94</b>

Tabela A.32 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	83,66	179.776,07	5.103	0,06
PIMENTÃO safra	47,02	131.889,23	3.103	0,06
FEIJÃO safra	100,02	630.817,71	11.502	0,13
REPOLHO safra	159,99	1.570.708,18	21.919	0,21
ALFACE safra	166,05	4.582.131,26	39.022	0,43
CEBOLA safra	99,50	471.677,76	20.994	0,18
TOMATE entressafra	9,00	9.387,08	549	0,06
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,64	0	0,06
FEIJÃO entressafra	0,00	1,88	0	0,13
REPOLHO entressafra	0,00	1,62	0	0,21
ALFACE entressafra	0,00	3,99	0	0,43
CEBOLA entressafra	0,00	-0,01	0	0,18
BANANA perene	0,00	0,54	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,27	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>665,24</b>	<b>7576396,22</b>	<b>102193</b>	<b>2,14</b>

Tabela A.33 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	47,00	100.820,51	2.867	0,07
PIMENTÃO safra	44,21	123.284,63	2.918	0,08
FEIJÃO safra	60,00	378.326,26	6.900	0,09
REPOLHO safra	120,00	1.177.822,98	16.440	0,18
ALFACE safra	113,03	3.118.929,78	26.563	0,32
CEBOLA safra	60,65	286.711,09	12.798	0,18
TOMATE entressafra	9,00	9.388,63	549	0,07

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,07	0	0,08
FEIJÃO entressafra	0,00	0,29	0	0,09
REPOLHO entressafra	0,00	0,24	0	0,18
ALFACE entressafra	0,00	0,55	0	0,32
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,18
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>453,90</b>	<b>5195285,03</b>	<b>69034</b>	<b>1,84</b>

Tabela A.34 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	343.929,40	9.821	0,16
PIMENTÃO safra	161,00	445.390,12	10.626	0,33
FEIJÃO safra	160,00	1.008.026,70	18.400	0,24
REPOLHO safra	180,00	1.767.187,85	24.660	0,24
ALFACE safra	180,00	4.967.759,68	42.300	0,45
CEBOLA safra	159,61	754.475,05	33.678	0,34
TOMATE entressafra	9,00	9.385,24	549	0,16
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,04	0	0,33
FEIJÃO entressafra	0,00	0,46	0	0,24
REPOLHO entressafra	0,00	0,54	0	0,24
ALFACE entressafra	1,61	19.759,69	378	0,45
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,34
BANANA perene	0,00	0,09	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1012,22</b>	<b>9315914,86</b>	<b>140411</b>	<b>3,50</b>

Tabela A.35 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	122,98	263.892,62	7.502	0,10
PIMENTÃO safra	94,52	263.211,42	6.238	0,16
FEIJÃO safra	159,99	1.008.093,10	18.399	0,23
REPOLHO safra	160,00	1.571.810,52	21.920	0,19
ALFACE safra	159,96	4.414.996,30	37.590	0,39
CEBOLA safra	100,01	474.852,30	21.102	0,16
TOMATE entressafra	9,00	9.385,22	549	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,15	0	0,16
FEIJÃO entressafra	0,00	0,50	0	0,23
REPOLHO entressafra	0,00	0,46	0	0,19
ALFACE entressafra	0,00	1,07	0	0,39
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,16
BANANA perene	0,00	0,18	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>806,46</b>	<b>8006243,93</b>	<b>113299</b>	<b>2,46</b>

Tabela A.36 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	120,08	257.573,26	7.325	0,10
PIMENTÃO safra	68,50	191.424,69	4.521	0,10
FEIJÃO safra	153,70	968.652,73	17.676	0,22
REPOLHO safra	160,00	1.571.905,02	21.920	0,19
ALFACE safra	140,00	3.864.903,04	32.900	0,32
CEBOLA safra	103,66	491.886,25	21.872	0,18
TOMATE entressafra	9,00	9.386,07	549	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,10
FEIJÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,22
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,19
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,32
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,18
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>754,94</b>	<b>7355731,06</b>	<b>106762</b>	<b>2,21</b>

Tabela A.37 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	142,00	304.945,79	8.662	0,11
PIMENTÃO safra	123,00	343.229,99	8.118	0,19
FEIJÃO safra	160,00	1.008.742,27	18.400	0,22
REPOLHO safra	160,00	1.571.766,40	21.920	0,19
ALFACE safra	180,00	4.967.036,74	42.300	0,46
CEBOLA safra	146,07	690.804,39	30.822	0,30
TOMATE entressafra	9,00	9.385,75	549	0,11
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,46	0	0,19
FEIJÃO entressafra	0,00	4,42	0	0,22
REPOLHO entressafra	0,00	5,64	0	0,19
ALFACE entressafra	0,00	7,32	0	0,46
CEBOLA entressafra	0,00	-0,01	0	0,30
BANANA perene	0,00	0,45	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,18	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>920,07</b>	<b>8895929,79</b>	<b>130770</b>	<b>2,94</b>

Tabela A.38 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	94,50	202.769,87	5.765	0,08
PIMENTÃO safra	66,02	184.511,09	4.358	0,10
FEIJÃO safra	138,88	875.195,31	15.971	0,20
REPOLHO safra	160,00	1.571.353,75	21.920	0,20
ALFACE safra	180,00	4.967.513,75	42.300	0,45
CEBOLA safra	140,00	662.330,88	29.540	0,28
TOMATE entressafra	9,00	9.373,24	549	0,08

PIMENTÃO entressafra	0,00	0,03	0	0,10
FEIJÃO entressafra	0,00	0,12	0	0,20
REPOLHO entressafra	0,00	0,10	0	0,20
ALFACE entressafra	0,00	0,27	0	0,45
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,28
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>788,41</b>	<b>8473048,41</b>	<b>120402</b>	<b>2,61</b>

