

EXEMPLAR CORRESPONDENTE À ROTAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR FREDERICO FÁBIO
MAUAD E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 20/12/2000

Camaroni
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Planejamento Integrado de Recursos
Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos
da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de
Alqueva em Portugal

Autor : **Frederico Fábio Mauad**

Orientador: **Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni**

87/00

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Planejamento Integrado de Recursos
Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos
da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de
Alqueva em Portugal**

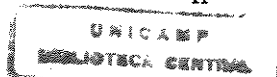
Autor : Frederico Fábio Mauad

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos.

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2000
S.P. - Brasil



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/ UNICAMP
	M44p
V.	Ex.
TOMBO BC	44119
PROC.	16-392/01
C	☐
D	☒
PREC.	R\$ 11,00
DATA	25/04/01
N.º CPD	

CM-00154674-9

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M44p

Mauad, Frederico Fábio

Planejamento integrado de recursos hidroenergéticos: o confronto de usos múltiplos da água no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em Portugal / Frederico Fábio Mauad.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Carlos Alberto Mariotoni

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Aproveitamento energético. 2. Recursos hídricos. 3. Energia hidráulica. 4. Simulação (Computadores). I. Mariotoni, Carlos Alberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

TESE DE DOUTORADO

Planejamento Integrado de Recursos
Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos
da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de
Alqueva em Portugal

Autor : Frederico Fábio Mauad

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni



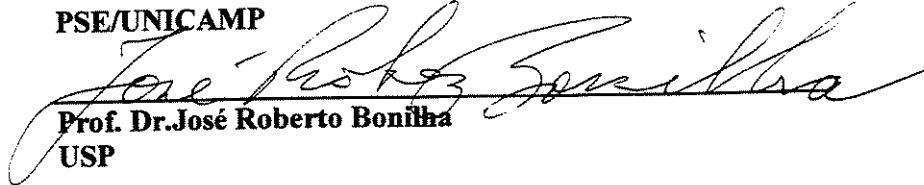
Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni, Presidente
PSE/FEC UNICAMP



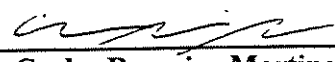
Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay
PSE/UNICAMP



Prof. Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter
PSE/UNICAMP



Prof. Dr. José Roberto Bonilha
USP



Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez
UFMG

Campinas, 20 de dezembro de 2000

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais Milton e Senira
em especial à minha esposa, companheira e amiga Ioli e
a minha fonte de inspiração e motivação de vida, minha
amada filha Gabriela.

Agradecimentos

Diversas pessoas contribuíram na elaboração deste trabalho às quais presto meu agradecimento.

A Deus pelo dom da vida.

Ao Professor Carlos Alberto Mariotoni, pela forma profissional e amiga na orientação deste trabalho.

A minha mãe que sempre me inspirou confiança e carinho.

A minha esposa que nesta jornada de quase duas décadas sempre foi meu porto seguro.

A minha filha Gabriela, fonte de energia para a minha vida.

Ao Professor Ennio Perez da Silva pela ajuda na concessão da bolsa Programa de Doutorado com Estágio no Exterior - PDDE.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Ao professor José Roberto Campos, Chefe do Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC-USP, pelo seu empenho quanto a minha liberação para o exterior.

Ao professor Luiz Antonio Daniel pela sua ajuda no período que estive fora do SHS.

Ao aluno de iniciação científica Raphael Machado pelo auxílio na leitura desta tese.

Ao Investigador Dr. Carlos Matias Ramos, Chefe do Núcleo de Hidráulica de Estruturas, pelo apoio recebido.

Ao Investigador Dr. João Saromenho Rocha pela orientação recebida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC.

Aos meus amigos de Portugal Graça Neves, Fernanda Rocha, Tereza Viseu, Paula Antão e Francisco Sancho pela forma como me receberam, bem como a minha família, o meu muito obrigado. Só tenho de reclamar da enorme saudade que vocês me trazem.

Nosso pensamento não pode ser nem demasiadamente
complexo, nem demasiadamente simples, pois o real
que ele pretende descrever, é de uma complexidade
infinita-intangível

Resumo

Mauad, Frederico Fábio, *Planejamento Integrado de Recursos Hidroenergéticos: O Confronto de Usos Múltiplos da Água no Aproveitamento Hidroelétrico de Alqueva em Portugal*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 182 p. Tese (Doutorado).

O fornecimento de energia elétrica e a disponibilidade de água são dois requisitos fundamentais para que uma região se desenvolva adequadamente. Portanto, é conveniente que um aproveitamento hidroelétrico considere a utilização da água para outras finalidades além da geração de energia elétrica. A cada dia cresce a disputa entre os vários usuários da água (agricultura, indústria, energia e abastecimento humano) que competem pelo uso deste recurso hídrico, gerando sérios conflitos. Uma possível solução para estes conflitos é uma gestão integrada e compartilhada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos. Essa gestão deve ser realizada holisticamente, de forma multidisciplinar e interdisciplinar. Não existe mais o conceito de gestão de recursos hídricos baseada exclusivamente na análise da irrigação, geração de energia ou saneamento básico. Esses conflitos estão se acentuando cada vez mais, tanto em termos nacionais como internacionais. O presente trabalho apresenta os resultados da simulação computacional do aproveitamento de fins múltiplos de Alqueva que foi realizado com o objetivo de determinar os níveis de garantia e satisfação de abastecimento dos diversos usos da água e para atender a uma regra de operação estabelecida para várias prioridades. O sistema simulado inclui os rios Guadiana e Ardila, a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão. Foram considerados dois cenários de aflúências e várias hipóteses de uso da água. Utilizou-se o modelo de simulação IRAS – Interactive River –Aquifer Simulation para a determinação da resiliência, confiabilidade e vulnerabilidade do sistema para os diversos usos da água.

Palavras Chave: Usos Múltiplos, Simulação, Aproveitamento Hidroelétrico.

Abstract

Mauad, Frederico Fábio, *Integrated Planning of Hydropower Resources: Conflict in The Water Use on The Hydroelectric Power of the Alqueva Multi-Purpose Reservoir System in Portugal*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 182 p. Doctoral Thesis

The electric energy supply and the water availability are two of the most important parameters to develop appropriately one given state region. Therefore, it's convenient that an Hydroelectric Power Plant considers the use of water for other goals besides generating electric energy. The crescent increasing in the water users number (agriculture, industry, energy and urban supply) is competing for hydro source, resulting some troublesome conflicts. A possible solution for these conflicts is an integrated and shared use, controlling and saving hydro sources. This use must be carried out, on both multidisciplinary and interdisciplinary way. There is no longer the concept of water usage based exclusively on irrigation analyses, energy generation or sanitation. These conflicts are becoming bigger and bigger, on both national and international aspects.

This work presents the results of the simulation study of the Alqueva multi-purpose reservoir system, with the aim to fix both guaranty and satisfaction levels for several water uses as well as to establish the operating rules for different priorities.

The main target of this simulation is to analyze the reliability, resilience, and vulnerability levels of different water uses. The simulated system includes the Guadiana and Ardila rivers, and the reservoirs of Alqueva and Pedrogão. Two scenarios for inflow and several hypothesis for water uses has been considered. The IRAS – Interactive River-Aquifer Simulation model is presented.