Tabela A.39 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	123,00	263.817,28	7.503	0,10
PIMENTÃO safra	105,57	293.782,50	6.968	0,18
FEIJÃO safra	156,13	984.014,36	17.955	0,22
REPOLHO safra	180,00	1.767.361,76	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.968.060,51	42.300	0,44
CEBOLA safra	127,60	604.278,03	26.923	0,24
TOMATE entressafra	9,00	9.375,73	549	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,25	0	0,18
FEIJÃO entressafra	0,00	0,81	0	0,22
REPOLHO entressafra	0,00	0,69	0	0,23
ALFACE entressafra	0,00	1,80	0	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,24
BANANA perene	0,00	0,27	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>881,30</b>	<b>8890694,08</b>	<b>126858</b>	<b>2,84</b>

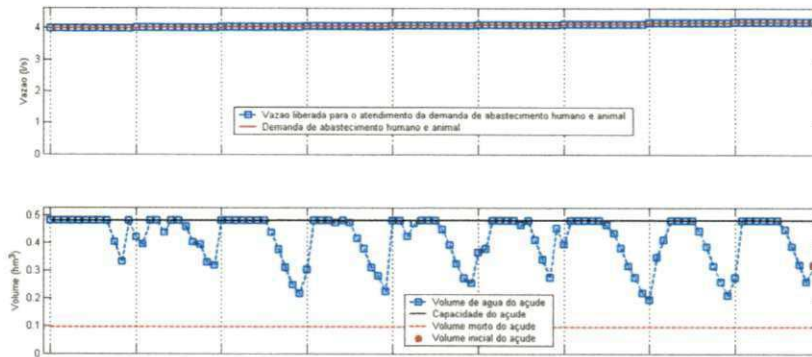
Tabela A.40 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 4

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	161,00	344.366,95	9.821	0,15
PIMENTÃO safra	158,65	439.282,66	10.471	0,32
FEIJÃO safra	160,00	1.008.328,69	18.400	0,23
REPOLHO safra	180,00	1.767.358,43	24.660	0,23
ALFACE safra	180,00	4.967.969,64	42.300	0,44
CEBOLA safra	175,61	830.226,23	37.055	0,37
TOMATE entressafra	9,96	10.383,60	608	0,15
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,72	0	0,32
FEIJÃO entressafra	0,00	0,82	0	0,23
REPOLHO entressafra	0,83	2.994,14	114	0,23
ALFACE entressafra	25,52	313.223,23	5.997	0,44
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,37
BANANA perene	0,00	0,18	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,09	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>1051,58</b>	<b>9684135,38</b>	<b>149425</b>	<b>3,49</b>

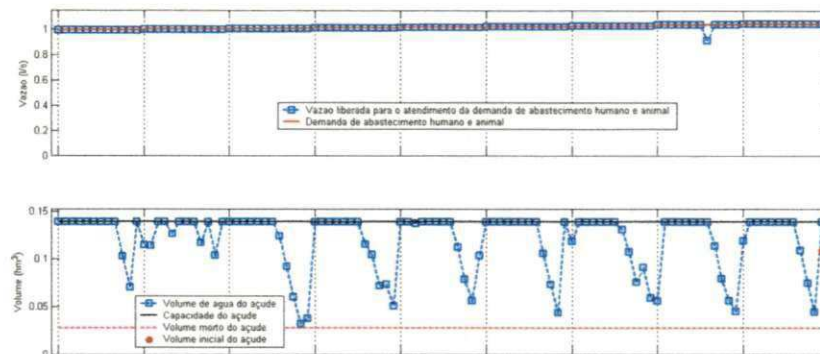


## Cenário 5

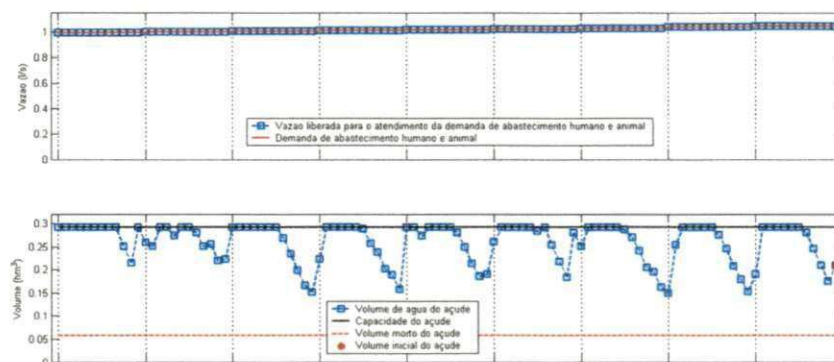
### Açude 03



### Açude 44



### Açude 51



### Açude 71

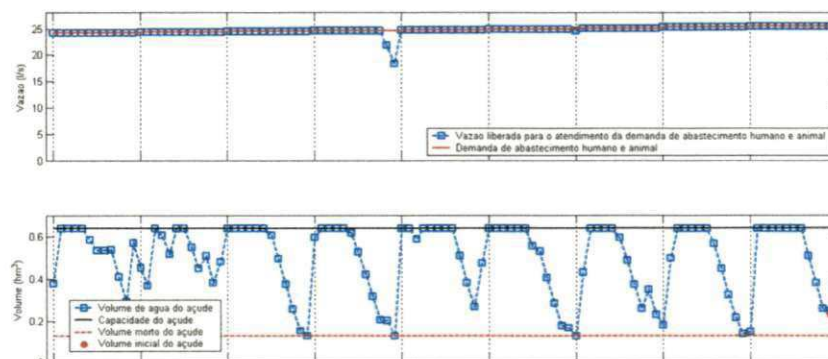
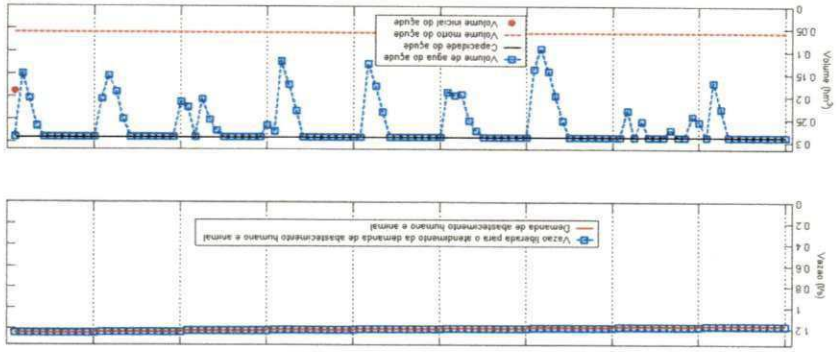
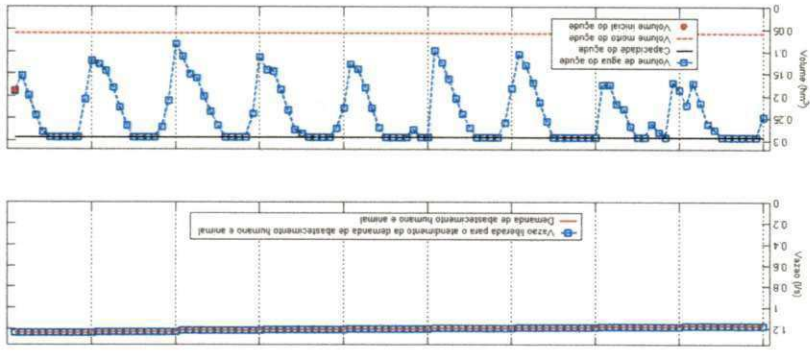




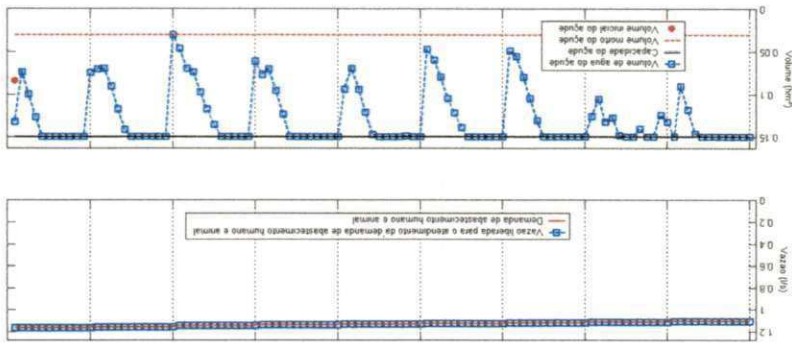
Figura A.7: Gráficos das vazões liberadas para atender as demandas do Cenário 5 e do volume mensal de água dos açudes.



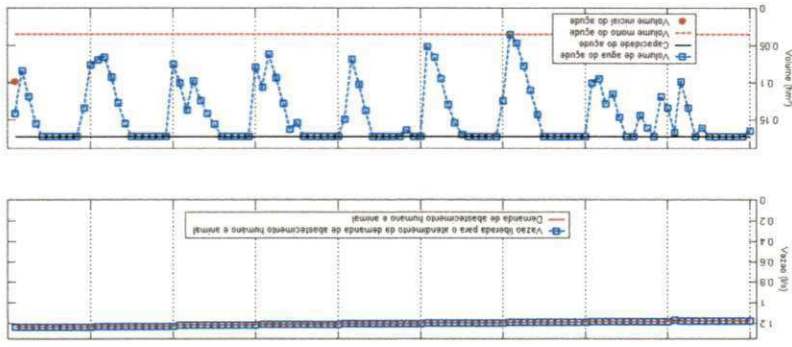
Açude 628



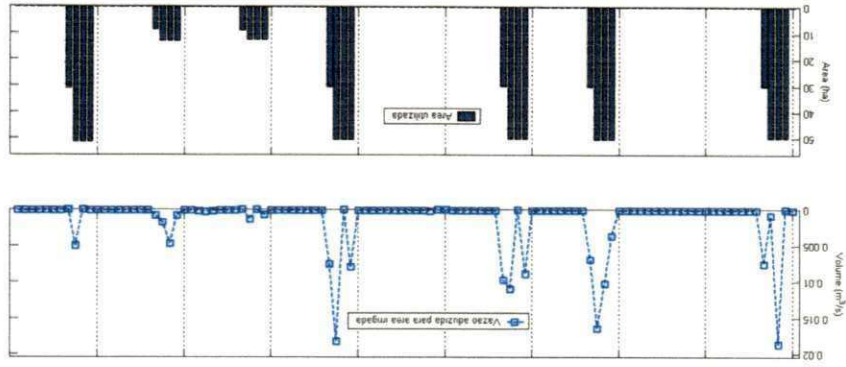
Açude 438



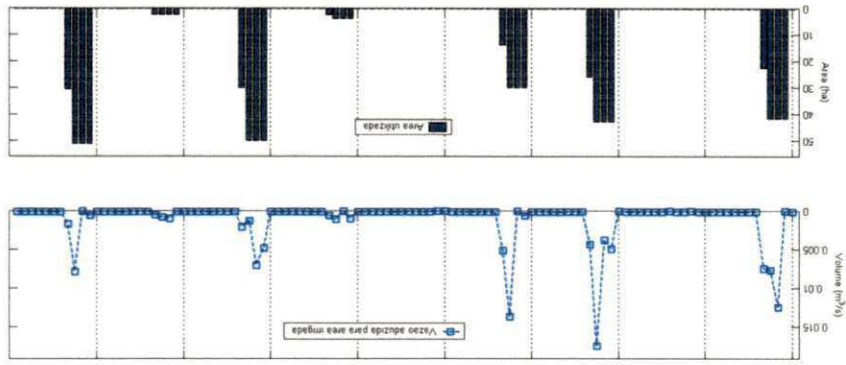
Açude 433



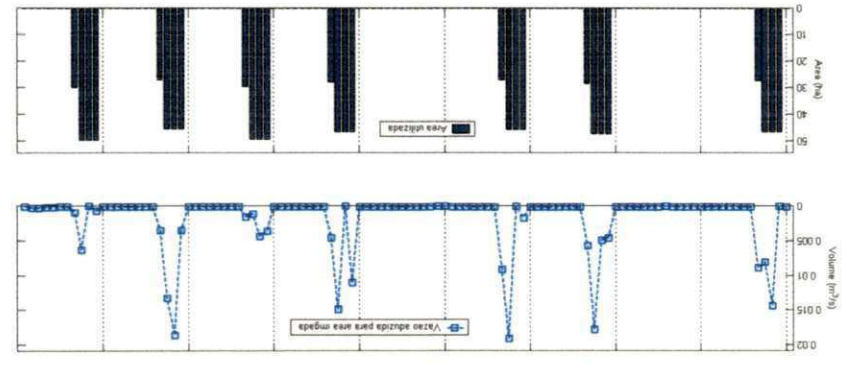