Key Words: Multiple Uses, Simulation, Hydroelectric Power

Indice

Lista de Figuras	xvi
Lista de Tabelas	xxii
Lista de Quadros	xxiii
1 Considerações Gerais	01
2 Revisão Bibliográfica	07
3 Desenvolvimento de Barragens em Portugal – Estado Presente	21
4 Caracterização Geral da Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana	54
5 Potencialidades da Irrigação em Portugal	63
6 Descrição do Modelo	94
7 Apresentação dos Resultados	128
8 Conclusões	149
9 Referências Bibliográficas	157
10 Anexo	167
11 Apêndice	179

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Sumário

1- PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS: O CONFRONTO DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO APROVEITAMENTO DE ALQUEVA EM PORTUGAL

1.1- Considerações gerais	01
1.2- Objetivos	04
1.3- Apresentação geral	05

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Introdução	07
2.2- Objetivos e fins do aproveitamento dos recursos hidroenergéticos	08
2.3- Planejamento de sistema. de gestão dos recursos hidroenergéticos	08
2.4- Tipos de modelos matemáticos de apoio ao planejamento e à gestão de sistemas de recursos hidroenergéticos	09
2.4.1- Modelos de otimização	09
2.4.2- Programação linear	09
2.4.3- Programação dinâmica (PD)	09
2.4.4- Modelos de simulação	12

2.5- Formulação do problema de planeamento de sistemas de recursos hidroenergéticos	14
2.6- Metodologia para a resolução do problema do planeamento de sistema de recursos hidroenergéticos	16
2.7- Modelos de dimensionamento de reservatórios	16
2.8- Modelos para a resolução do problema do escalonamento	17
2.9- Incerteza no planeamento de recursos hidroenergéticos	17
2.10- Métodos propostos para lidar com a incerteza	18
2.11- Avaliação do comportamento de sistemas de reservatórios	18
2.12- Caracterização de falhas no modelo IRAS	19
 3- DESENVOLVIMENTO DE BARRAGENS EM PORTUGAL – ESTADO PRESENTE	
3.1 - Introdução	21
3.2 - Estruturas legais	22
3.2.1- Leis Nacionais	22
3.2.2- Reservatórios	23
3.2.2-1. Convenções Internacionais	24
3.2.3- Reservatórios de armazenamento	26
3.3 - Usos da água na Europa	32
3.4 - Represas em construção	33
3.5 - Planeamento de novas represas	34
3.5.1- Cenário 1 – Consolidação e tradição	34

3.5.2- Cenário 2 – Diversificação e crescimento industrial	35
3.5.3- Cenário 3 – Intensificação de serviços e internacionalismo	36
3.6 Seleção de projetos	37
3.6.1- Represa Arade	39
3.6.1.1- Descrição resumida da represa e do reservatório	39
3.6.1.2- Metas	39
3.6.2- Represa de Montargil	42
3.6.2.1- Descrição resumida da represa e do reservatório	42
3.6.2.2- Metas	42
3.6.3- Represa Aguieira	45
3.6.3.1- Descrição resumida da represa e do reservatório	45
3.6.3.2- Metas	45
3.6.4- Represa Alqueva	48
3.6.4.1- Descrição resumida da represa e do reservatório	48
3.6.4.2- Metas	50
3.6.4.3- Passado histórico	50
3.6.4.4- Medidas de Minimização	51
3.6.4.5- Planos de conservação	51
3.7 - Escolha do local do aproveitamento para a simulação computacional	52
4-CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUADIANA	
4.1- Localização	54
4.2- Morfologia e relevo	54

4.3- Geologia e pedalogia	55
4.4- Clima	56
4.5- Hidrografia da Bacia	57
4.6- Escoamento	58
4.7- Características socio-econômicas	58
4.8- Indústria	59
4.9- Aproveitamentos hidráulicos	59
4.10- Agricultura	59
4.11- Fontes de poluição	60
5 - POTENCIALIDADES DA IRRIGAÇÃO EM PORTUGAL	
5.1- Considerações gerais	63
5.2- A agricultura portuguesa	64
5.2.1- Introdução	64
5.2.2- Solos	65
5.2.3- Clima	66
5.2.4- Explorações agrícolas	67
5.2.4.1- Consumo de Adubos	70
5.2.4.2- Área irrigável na superfície agrícola	70
5.2.5- Produção vegetal	71
5.3- Disponibilidades e necessidades hídricas no setor agrícola	76
5.3.1- Disponibilidades hídricas de Portugal Continental	76
5.3.1.1- Balanço hídrico	76

5.3.1.2- Necessidades de água	79
5.3.2- Água para a agricultura	81
5.3.2.1- Área irrigável	81
5.3.2.2- Necessidades de água para a agricultura	84
5.3.2.3- Aproveitamentos hidroenergéticos na agricultura	88
5.4- Métodos de irrigação	90
5.4.1- Classificação dos métodos de irrigação	90
5.4.2- Descrição de alguns métodos de irrigação	91
5.4.2.1- Irrigação por sulcos	91
5.4.2.2- Irrigação por faixas	91
5.4.2.3- Irrigação por aspersão	92
5.4.2.4- Aspersão e gotejamento	92
6-DESCRIÇÃO DO MODELO	
6.1- Introdução	94
6.2- O modelo de simulação – IRAS	94
6.3- Descrição do sistema utilizado	99
6.3.1- Estruturas	99
6.3.2- Afluências	103
6.4- Consumo de água	103
6.4.1- Consumos urbano e industrial	103
6.4.2- Consumo de irrigação	106
6.4.3- Consumo no Algarve e Espanha	110

6.4.4- Consumo de água na produção de energia elétrica	112
6.4.5- Consumo da vazão ecológica	115
6.4.6- Consumo por evaporação	116
6.5- Definição das regras de operação do sistema	117
6.6- Dados limites utilizados no modelo IRAS	121
6.7- Definição espacial e temporal	123
6.8- Impressão das séries de tempo ou de espaço	124
6.9- Indicadores dinâmicos	124
6.10- Indicadores estatísticos	125
6.11- Distribuição da probabilidade	126
7- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	
7.1- Vulnerabilidade	139
7.2- Resultados do balanço hidrológico proposto no algoritmo	146
8- CONCLUSÕES	
9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
9.1- Referências Bibliográficas Complementares	165

Lista de Figuras

Figura 3.1	
Número de barragens construídas por década.....	22
Figura 3.2	
Bacias hidrográficas conjuntas de Portugal e Espanha.....	24
Figura 3.3	
Localização dos reservatórios – Zona Norte.....	29
Figura 3.4	
Localização dos reservatórios – Zona Centro.....	30
Figura 3.5	
Localização dos reservatórios – Zona Sul.....	31
Figura 3.6	
Localização das barragens escolhidas.....	38
Figura 3.7	
Planta, desenvolvimento da secção e cortes transversais do aproveitamento de Arade.....	40
Figura 3.8	
Foto da barragem de Arade.....	41
Figura 3.9	
Planta, desenvolvimento da secção e cortes transversais do aproveitamento de Montargil.....	43
Figura 3.10	
Foto da barragem de Montargil.....	44
Figura 3.11	
Planta, desenvolvimento da secção e cortes transversais do aproveitamento de Aguieira.....	46
Figura 3.12	
Foto da barragem de Aguieira.....	47

Figura 3.13	
Localização da barragem de Alqueva.....	49
Figura 4.1	
Localização da bacia hidrográfica do Rio Guadiana.....	54
Figura 5.1	
Comparação de disponibilidades hídricas.....	64
Figura 5.2	
Aptidão e utilização dos solos.....	65
Figura 5.3	
Regiões climáticas de Portugal.....	66
Figura 5.4	
Superfície agrícola utilizada por região agrária.....	68
Figura 5.5	
Regiões agrárias.....	69
Figura 5.6	
Distribuição da SAU em culturas permanentes e temporárias.....	69
Figura 5.7	
Evolução do consumo de adubos em Portugal.....	70
Figura 5.8	
Principais culturas irrigadas.....	71
Figura 5.9	
Evolução da produção de milho no continente na década de 80.....	73
Figura 5.10	
Evolução da produção de batata no continente na década de 80.....	73
Figura 5.11	
Evolução da produção de girassol no continente na década de 80.....	73
Figura 5.12	
Distribuição espacial da cultura do milho em Portugal.....	74