Açude 401



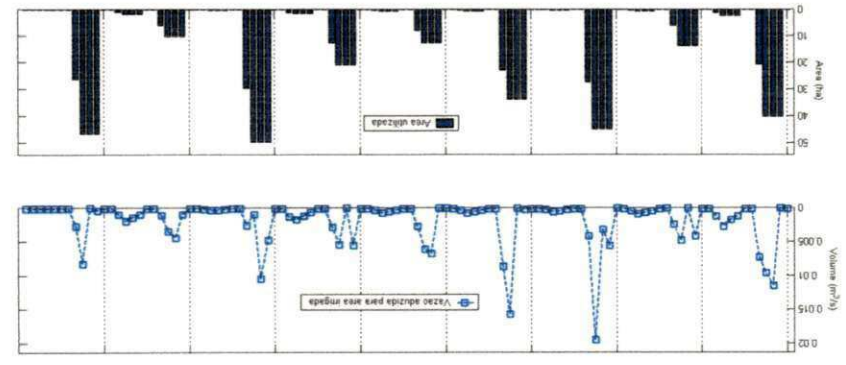
Agude 71



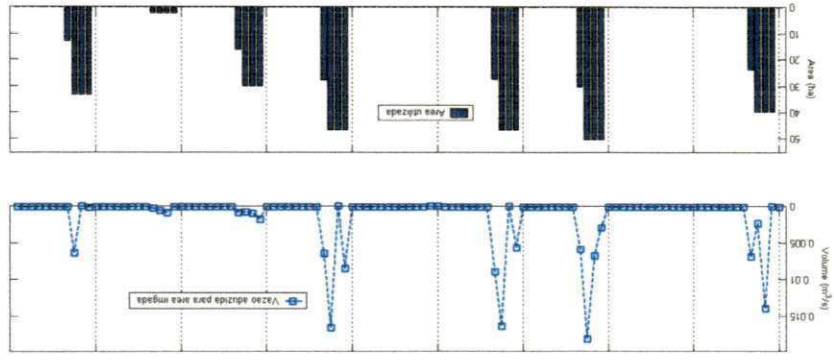
Agude 51



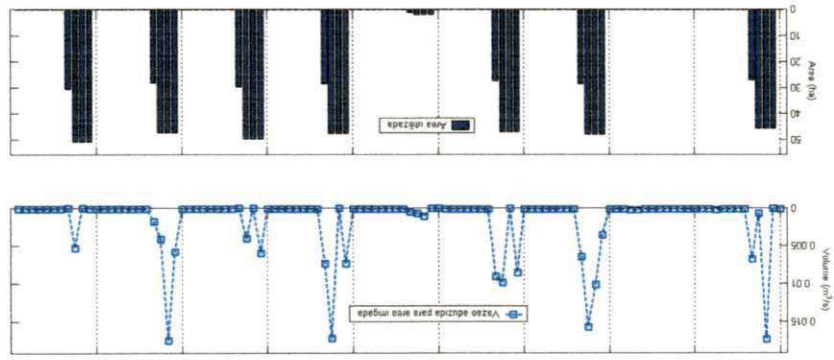
Agude 44



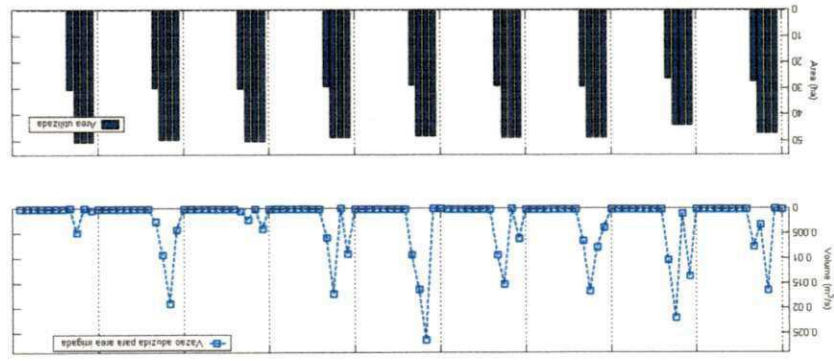
Agude 03



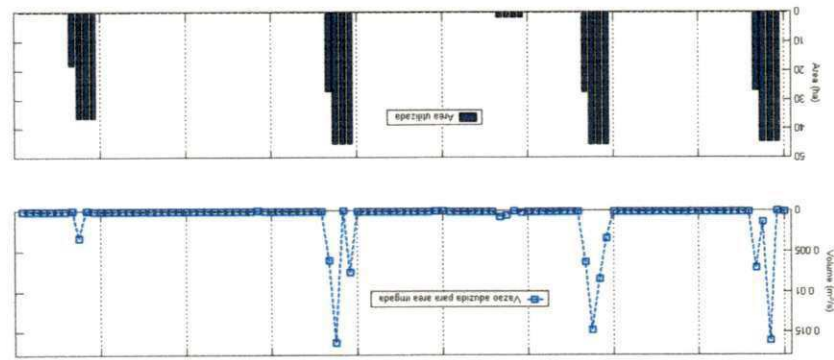
Agude 132



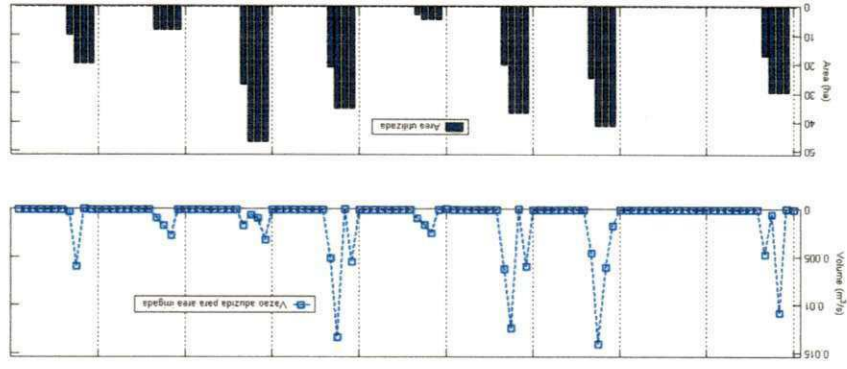
Agude 75



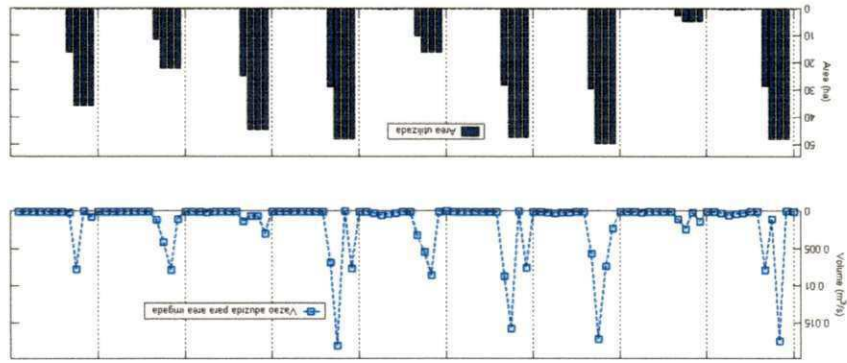