Figura 5.13	
Distribuição espacial da cultura do girassol em Portugal.....	75
Figura 5.14	
Rendimento da produção de milho nos países mediterrâneos da Comunidade Europeia.....	76
Figura 5.15	
Balanço hídrico para Portugal continental.....	77
Figura 5.16	
Balanço hídrico por região hidrográfica.....	78
Figura 5.17	
Necessidades e consumo efetivos de água por setores.....	80
Figura 5.18	
Necessidades de água por setores e região hidrográfica.....	82
Figura 5.19	
Distribuição espacial da percentagem de superfície irrigável na SAU.....	83
Figura 5.20	
Distribuição espacial das necessidades de água para a agricultura em Portugal.....	86
Figura 5.21	
Necessidades e consumos efetivos de água por setores em 2000 e 2020.....	87
Figura 5.22	
Irrigação por aspersão.....	93
Figura 6.1	
Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo.....	96
Figura 6.2	
Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo.....	96
Figura 6.3	
Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo.....	97

Figura 6.4	
Esquema do empreendimento de Alqueva simulado.....	100
Figura 6.5	
Curva de área inundada e de volume armazenado do reservatório de Alqueva.....	101
Figura 6.6	
Curva de área inundada e de volume armazenado do reservatório de Pedrogão.....	102
Figura 6.7	
Alocação dos consumos urbano e industrial no modelo IRAS.....	105
Figura 6.8	
Alocação dos consumos urbano e industrial no modelo IRAS.....	105
Figura 6.9	
Alocação do consumo de irrigação no modelo IRAS.....	109
Figura 6.10	
Alocação do consumo de irrigação no modelo IRAS.....	109
Figura 6.11	
Alocação do consumo de irrigação no modelo IRAS.....	110
Figura 6.12	
Consumo no Algarve.....	111
Figura 6.13	
Consumo no Algarve e na Espanha.....	111
Figura 6.14	
Entrada de dados para geração de energia elétrica.....	113
Figura 6.15	
Vazão Ecológica.....	116
Figura 6.16	
Dados de evaporação utilizados no modelo IRAS.....	117
Figura 6.17	
Entrada de dados da regra de liberação do reservatório de Pedrogão.....	120

Figura 6.18	
Regra de operação do sistema Alqueva.....	120
Figura 6.19	
Variáveis simuladas em nós e nas ligações seleccionadas.....	122
Figura 6.20	
Valores de pontos iniciais para o aproveitamento de Alqueva.....	123
Figura 7.1	
Índices de confiabilidade e resiliência em Alqueva.....	130
Figura 7.2	
Volume armazenado em Alqueva.....	130
Figura 7.3	
Escoamento afluente no reservatório de Alqueva.....	131
Figura 7.4	
Escoamento efluente do reservatório de Alqueva.....	131
Figura 7.5	
Índices de confiabilidade e resiliência em Pedrogão.....	132
Figura 7.6	
Volume armazenado em Pedrogão.....	133
Figura 7.7	
Escoamento afluente no reservatório de Pedrogão.....	133
Figura 7.8	
Escoamento efluente no reservatório de Pedrogão.....	134
Figura 7.9	
Índices estatísticos para consumo de irrigação.....	135
Figura 7.10	
Confiabilidade e resiliência para o consumo no Alqueva.....	136
Figura 7.11	
Índices estatísticos para a vazão ecológica.....	137

Figura 7.12	
Índices estatísticos da geração de energia elétrica em Alqueva.....	138
Figura 7.13	
Estatística do consumo urbano e industrial.....	139
Figura 7.14	
Probabilidade em relação ao armazenamento de Alqueva.....	141
Figura 7.15	
Probabilidade em relação ao armazenamento de Pedrogão.....	142
Figura 7.16	
Probabilidade de afluências no sistema de irrigação.....	143
Figura 7.17	
Probabilidade das afluências em Algarve e Espanha.....	144
Figura 7.18	
Probabilidade das afluências em relação ao volume ecológico.....	145
Figura 7.19	
Probabilidade das afluências em relação ao volume urbano e industrial.....	146

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	
Volumes utilizados por setor nas principais bacia hidrográficas - 1994.....	27
Tabela 3.2	
Características e usos principais dos reservatórios – 1994.....	28
Tabela 3.3	
Porcentagem de distribuição dos usos mais importantes da água.....	33
Tabela 3.4	
Novos projetos hidrelétricos.....	33
Tabela 3.5	
Características da barragem e reservatório de Arade.....	39
Tabela 3.6	
Características da barragem e reservatório de Montargil.....	42
Tabela 3.7	
Características da barragem e reservatório de Aguieira.....	45
Tabela 3.8	
Características da barragem e reservatório de Alqueva.....	48
Tabela 6.1	
Combinações alternativas de cor associadas com as zonas de valores variáveis.....	121

Lista de Quadros

Quadro 2.1

Classificação de modelos de dimensionamento de reservatórios.....12

Quadro 5.1

Aptidão e utilização dos solos65

Quadro 5.2

Características médias das regiões de Portugal.....67

Quadro 5.3

Distribuição da classe por área, segundo a superfície irrigada.....71

Quadro 5.4

Valores médios das necessidades e consumos de água.....81

Quadro 5.5

Necessidades de água para irrigação no semestre seco (abril a setembro) em anos médio, seco e úmido.....85

Quadro 5.6

Necessidades de água para os efetivos pecuários em ano médio.....87

Quadro 5.7

Aproveitamentos hidroenergéticos em exploração na agricultura.....88

Quadro 6.1

Características dos reservatórios de Alqueva e Pedrogão.....100

Quadro 6.2

Características estatísticas das séries de escoamentos utilizados.....103

Quadro 6.3

Volumes anuais para consumo urbano e industrial.....104

Quadro 6.4

Sistema baixo alentejo.....106

Quadro 6.5	
Volume anual para irrigação direta exigida pelos reservatórios.....	106
Quadro 6.6	
Volumes anuais para complemento de perímetros autônomos.....	107
Quadro 6.7	
Distribuição mensal dos consumos.....	108
Quadro 6.8	
Produções anuais médias em GWh.....	112
Quadro 6.9	
Vazão ecológica recomendada para a Guadiana.....	115
Quadro 6.10	
Distribuição mensal da evaporação (mm).....	117

PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS: O CONFRONTO DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE ALQUEVA EM PORTUGAL

1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade é fundamental para o desenvolvimento de uma região, pois é um fator que interfere na ocupação e no uso do solo, tendo, conseqüentemente, influência sobre a localização das atividades econômicas dessa região. Para garantir essa disponibilidade, é necessária eficiência no planejamento e controle dos recursos hídricos que deve incluir ações, visando a proteção, recuperação e conservação destes recursos. Dessa maneira, em um aproveitamento de recursos hidroenergéticos deve haver considerações sobre as suas utilizações múltiplas. Sempre que for possível, um aproveitamento deve enfatizar o uso de água para irrigação e outras atividades, além da geração de energia elétrica.

Atualmente, com o agravamento desses problemas, a administração racional dos recursos hídricos torna-se uma necessidade urgente.

A falta de sincronismo no tempo e no espaço entre a disponibilidade de água e suas necessidades levou, a muito tempo atrás, a construção e exploração de estruturas de transporte e armazenamento de água. Os elevados custos econômicos, ambientais e sociais destas estruturas, sugerem a construção de sistemas com usos múltiplos para aproveitar efeitos de escala. Os usos mais comuns dos aproveitamentos hidroenergéticos são o abastecimento de água às populações, indústria, agricultura, produção de energia, proteção contra cheias, manutenção de vazões mínimas para navegação, diluição de cargas poluentes, manutenção da fauna piscícola e ripícola e a criação de lugares aprazíveis para lazer. Pode-se observar que usos como a produção de energia, que exige níveis elevados de armazenamento nos reservatórios, e a proteção contra cheias que busca evitar níveis muito elevados podem ser, de certa forma, conflitantes. Os abastecimentos de água às populações, indústria e agricultura são exemplos de outros usos concorrentes.