Agude 73



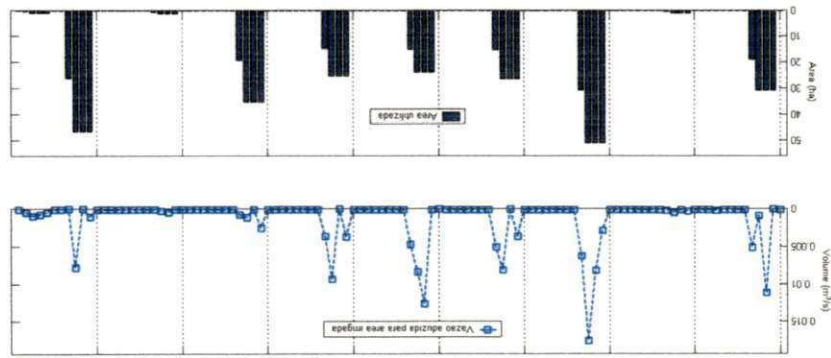
Agude 72



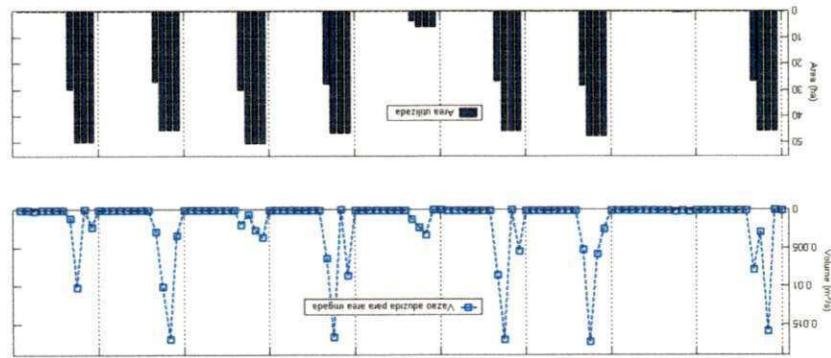
Agude 191



Agude 184

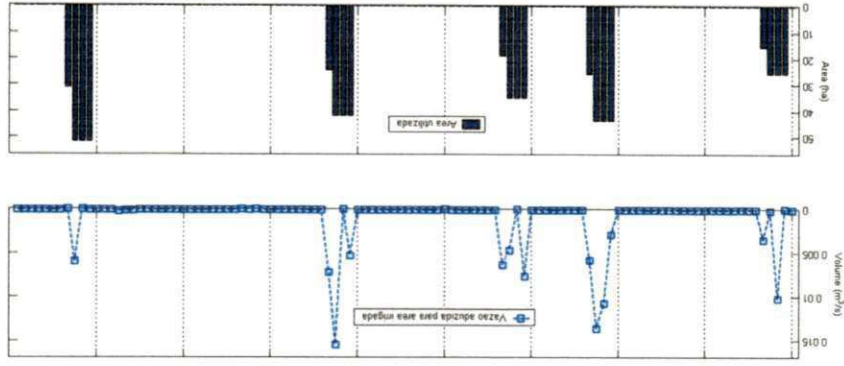


Agude 181

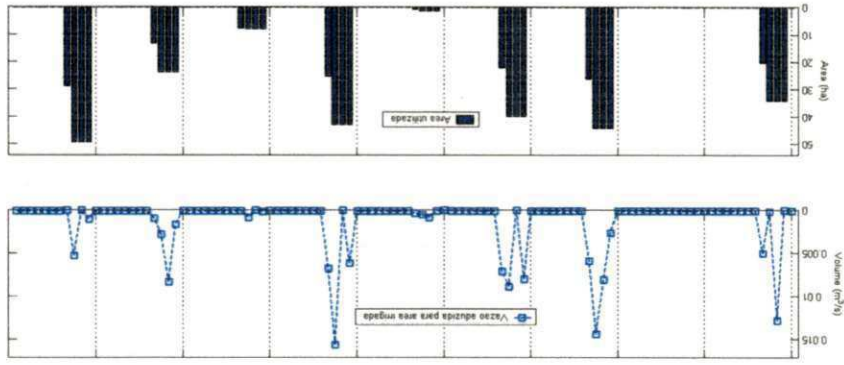


Agude 144

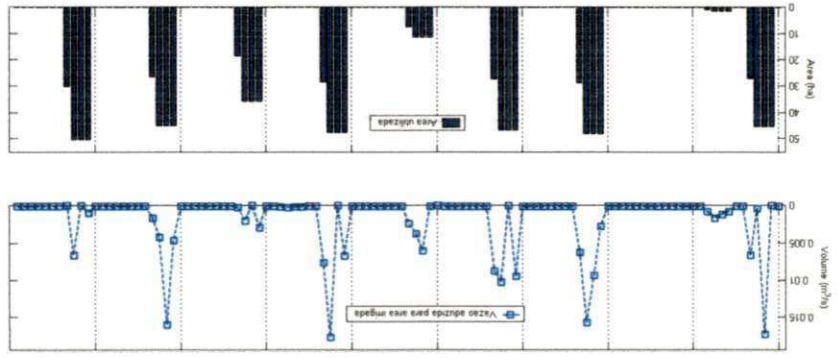




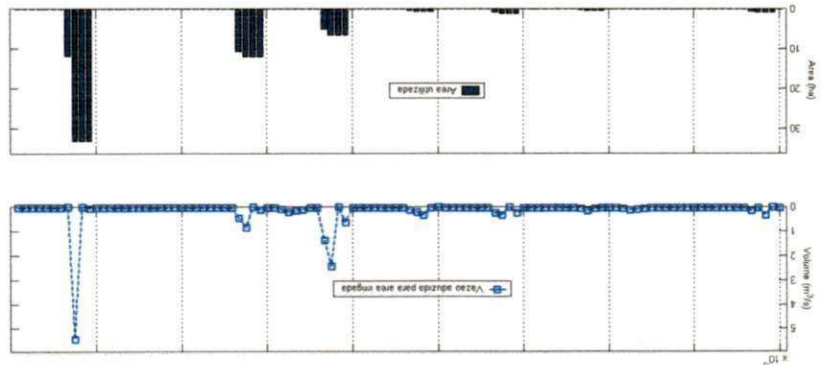
Agude 277



Agude 255

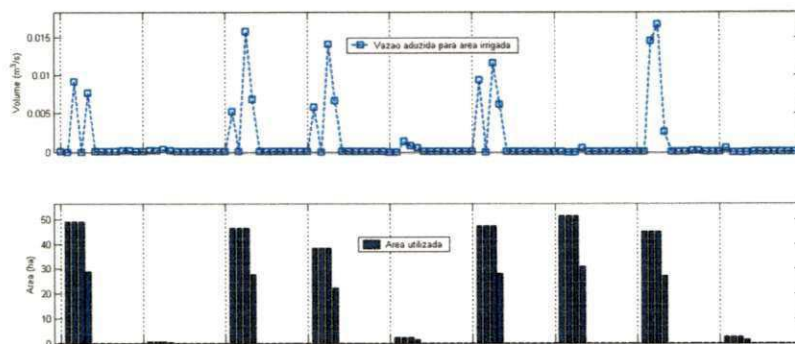