O surgimento de sistemas de aproveitamentos de recursos hídricos, compostos por exemplo, por várias barragens, sistemas de adução e aquíferos, deram origem a problemas mais complexos de planejamento e gestão. O planejamento, procedimento organizado com vista a escolher a melhor alternativa para atingir determinado objetivo, quando existem hipóteses alternativas de construção e restrições de financiamento passam, não só pela definição do número de barragens a serem construídas como também pelo dimensionamento das mesmas. Os aproveitamentos hidráulicos, se forem criteriosamente planejados, podem ter fortes repercussões sobre o desenvolvimento econômico e social de uma região, sobretudo através da produção de energia hidroelétrica e do aumento de produção de alimentos determinado por uma eficiente irrigação. A gestão dos sistemas de aproveitamento de recursos hídricos tem como objetivo básico otimizar a utilização das infra-estruturas construídas de modo a retirar o máximo benefício desses recursos, satisfazendo também as restrições de operação que possam ser estabelecidas, (CUNHA, B. et al., 1980).

O planejamento e a gestão de sistemas de recursos hidroenergéticos se constituem em tarefas geralmente complexas. Exigem a consideração de um elevado número de variáveis num ambiente de incerteza e risco e a avaliação de vários usos concorrentes. A incerteza e o risco provêm sobretudo da variabilidade dos parâmetros hidrológicos. Em planejamento, a eventual indefinição da evolução da taxa de juros e dos preços durante a elaboração do projeto, pode constituir-se em uma fonte adicional de incerteza e risco.

A utilização de modelos computacionais que representam a realidade em estudo, constitui um excelente instrumento de apoio à decisão. Dois tipos de modelos têm sido utilizados: modelos de otimização e modelos de simulação.

Os modelos de otimização proporcionam uma pesquisa automática e sistemática do espaço de soluções admissíveis, conduzindo em princípio à solução que maximiza ou minimiza a função objetivo estabelecida. Estes modelos obrigam, no entanto, a simplificações e aproximações que se afastam da descrição física e hidrológica dos sistemas de reservatórios. A solução final encontrada pode, deste modo, afastar-se de forma significativa da melhor solução real.

Os modelos de simulação não exigem tantas aproximações e simplificações, permitindo deste modo uma descrição detalhada da realidade física e uma avaliação completa de cada alternativa em estudo. Dado que estes modelos não possuem um esquema automático e

sistematizado de pesquisa do espaço de soluções, a utilização dos modelos de simulação, com o objetivo de determinar a solução que maximiza um dado critério pré-definido e satisfaz um conjunto de restrições pré-estabelecidas, exige, no entanto, um processo de tentativa e erro.

Este estudo apresenta o uso do conjunto de técnicas de análise de sistemas, nomeadamente modelo de simulação no planeamento e gestão dos sistemas de recursos hídricos. Baseado num caso prático real, este trabalho tem por objetivo principal o estudo da articulação destas técnicas, com o intuito de atingir resultados de aplicação prática. Este estudo insere-se no “Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva para a Utilização Integrada dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana”, que tem sido analisado pelo LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Departamento de Hidráulica - Núcleo de Hidráulica de Estruturas).

O Departamento de Hidráulica é um dos sete setores operativos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Criado em 1948, desenvolve atividade de investigação aplicada nos domínios da água, energia e do ambiente em meios hídricos, no que diz respeito aos meios hídricos em si, bem como às obras hidráulicas associadas. Estuda assim os meios hídricos, como os rios, águas subterrâneas, estuários, orla litoral e mar, as estruturas hidráulicas fluviais, como barragens e açudes, as estruturas hidráulicas marítimas, como portos, quebra-mares e canais de navegação e os sistemas de saneamento básico, como instalações de abastecimento de água, de drenagem e tratamento de águas residuais e de resíduos sólidos.

Estes estudos são realizados aos níveis de apoio ao planeamento, ao projeto, à construção, à gestão, à operação, à manutenção e à reabilitação.

A abordagem que faz aos problemas relacionados com a “água” respeita não só a parcela quantitativa, mas também a qualitativa, com uma crescente interação com os aspectos ambientais, seguindo deste modo as preocupações atuais da sociedade. Para a execução dos seus projetos, o Departamento de Hidráulica utiliza como metodologias de abordagem dos problemas os estudos analíticos, a modelação matemática, a modelação física, a experimentação de campo e de laboratório.

O Departamento de Hidráulica conta com uma equipe de cerca de 105 elementos, dos quais metade pertencem à carreira de pesquisa e os restantes são pessoal técnico, administrativo e operário. Os pesquisadores têm formação de base diversificada, com licenciaturas maioritariamente em engenharia civil, mas também em engenharia mecânica, elétrica, química do ambiente e de demais áreas fora da engenharia.

Têm, além disso, formação a nível de pós-graduação específica do LNEC e de doutoramento. Trata-se, sem dúvida, da mais vasta equipe que em Portugal se dedica à pesquisa no domínio da água, possibilitando pela sua diversificada formação de base, uma abordagem multidisciplinar dos problemas.

A simulação computacional é realizada com elementos fornecidos pela Direção de Planeamento do Sistema Produtor de Alqueva. Como caso de estudo, o sistema simulado inclui a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão e os rios Guadiana e Ardila. Considera-se que o sistema teria de fornecer água para consumo urbano e industrial para irrigação e para o reforço de abastecimento ao Algarve e eventualmente ao sul de Espanha. É utilizada uma série de escoamentos mensais afluentes ao reservatório de Alqueva e Açude de Pedrogão. Estas séries incluem valores dos anos hidrológicos de 1952/53 a 1989/90.

É utilizado o modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation, desenvolvido na Universidade de Cornell e pela "Resources Planning Associates", EUA, (LOUCKS D. et al., 1994). A simulação utilizou-se de um intervalo de cálculo diário, mas os valores diários de afluências e consumos de água foram calculados a partir de valores mensais.

1.2 - OBJETIVOS

A utilização de simulação computacional é considerada uma das melhores alternativas para a avaliação de conflitos causados pelos usos múltiplos na gestão de sistema de recursos hidroenergéticos, pois permite estudar e mensurar os impactos relativos às várias políticas de operações distintas.

O processo contínuo de simulação, baseado no balanço hídrico anual de um conjunto de reservatórios e de um centro de consumo interligados por sistemas de transferência (canais e condutos), permite que vários cenários de alocação das disponibilidades de água entre os usuários possam ser estabelecidos. Isto possibilita a minimização de prejuízos resultantes de eventuais falhas de abastecimento, além de orientar na escolha de melhores alternativas para o sistema, visando obter os melhores benefícios técnico-econômicos e sociais com menores riscos associados.

Com a utilização de dados reais do aproveitamento de Alqueva, é possível estabelecer vários cenários, onde estão quantificados os dados de geração de energia, bem como os dados de

consumo de água para irrigação e outros usos, visando-se determinar a convivência harmoniosa destas finalidades oriundas do mesmo recurso hídrico.

Os resultados do modelo incluem os valores que cada variável simulada assume ao longo da simulação. O programa calcula vários índices e funções que indicam o nível com que os objetivos da operação do sistema foram satisfeitos. O programa estima a função de probabilidade de resiliência que indica a probabilidade de ocorrência de seqüências de falhas de fornecimento com várias durações e uma função de probabilidade de vulnerabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de falhas de fornecimento com várias magnitudes. Também é feita a aplicação da regra de operações do reservatório para a determinação das prioridades para o consumo do sistema, indicando qual a percentagem obtida em função das prioridades estabelecidas, possibilitando deste modo avaliar a confiabilidade e a resiliência do sistema para a regra de operações que foi proposta neste estudo.