Agude 248

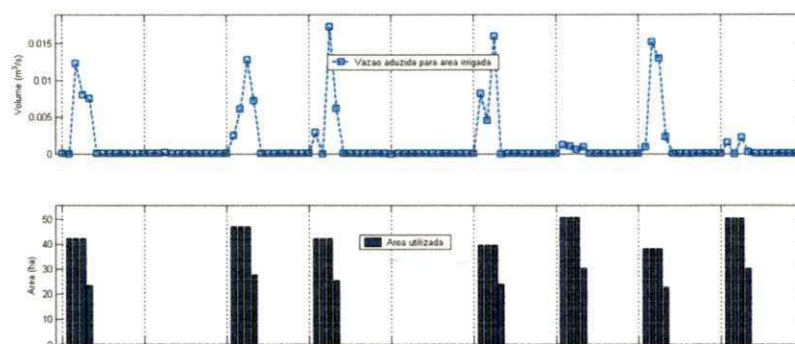


Agude 238

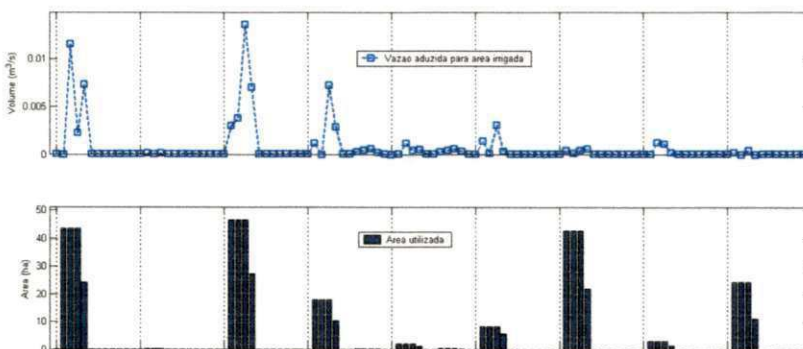
### Açude 401



### Açude 433



### Açude 438



### Açude 628

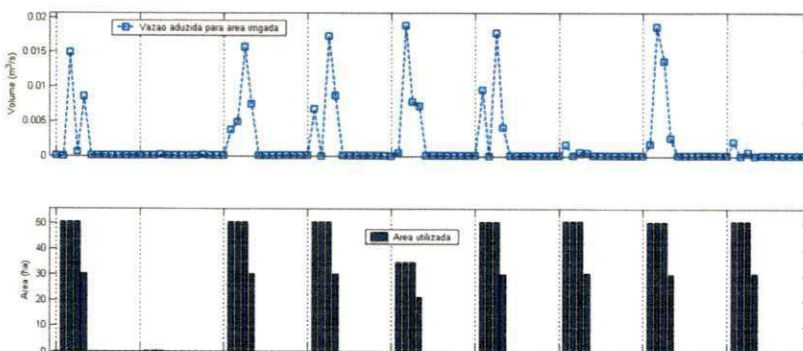


Figura A.8: Gráficos das vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 5 e das áreas utilizadas para a agricultura irrigada

Tabela A.41 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 03 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	58,37	568442,49	8326	0,10
PIMENTÃO safra	50,07	487612,05	7142	0,10
REPOLHO safra	53,41	520139,00	7618	0,09
ALFACE safra	51,44	500953,94	7337	0,08
CEBOLA safra	2,47	24054,36	352	0,10
TOMATE entressafra	1,31	12757,58	187	0,10
PIMENTÃO entressafra	2,02	19671,99	288	0,06
REPOLHO entressafra	1,37	13341,89	195	0,08
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>220,46</b>	<b>2146973,30</b>	<b>31446</b>	<b>0,71</b>

Tabela A.42 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 44 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	64,44	627555,83	9192	0,10
PIMENTÃO safra	66,16	644306,24	9437	0,12
REPOLHO safra	64,92	632230,37	9260	0,09
ALFACE safra	66,97	652194,51	9552	0,10
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,10
TOMATE entressafra	0,27	2629,42	39	0,12
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,06
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,10
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>262,76</b>	<b>2558916,37</b>	<b>37480</b>	<b>0,79</b>

Tabela A.43 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 51 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	45,58	443885,71	6501	0,07
PIMENTÃO safra	39,91	388667,81	5693	0,06
REPOLHO safra	45,84	446417,74	6539	0,06
ALFACE safra	41,89	407950,25	5975	0,05
CEBOLA safra	0,01	97,39	1	0,07
TOMATE entressafra	0,01	97,39	1	0,06
PIMENTÃO entressafra	0,01	97,39	1	0,04
REPOLHO entressafra	0,01	97,39	1	0,05
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00



GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>173,25</b>	<b>1687213,66</b>	<b>24712</b>	<b>0,46</b>

Tabela A.44 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 71 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	67,95	661738,35	9692	0,10
PIMENTÃO safra	50,52	491994,43	7206	0,08
REPOLHO safra	56,64	551594,70	8079	0,07
ALFACE safra	50,94	496084,64	7266	0,07
CEBOLA safra	0,20	1947,72	29	0,10
TOMATE entressafra	0,01	97,39	1	0,08
PIMENTÃO entressafra	0,02	194,77	3	0,04
REPOLHO entressafra	0,01	97,39	1	0,07
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>226,29</b>	<b>2203749,38</b>	<b>32278</b>	<b>0,62</b>

Tabela A.45 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 72 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	38,64	376299,77	5512	0,06
PIMENTÃO safra	27,28	265669,20	3891	0,06
REPOLHO safra	36,03	350882,01	5139	0,05
ALFACE safra	35,96	350200,31	5129	0,05
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,06
TOMATE entressafra	0,00	0,00	0	0,06
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,03
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,05
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>137,91</b>	<b>1343051,29</b>	<b>19671</b>	<b>0,40</b>

Tabela A.46 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 73 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	88,19	858847,75	12579	0,15
PIMENTÃO safra	85,68	834403,85	12221	0,17
REPOLHO safra	88,01	857094,80	12554	0,15
ALFACE safra	86,68	844142,45	12364	0,15
CEBOLA safra	0,01	97,39	1	0,15
TOMATE entressafra	0,01	97,39	1	0,17
PIMENTÃO entressafra	0,02	194,77	3	0,09
REPOLHO entressafra	0,01	97,39	1	0,15

ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>348,62</b>	<b>3395073,17</b>	<b>49727</b>	<b>1,16</b>

Tabela A.47 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 75 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	69,27	674593,31	9881	0,10
PIMENTÃO safra	66,16	644306,24	9437	0,10
REPOLHO safra	68,24	664562,54	9734	0,09
ALFACE safra	66,91	651610,19	9544	0,09
CEBOLA safra	0,09	876,47	13	0,10
TOMATE entressafra	0,08	779,09	11	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,12	1168,63	17	0,06
REPOLHO entressafra	0,08	779,09	11	0,09
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>270,94</b>	<b>2638578,18</b>	<b>38646</b>	<b>0,72</b>

Tabela A.48 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 132 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	60,55	589672,65	8637	0,09
PIMENTÃO safra	39,35	383214,19	5613	0,08
REPOLHO safra	54,15	527345,57	7724	0,07
ALFACE safra	41,09	400159,36	5861	0,07
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,09
TOMATE entressafra	0,00	0,00	0	0,08
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,04
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,07
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>195,14</b>	<b>1900391,77</b>	<b>27834</b>	<b>0,57</b>

Tabela A.49 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 144 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	68,82	670210,93	9816	0,11
PIMENTÃO safra	65,48	637683,99	9340	0,12
REPOLHO safra	67,71	659401,08	9658	0,09
ALFACE safra	66,42	646838,28	9474	0,10
CEBOLA safra	0,02	194,77	3	0,11

TOMATE entressafra	0,01	97,39	1	0,12
PIMENTÃO entressafra	0,09	876,47	13	0,06
REPOLHO entressafra	0,01	97,39	1	0,10
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>268,56</b>	<b>2615400,29</b>	<b>38307</b>	<b>0,79</b>

Tabela A.50 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 181 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	59,79	582271,31	8528	0,09
PIMENTÃO safra	39,84	387986,10	5683	0,07
REPOLHO safra	47,70	464531,55	6804	0,06
ALFACE safra	41,51	404249,58	5921	0,06
CEBOLA safra	0,20	1947,72	29	0,09
TOMATE entressafra	0,25	2434,65	36	0,07
PIMENTÃO entressafra	0,37	3603,28	53	0,04
REPOLHO entressafra	0,19	1850,34	27	0,06
ALFACE entressafra	0,01	97,39	1	0,00
CEBOLA entressafra	0,01	97,39	1	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>189,86</b>	<b>1848971,92</b>	<b>27081</b>	<b>0,54</b>

Tabela A.51 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 184 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	72,93	710236,61	10403	0,11
PIMENTÃO safra	52,68	513029,82	7514	0,10
REPOLHO safra	67,81	660374,94	9672	0,09
ALFACE safra	55,24	537960,65	7879	0,09
CEBOLA safra	0,28	2726,81	40	0,11
TOMATE entressafra	0,30	2921,58	43	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,42	4090,21	60	0,06
REPOLHO entressafra	0,29	2824,20	41	0,09
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>249,96</b>	<b>2434262,20</b>	<b>35654</b>	<b>0,75</b>