Através de um algoritmo que foi desenvolvido para este estudo, foi possível estabelecer os níveis de garantia de abastecimento obtidos para as diversas hipóteses de consumo de “água”. Entende-se como nível de garantia o número de meses (em percentagem) em que os objetivos de fornecimento são atendidos em satisfação do consumo e do volume de água fornecido durante todo o período da simulação computacional.

1.3 - APRESENTAÇÃO GERAL

O trabalho divide-se em nove capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma discussão sucinta do trabalho, da definição dos objetivos e da apresentação geral. No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica. O capítulo três faz a justificativa da escolha do local para a simulação computacional. No quarto capítulo é feita a caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Guadiana. O capítulo cinco descreve uma panorâmica geral da informação existente sobre as potencialidades da agricultura, disponibilidades e necessidades hídricas e métodos de irrigação. O capítulo seis compreende a descrição do modelo, do sistema utilizado, dos vários consumos, da definição das regras de operação do sistema para as opções tomadas no caso concreto da bacia hidrográfica do Guadiana. No capítulo sete estão os resultados do modelo de simulação utilizado e as opções de operação do sistema que estão na base de simulação dos aproveitamentos de recursos hídricos para usos

múltiplos. Os resultados obtidos e a sua validação estatística são apresentados sob forma gráfica para facilitar a sua consulta. No capítulo oito faz-se uma síntese do trabalho e apresentam-se as conclusões finais do estudo. No capítulo nove estão as referências bibliográficas. No apêndice encontra-se o Algoritmo que foi utilizado para a definição dos níveis de garantia e satisfação em relação ao abastecimento. No anexo encontra-se as tabelas com os níveis de satisfação do consumo e garantia de abastecimento.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Introdução

Recursos hídricos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de qualquer sociedade. Excesso ou falta deste vital recurso são problemáticos. Não se concebe o planejamento e gerenciamento hidroenergético sem que se considere o aspecto quantitativo e qualitativo.

Historicamente, o Brasil vem gerenciando seus recursos hídricos com enfoque principal sobre a geração de energia elétrica, baseado em um único objetivo, a eficiência econômica, incorporando desta forma no valor monetário todos os anseios da sociedade. A junção de custos e benefícios em um arcabouço analítico sistemático, a chamada análise benefício-custo, foi proposta pela primeira vez de uma forma facilmente compreensível pelo leigo no “Flood Control Act” norte americano de 1936. De acordo com esta lei, todo projeto federal norte-americano de controle de cheias para ser aprovado, deveria mostrar valores presentes de benefícios superiores aos correspondentes custos. Mais recentemente, a preocupação com valores intangíveis do ponto de vista econômico, notadamente na área ambiental, aliada a uma maior participação pública fez com que esta tradicional prática fosse sendo incorporada em metodologias mais gerais de tomada de decisão com objetivos múltiplos. Esta é uma tendência seguida não só nos países em desenvolvimento. O Brasil é um dos exemplos mais expressivos desta realidade, onde a pressão da sociedade civil organizada fez com que a Constituição Federal de 1988 avançasse em muito na legislação dos recursos hídricos.

O conceito de desenvolvimento sustentável colocou em questão os métodos desenvolvimentistas baseados em um único objetivo. De acordo com este conceito, o desenvolvimento é um processo de mudança, no qual a explicitação de recursos, o direcionamento de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais estão em harmonia e propiciam o aumento do potencial de atender as necessidades e aspirações humanas do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir suas próprias necessidades.

É dentro deste enfoque de sustentabilidade que o planejamento e a gestão integrada de recursos hidroenergéticos devem ser discutidos e analisados. O adjetivo integrado indica que os aspectos de qualidade e quantidade devem ser considerados em conjunto e que o recurso hídrico é

parte de um sistema regional, onde outras interfaces de setores correlatos (por exemplo: abastecimento público e industrial, agricultura, vazão sanitária, transportes e outros) devem ser adequadamente levados em consideração.

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas disponíveis na área tecnológica para o planejamento integrado dos recursos hidroenergéticos e as considerações de diversos autores sobre este tema.

2.2 - Objetivos e fins do aproveitamento dos recursos hidroenergéticos

Segundo VAZ (1984), os conceitos de objetivos e usos podem ser definidos da seguinte forma:

- **Objetivos:** São grandes metas de caráter econômico, social ou ambiental que uma sociedade se propõe a atingir, desenvolvendo a utilização dos seus recursos hidroenergéticos.
- **Usos:** São as várias funções técnicas, como, por exemplo, o controle de cheias, a produção de energia elétrica ou o abastecimento de água que podem ser desempenhadas por um sistema de recursos hidroenergéticos ou pelas suas componentes.

2.3 - Planejamento de sistemas de gestão dos recursos hidroenergéticos

De acordo com CUNHA, B. et al. (1980), o planejamento, procedimento organizado com vista a escolher a melhor alternativa para atingir determinado fim, quando existem hipóteses alternativas de construção e restrições de financiamento, passa não só pela definição do número de barragens a serem construídas, como pelo dimensionamento das mesmas.

A gestão dos sistemas de recursos hidroenergéticos tem como objetivo básico otimizar a utilização das infra-estruturas construídas, de modo a retirar o máximo benefício desses recursos, satisfazendo ao mesmo tempo as restrições de operação que possam ser estabelecidas.

2.4 - Tipos de modelos matemáticos de apoio ao planejamento e à gestão de sistemas de recursos hidroenergéticos

Vários modelos tem sido feitos e aprimorados nas últimas duas décadas para resolver o planejamento e gerenciamento de recursos hidroenergéticos. YEH (1985) apresenta uma grande revisão dos modelos de operação e dimensionamento de reservatórios, onde os métodos disponíveis são classificados como: modelos de otimização (programação linear, programação não-linear e programação dinâmica) e simulação

2.4.1 - Modelos de otimização

Os principais métodos aplicados nos modelos de otimização são as programações linear e dinâmica. A programação linear se aplica quando todas as funções (objetivo e restrições) são lineares e a programação dinâmica se aplica quando a função objetivo, linear ou não, apresenta a propriedade markoviana.

2.4.2 – Programação Linear (PL)

A programação linear (PL) tem sido uma das técnicas mais aplicadas no gerenciamento de recursos hidroenergéticos, apesar de limitada para resolver um tipo especial de problemas, todas as relações entre as variáveis são lineares, tanto na função objetivo como nas funções de restrição.

O método mais utilizado para a solução dos modelos de programação linear é o método simplex e suas variações. Na maioria das vezes a PL aplicada a recursos hídricos apresenta o número de restrições bem maior que o número de variáveis de restrição. Em relação ao tempo de simulação, pode-se dizer a grosso modo que o tempo de execução num computador varia com o cubo do número de restrições e linearmente com o número de variáveis.

A aplicação da programação linear no estudo de recursos hídricos varia desde problemas relativamente simples de alocação direta de recursos hídricos até situações complexas de gerenciamento e operação de reservatórios. Sob certas hipóteses, problemas não lineares podem ser linearizados e resolvidos por iteração ou procedimentos de aproximação.

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL

A PL pode apresentar algumas variantes com a incorporação de aleatoriedade nas vazões afluentes, originou-se a PL estocástica. Esta técnica aplicada por MANNE (1962) e LOUCKS (1968), que propuseram o uso conjunto de PL com a cadeia de Markov. Para a PL sujeita a incerteza, a técnica mais utilizada é o método das restrições probabilísticas, no qual são permitidas as violações das restrições do modelo com certa probabilidade ou risco de falha. Esta técnica, associada à regra de decisão linear foi inicialmente analisada por REVELLE et al. (1969) e posteriormente aperfeiçoada por REVELLE & KIRBY (1970). A extensão da técnica para sistemas de reservatórios múltiplos foi feita por HERMANN (1970). NAYAK, S. et al. (1971), aplicaram o método no qual a função objetivo era minimizar o custo total do sistema. HERMANN, (1971) utilizou o método no dimensionamento e operação de sistema de vários reservatórios num estudo comparativo com outras técnicas. Uma apresentação bastante didática da PL com restrições probabilísticas pode ser encontrada no trabalho de STROBEL (1979).

2.4.3 – Programação Dinâmica (PD)

A programação dinâmica (PD) é altamente útil em análise que considera uma sequência de acontecimentos (escala horizontal) e uma série ou faixa de alternativas (escala vertical) correspondente a cada etapa da sequência. No gerenciamento de recursos hidroenergéticos, a sequência pode ser um grupo de reservatórios e as alternativas os volumes úteis nos reservatórios ou a sequência pode ser um período de intervalos de tempo e as alternativas vazões efluentes de um reservatório.

O princípio básico da técnica de PD foi proposto por BELLMAN (1957), daí ser conhecido por princípio de otimalidade de Belman. Segundo este princípio, uma política ótima tem a propriedade de que sejam quais forem o estado inicial e as decisões restantes devem constituir uma política ótima com relação ao estado que resulta da primeira decisão. Simplificando, na PD cada etapa da sequência deve considerar somente os resultados das alternativas da etapa anterior. Desta forma, a melhor solução é encontrada em cada alternativa da etapa considerada e ao chegar ao final da sequência são conhecidos tanto a melhor alternativa como o caminho seguido.

Ao contrário da programação linear, na programação dinâmica não existe uma formulação matemática padrão; para resolução de problemas é necessário desenvolver as equações que se ajustam a cada situação específica.

As restrições no estado ou espaço de decisões beneficiam a PD (discreta), pois reduzem a carga computacional. Entretanto, quando a PD é aplicada a sistema de reservatórios múltiplos, sua utilidade é limitada pela chamada “praga de dimensionalidade”, que é a necessidade de capacidade de memórias de computador.

A PD foi utilizada na operação de reservatórios por diversos autores: LITTE (1955), YOUNG (1967), HALL, W. et al. (1969), SCHWEIG & COLE (1968), FITCH, W. et al. (1970), RUSSEL (1972), LIU & TEDROW (1973), ARAÚJO & TERRY (1974). Para contornar o problema da dimensionalidade tem surgido diversas variantes da PD: Programação Dinâmica Incremental (PDI) e Programação Dinâmica Diferencial Discreta (PDDD).

LARSON (1968) introduziu a técnica da PDI, a qual utiliza o conceito de incremento para as variáveis de estado. O uso da PDI para estudos de operação de reservatórios foi apresentado por HALL, W. et al. (1969), TROTT & YEH (1971) aplicaram o método PDDD, que é uma versão da PDI para um sistema de 4 reservatórios e 4 variáveis de estado. NOPMONGCOL & ASKEW (1976) analisaram os métodos e concluíram que PDDD é uma generalização de PDI.

Diversos autores utilizaram a PD associada com a técnica da PL para a operação de sistemas de reservatórios múltiplos. Dentre outros, pode-se destacar os trabalhos de : JAMIESON & WILKINSON (1972); TROTT & YEH (1973); LOUCKS & FALKSON (1973) e TVA (1980). BECKER & YEH (1974) sugeriram uma solução combinada de PL com PD para a determinação da política ótima em tempo real do subsistema “Central Valley Project” na Califórnia. BARBOSA (1986) fez a adaptação do mesmo modelo para a operação de reservatórios do sistema CESP. MARINHO & MOHAMMADI (1984), estenderam o modelo de BECKER & YEH (1974) que maximiza a geração de energia, considerando também a maximização no abastecimento.

Segundo VAZ (1984), os reservatórios podem ser classificados de acordo com seu dimensionamento conforme apresentado no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Classificação de modelos de dimensionamento de reservatórios
(Adaptado de VAZ,1984)

Modelos aplicáveis apenas ao estudo de reservatórios isolado	Baseados no período crítico	Diagrama de Rippl Método dos picos sucessivos Método de Durst Método de gama de Gould
	Probabilísticos	Moran Gould
Modelos aplicáveis a sistemas de Reservatórios	Otimização	Determinísticos Estocásticos
	Simulação	Determinísticos Estocásticos

Ainda segundo Vaz (1984), os modelos de otimização podem ser determinísticos e estocásticos, divididos da seguinte maneira:

- Determinísticos
 - Modelo de Programação Linear (PL)
 - Modelo de Programação Linear Mista (PLM)
 - Modelo de Programação Não Linear (PNL)
 - Modelo de Programação Dinâmica (PD)
- Estocásticos
 - Modelo de Programação Linear Estocástica (PLE)
 - Modelo de Programação Dinâmica Estocástica (PDE)
 - Modelo de Restrições Probabilísticas com Regra de Decisão Linear (RP-RDL)

2.4.4 - Modelos de simulação

Os modelos de simulação são um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em sequência lógica que descrevem a operação do sistema no espaço e no tempo. Seu objetivo é representar e operar o sistema de forma mais detalhada possível e fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real. A simulação da operação de reservatórios consiste

simplesmente em fazer a cada intervalo o balanço de massa dos reservatórios e para tanto, são especificadas as aflúncias nos locais de interesse, as características físicas do sistema e as regras de operação.

A vantagem das técnicas de simulação está no fato de ser aplicável a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrição. Ao contrário dos modelos otimizantes, os modelos de simulação não determinam a política ótima de operação. A solução ótima é encontrada iterativamente, processando-se diversas simulações alternativas e comparando seus desempenhos. Sua obtenção depende geralmente da experiência e sensibilidade do usuário/operador. Em geral, todos os modelos de simulação para operação de sistemas de reservatórios múltiplos com finalidades múltiplas, baseiam-se em algumas regras de operação. Essas regras definem o volume de água a ser descarregado em um período, em função das vazões afluentes e do nível do reservatório. Tais regras incluem quatro elementos básicos (LOUCKS e SIGVALDASON, 1982) que definem: 1) níveis ou volumes-meta, 2) zoneamento múltiplo, 3) banda de defluência 4) curvas-guia condicionais.

Um dos mais tradicionais modelos de simulação para sistemas de recursos hídricos é o HEC-5 que foi desenvolvido para fornecer subsídios no dimensionamento e operação de sistema de reservatórios. Um outro modelo de simulação conhecido é o SIMYLD-II (Texas Water Development Board, 1970), semelhante ao HEC-5, porém com a utilização de algoritmo otimizante, o qual minimiza os desvios em relação a uma meta pré-estabelecida. Existe ainda disponível o modelo ACRES (SIGVALDASON, 1976) que é uma extensão dos métodos utilizados no HEC-5 e SIMYLD-II. O modelo ACRES foi transformado em um sistema computacional sofisticado chamado ARSP – Acres Reservoir Simulation Program que inclui a análise estocástica de vazões.

LOUCKS & DORFMAN (1975) compararam e avaliaram várias regras de decisão usadas em modelos probabilísticos restritos para estimativa eficiente de políticas de operação e capacidade de regularização de reservatórios. Foi assumido neste estudo que em alguns casos estes modelos probabilísticos restritos podem ser apropriados para uma versão preliminar de projeto e de alternativas para a política de operação do reservatório.