Tabela A.52 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 191 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	58,59	570584,98	8357	0,08
PIMENTÃO safra	35,72	347863,04	5095	0,06

REPOLHO safra	48,13	468719,15	6865	0,06
ALFACE safra	37,43	364516,06	5339	0,06
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,08
TOMATE entressafra	0,00	0,00	0	0,06
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,04
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,06
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>179,88</b>	<b>1751780,63</b>	<b>25658</b>	<b>0,50</b>

Tabela A.53 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 238 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	26,82	261189,44	3826	0,02
PIMENTÃO safra	1,30	12660,19	185	0,00
REPOLHO safra	12,59	122609,06	1796	0,01
ALFACE safra	1,38	13439,28	197	0,00
CEBOLA safra	0,07	681,70	10	0,02
TOMATE entressafra	0,06	584,32	9	0,00
PIMENTÃO entressafra	0,09	876,47	13	0,00
REPOLHO entressafra	0,07	681,70	10	0,00
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>42,36</b>	<b>412527,39</b>	<b>6042</b>	<b>0,06</b>

Tabela A.54 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 248 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	71,97	700887,55	10266	0,10
PIMENTÃO safra	60,65	590646,51	8651	0,10
REPOLHO safra	67,77	659985,40	9667	0,09
ALFACE safra	62,30	606715,22	8886	0,09
CEBOLA safra	0,43	4187,60	61	0,10
TOMATE entressafra	0,32	3116,35	46	0,10
PIMENTÃO entressafra	0,45	4382,37	64	0,06
REPOLHO entressafra	0,31	3018,97	44	0,09
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>264,21</b>	<b>2573037,35</b>	<b>37686</b>	<b>0,74</b>

Tabela A.55 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 255 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	60,05	584803,35	8565	0,08
PIMENTÃO safra	42,16	410579,67	6014	0,07
REPOLHO safra	48,43	471640,74	6908	0,06
ALFACE safra	43,89	427427,46	6260	0,06
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,08
TOMATE entressafra	0,00	0,00	0	0,07
PIMENTÃO entressafra	0,00	0,00	0	0,04
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,06
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perenc	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perenc	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>194,53</b>	<b>1894451,22</b>	<b>27747</b>	<b>0,53</b>

Tabela A.56 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 277 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	40,75	396848,23	5813	0,06
PIMENTÃO safra	37,08	361107,55	5289	0,06
REPOLHO safra	39,37	383408,96	5616	0,05
ALFACE safra	38,18	371820,01	5446	0,05
CEBOLA safra	0,00	0,00	0	0,06
TOMATE entressafra	0,00	0,00	0	0,06
PIMENTÃO entressafra	0,01	97,39	1	0,03
REPOLHO entressafra	0,00	0,00	0	0,05
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perenc	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>155,40</b>	<b>1513379,53</b>	<b>22166</b>	<b>0,43</b>

Tabela A.57 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 401 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	58,91	573701,34	8403	0,08
PIMENTÃO safra	54,46	530364,54	7768	0,08
REPOLHO safra	56,59	551107,77	8072	0,07
ALFACE safra	55,35	539031,90	7895	0,07
CEBOLA safra	0,13	1266,02	19	0,08
TOMATE entressafra	0,14	1363,40	20	0,08
PIMENTÃO entressafra	0,15	1460,79	21	0,05
REPOLHO entressafra	0,13	1266,02	19	0,07
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00

GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>225,86</b>	<b>2199561,78</b>	<b>32216</b>	<b>0,59</b>

Tabela A.58 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 433 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	63,42	617622,46	9046	0,09
PIMENTÃO safra	59,76	581979,15	8524	0,09
REPOLHO safra	62,29	606617,83	8885	0,08
ALFACE safra	61,14	595418,43	8721	0,08
CEBOLA safra	0,01	97,39	1	0,09
TOMATE entressafra	0,01	97,39	1	0,09
PIMENTÃO entressafra	0,01	97,39	1	0,05
REPOLHO entressafra	0,01	97,39	1	0,08
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>246,64</b>	<b>2401930,03</b>	<b>35180</b>	<b>0,65</b>

Tabela A.59 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 438 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	51,98	506212,79	7414	0,06
PIMENTÃO safra	24,65	240056,66	3516	0,04
REPOLHO safra	45,79	445930,81	6531	0,03
ALFACE safra	28,37	276284,28	4047	0,03
CEBOLA safra	0,26	2532,04	37	0,06
TOMATE entressafra	0,18	1752,95	26	0,04
PIMENTÃO entressafra	0,27	2629,42	39	0,02
REPOLHO entressafra	0,23	2239,88	33	0,03
ALFACE entressafra	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafra	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>151,72</b>	<b>1477541,45</b>	<b>21641</b>	<b>0,32</b>

Tabela A.60 – Resultados da agricultura irrigada para 09 anos – Açude 628 – Cenário 5

CULTURAS	ÁREA (ha)	RL (R\$)	MO (diárias)	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
TOMATE safra	79,39	773148,01	11324	0,11
PIMENTÃO safra	77,64	756105,45	11074	0,13
REPOLHO safra	77,32	752989,09	11029	0,10
ALFACE safra	77,59	755618,52	11067	0,11
CEBOLA safra	0,02	194,77	3	0,11
TOMATE entressafra	0,02	194,77	3	0,13
PIMENTÃO entressafra	0,05	486,93	7	0,06
REPOLHO entressafra	0,02	194,77	3	0,11

ALFACE entressafrá	0,00	0,00	0	0,00
CEBOLA entressafrá	0,00	0,00	0	0,00
BANANA perene	0,00	0,00	0	0,00
GOIABA perene	0,00	0,00	0	0,00
<b>TOTAIS</b>	<b>312,04</b>	<b>3038834,93</b>	<b>44509</b>	<b>0,86</b>