Como exemplo da técnica de simulação, existem ainda diversos modelos desenvolvidos para finalidades específicas. Dentre eles podem-se citar alguns trabalhos: SILVA & HERNANDEZ (1970), sugeriram um modelo de simulação específico associando uma rotina de previsão de vazões afluentes para um sistema de reservatórios com finalidades de regularização e

controle de cheias; VERHAEGHE, J. et al. (1989), propuseram um modelo de simulação associado à técnica de otimização para a operação de reservatórios da bacia do Rio Tana, em Kenya; LALL, U (1995) apresentou um modelo para determinar o armazenamento, considerando perdas por evaporação automaticamente, este algoritmo foi utilizado na Índia, por SINHA, K (1996) que verificou que este mesmo algoritmo pode produzir capacidades de armazenamento inadequadas em relação as demandas requeridas se as perdas em relação a evaporação forem severas. Para eliminar essa possibilidade SINHA, K (1999) criou um algoritmo chamado de Algoritmo de Depressões Seqüenciais, considerando as perdas por evaporação, com o objetivo de dimensionar o potencial hidrelétrico nas bacias hidrográficas. Este método foi utilizado para determinar a demanda de irrigação e a demanda de energia e foi aplicado na costa oeste da Índia na bacia dos rios Par, Auranga, Ambica e Purna.

MINE & TUCCI (1999) apresentam uma pesquisa para a previsão em tempo real das vazões afluentes em reservatórios de usinas hidrelétricas, utilizando o modelo ARIMA (Auto-Regressivos Integrados Médias Moveis), sendo seus fundamentos descritos MINE (1984), este modelo visa garantir a eficiência operacional com segurança.

GOULTER & CASTENSSON (1988) apresentam um modelo baseado na análise multiobjetivo para a distribuição de água entre usos concorrentes (geração de energia elétrica, irrigação e abastecimento urbano) na bacia do rio Svarta na Suécia.

MOHAN & RAIPURE (1992) aplicaram um modelo de simulação para análise de alternativas operacionais em uma bacia fluvial e utilizaram o método das restrições para a regra de liberações de um sistema de múltiplos reservatórios em grande escala na bacia do rio Chaliyar, em Kerala na Índia.

Segundo CARMO (1997), os modelos de simulação permitem uma descrição detalhada da realidade física e uma avaliação completa de cada alternativa em estudo.

2.5 - Formulação do problema de planejamento de sistemas de recursos hidroenergéticos

De acordo com Vaz (1984), o problema de planejamento de sistemas de reservatórios pode ser formulado da seguinte forma:

Função objetivo: *Maximizar o benefício líquido atualizado*

Benefício líquido atualizado =	Benefícios	+	Ganhos	-	Perdas	-	Custos
	↓		↓		↓		↓
	• Energia		• Excedentes		• Déficits de		• Reservatórios
	• Irrigação		de energia		Energia,		• Centrais
	• Abastecimento				Irrigação,		hidroelétricas
					Abastecimento,		• Áreas
					Escoamento		irrigadas

Restrições: Em cada período de tempo t, tem que verificar se:

- a) as condições de continuidade nas seções dos reservatórios e em outras seções de interesse são respeitadas;
- b) o volume armazenado em cada reservatório não exceda a capacidade deste reservatório;
- c) a energia produzida em cada central não exceda o valor permitido pela potência instalada nessa central;
- d) a área irrigada em cada bloco não exceda a área disponível;
- e) os volumes de água para irrigação de cada bloco são o produto da área a irrigar pela demanda;
- f) as igualdades que exprimem a energia produzida em cada central em função do volume turbinado da queda e da eficiência são respeitadas;
- g) as metas do abastecimento doméstico e industrial e do escoamento mínimo são satisfeitas.

Outros parâmetros não dependentes do período de tempo t e que se constituem em outras restrições a serem verificadas são: os reservatórios e áreas de irrigação que não podem ter dimensões que excedam os limites máximos fixados por razões físicas ou outras. Conforme os casos, outras restrições podem ser incluídas: limitações impostas por dificuldades de mão-de-obra, restrições orçamentais, meio ambiente, etc.

2.6 - Metodologia para a resolução do problema do planejamento de sistema de recursos hidroenergéticos

A metodologia mais utilizada na resolução do problema de planejamento de sistemas de recursos hidroenergéticos em nível de bacias hidrográficas consiste numa sucessão de três fases:

1. ^a fase – Resolução do problema de dimensionamento: considerando uma situação estática que se repete anualmente, determinando-se as dimensões das componentes do sistema que maximizam o benefício líquido atualizado.
2. ^a fase – Resolução do problema de escalonamento: com as dimensões das componentes já fixadas, determina-se em que altura é que cada componente deve entrar em operação, de acordo com o critério de maximizar os benefícios líquidos e sujeito a certas restrições.
3. ^a fase – Com o sistema realmente existente e face às condições em que ele se insere, determinam-se as regras de operação que conduzem à maximização dos benefícios líquidos.

2.7 - Modelos de dimensionamento de reservatórios

Conforme citado anteriormente, os modelos podem ser resumidos a duas situações para a resolução em relação ao dimensionamento de reservatórios, ou seja:

Modelos de otimização: Baseiam-se nas técnicas de otimização matemática, como a programação linear, programação não-linear e programação dinâmica, indicam quais as decisões a tomar para satisfazer o objetivo face às restrições do problema. No caso do sistema de reservatórios, definem as capacidades dos reservatórios e as dimensões das outras componentes do sistema.

Modelos de simulação: Partem de um sistema completamente definido, incluindo as dimensões das várias componentes e reproduzem aquilo que seria o comportamento do sistema nessas condições, permitindo avaliar esse comportamento e modificar o sistema de maneira a satisfazer o objetivo.

Essa avaliação do comportamento é traduzida por um conjunto de parâmetros, como a confiabilidade dos componentes do sistema, o histograma de descargas de cheia, etc., de acordo com as facetas do problema que são considerados mais importantes na análise.

2.8 - Modelos para a resolução do problema do escalonamento

Ainda de acordo com VAZ (1984), os modelos para escalonamento de projetos que aparecem referidos na literatura técnica podem distinguir-se:

- pela função objetivo que consideram;
- pelas técnicas utilizadas.

Em relação à função objetiva, os módulos de escalonamento podem dividir-se em dois grupos:

- minimização de custos;
- maximização de benefícios líquidos.

Os modelos de minimização de custos atualizados procuram satisfazer certas curvas crescentes de procura em função do tempo, normalmente referindo-se ao volume garantido de água e energia. A satisfação da procura é conseguida selecionando-se e escalonando-se alguns projetos entre um número finito disponível. Este problema é conhecido como “problema de expansão da capacidade”, característico de sistemas de abastecimento de água, tratamento de esgotos e redes de energia.

2.9 - Incerteza no planeamento de recursos hidroenergéticos

Para poder se desenvolver o processo de planeamento de sistemas de reservatórios considerando-se o efeito da incerteza, torna-se necessário:

- caracterizar as incertezas quanto à sua origem;
- procurar quantificá-las e avaliar o impacto que poderão ter sobre o sistema;
- avaliar os métodos que têm sido propostos para lidar com a incerteza.

Para o problema de planejamento de reservatórios considerou-se vantajoso agrupar as incertezas do seguinte modo:

- a) aleatoriedade dos processos físicos, essencialmente dos escoamentos;
- b) incerteza dos parâmetros, englobando a incerteza decorrente de amostras limitadas, de erros de medições, de dificuldades de previsão do futuro, de possíveis modificações de metas sócio-políticas;
- c) incerteza associada aos modelos utilizados.

2.10 - Métodos propostos para lidar com a incerteza

Incerteza derivada da aleatoriedade dos escoamentos – Utilização de séries sintéticas e incorporação da incerteza dos parâmetros hidrológicos. As séries sintéticas têm sido utilizadas em estudos, quer de operação, quer de planejamento de reservatórios, pois elas permitem testar a solução ótima obtida a partir da série histórica para diversos “futuros hidrológicos”, todos com igual probabilidade.

Incerteza dos parâmetros – considera para a análise da incerteza dos parâmetros socio-econômicos o método de análise de sensibilidade.

Análise de sensibilidade: Pode-se definir sensibilidade de um sistema como sendo a variação de um critério de avaliação do sistema. A sensibilidade é calculada em relação a cada parâmetro individualmente e na vizinhança dos valores adotados para os parâmetros.

2.11 - Avaliação do comportamento de sistemas de reservatórios

Em situações extremas de afluência de água - cheias ou períodos de seca - o sistema terá maior dificuldade em cumprir as metas e poderá não conseguir seu intento, originando falhas. É importante citar que as falhas do sistema não são devidas apenas às carências de água, mas também às falhas do equipamento necessário para levar o serviço até ao usuário, quer se trate de

sistemas de abastecimento de água, de sistemas de irrigação ou de produção e transporte de energia.

Constitui-se uma tendência geral à pretensão de que os sistemas tenham uma confiabilidade elevada superior a 70% e em muitos casos ultrapassando os 90%, isto é, independentemente das penalizações econômicas, os usuários de um sistema de recursos hidroenergéticos não aceitam que as diversas respostas do sistema (energia, produção agrícola, abastecimento urbano e industrial) tenham instabilidade.

Na base desta definição de confiabilidade têm sido propostas normas de valores mínimos de confiabilidade do sistema de acordo com o tipo de utilização da água. Assim VAZ (1984), refere-se a valores de confiabilidade de 90-97% para o abastecimento doméstico urbano, 80-90% para o abastecimento doméstico rural, 90-97% para o abastecimento industrial, 75-95% para a energia e 75-85% para a irrigação.

2.12 - Caracterização de falhas no modelo IRAS

O modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation, foi desenvolvido pela Resources Planning Associates, INC. e pela Universidade de Cornell, Ithaca, NY e é um modelo comparável ao HEC-5, bastante utilizado para apoiar o planejamento e a gestão de sistemas de recursos hídricos. Tem como função principal neste estudo a de ser utilizado como ferramenta para o planejamento e a gerência do uso racional da água.

As suas potencialidades tornam-no executável para as análises hidrológicas extensas de sistemas regionais de recursos hídricos de todo o tipo, desde sistemas de abastecimento de água para consumo urbano, para irrigação, para produção de energia ou sistemas de usos múltiplos (LOUCKS, D. et al., 1995).

Os resultados do modelo demonstram os valores que cada variável simulada assumiu ao longo da simulação. O programa pode calcular ainda os vários índices e funções que indicam o nível com que os objetivos da operação do sistema foram satisfeitos.

O usuário do programa pode ainda definir níveis de fornecimento de água, de volume armazenado, de vazão escoada, de energia produzida ou de concentração de cargas poluentes e para cada uma destas metas o programa calcula índices de garantia, assim como funções de probabilidade e de vulnerabilidade. Por exemplo, para cada ponto de consumo, o programa calcula a percentagem de vezes em que os alvos de fornecimento foram satisfeitos e estima a

probabilidade dos objetivos de fornecimento serem satisfeitos num intervalo de simulação que suceda uma falha de fornecimento.

O programa estima também uma função de probabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de seqüências de falhas de fornecimento com várias durações e uma função de probabilidade de vulnerabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de falhas de fornecimento com várias magnitudes. As falhas do sistema têm três grandes origens principais:

- carência de água;
- falhas dos equipamentos;
- falhas humanas.

Os principais parâmetros relacionados com as características mais importantes das falhas são:

- frequência;
- intensidade ou magnitude;
- duração.

Os índices utilizados para caracterizar a frequência, duração e intensidade são respectivamente:

- **Critério de confiabilidade:** é definido como a probabilidade de não ocorrer uma falha no sistema e que forneça a medida em termos probabilísticos da capacidade do sistema para satisfazer os objetivos físicos sem falhas (garantir a satisfação dos consumos, produção de energia, etc.).
- **Critério de resiliência:** é traduzido como a probabilidade de recuperação do sistema a partir dum estado de falha.
- **Critério de vulnerabilidade:** que mede a severidade das falhas a que o sistema está sujeito. A idéia essencial da utilidade deste índice é que, não havendo nenhum sistema que seja totalmente seguro, é vantajoso que em caso de ocorrência de falhas, os prejuízos sejam o menor possível.

Assim, no capítulo seis, são apresentados os dados de entrada do modelo IRAS e maiores considerações em relação aos critérios acima enunciados para os parâmetros que se verificou serem mais importantes no respectivo critério deste estudo.

3 - DESENVOLVIMENTO DE BARRAGENS EM PORTUGAL – ESTADO PRESENTE

3.1 - Introdução

Desde cedo, as comunidades portuguesas têm-se assentado nas margens de grandes rios (Lisboa no Tejo; Porto no Douro; Coimbra no Mondego e Setúbal no estuário Sado), este assentamento desenvolveu-se devido aos três mais importantes meios de suporte do meio ambiente: água fresca, terra e o oceano.

O Gerenciamento Hidráulico instalou-se em Portugal no fim do século XIX, mais precisamente em 1892 com a publicação das Regras do Serviço Hidráulico.

Este documento, completando vários decretos reais, estabelece pela primeira vez padrões legais coerentes para fontes de água pública. Naquela época, guardas de rios foram criados para assegurar que a lei fosse seguida nos campos.

A Lei D'água de 1919, ainda não renovada completamente, pela primeira vez estabelece uma explicação clara entre água pública e privada e introduz conceitos de licenciamento e concessão, deixando assim que entidades particulares utilizem água pública dos leitos de rios e margens. A rede de climatologia nacional foi estabelecida em 1923, providenciando a base para a instrumentação científica e sistemática do monitoramento, baseado nos principais parâmetros da hidráulica e climatologia em Portugal, (INMG 1987).

Um importante passo no gerenciamento nacional de águas aconteceu em 1930 com a criação do Instituto Autônomo de Agricultura e Hidráulica (IAAH), o qual ficou responsável pelo planejamento e construções na área de hidráulica e agricultura. As maiores fontes de recursos orçamentários e de pessoal vieram deste instituto, o qual, em menos de doze anos, planejou e construiu em torno de 24 grandes projetos de utilização de água, incluindo: barragens, drenagens e canais de irrigação. Este período foi muito rico na organização, coleta e processamento de informações sobre o clima e água em Portugal.

Em 1949, com a criação do Diretório Geral de Serviços em Hidráulica (DGSH), formado a partir do Instituto Autônomo de Agricultura e Hidráulico, passou a organização deste setor a ter um novo impulso. Este órgão, um dos mais prestigiados da administração pública de Portugal, era responsável pelo planejamento e execução de praticamente todos os projetos daquela época, com exceção dos projetos hidrelétricos construídos pelas concessionárias privadas.

As três décadas seguintes foram as mais produtivas na área de projetos hidráulicos. Foi também nesta época que todo planeamento em relação aos projetos hidráulicos foram feitos, muito dos quais ainda estão válidos. Este é o caso do plano de irrigação do Alentejo, do plano de hidráulica do Algarve, do plano da Cova da Beira, do plano de hidráulica do Baixo Mondego e de outros planos. Este planeamento seria completado nos anos 80 com o plano geral do Tejo; é nesta década que foi sancionada a regulamentação do uso de setores internacionais dos rios: o acordo de 1964 do rio Douro e seus afluentes, complementando e substituindo o acordo de 1927 do mesmo rio; o acordo de 1968 para os rios restantes que fazem divisa com a Espanha. A crise econômica no fim dos anos 70 e no começo dos anos 80 afetou severamente este setor (MONTE & ROCHA, 1998).

Atividades de planeamento foram reduzidas somente para atualizar os estudos e projetos anteriores, muitos dos quais pararam ou sofreram forte redução. Isto foi, entretanto, uma década importante para a maturidade dos conceitos da nova instituição e as soluções encontradas vieram a ser de suma importância para a recuperação nos anos 90. A Figura 3.1 ilustra o número de barragens construídas a cada década em Portugal, (INAG 1992).

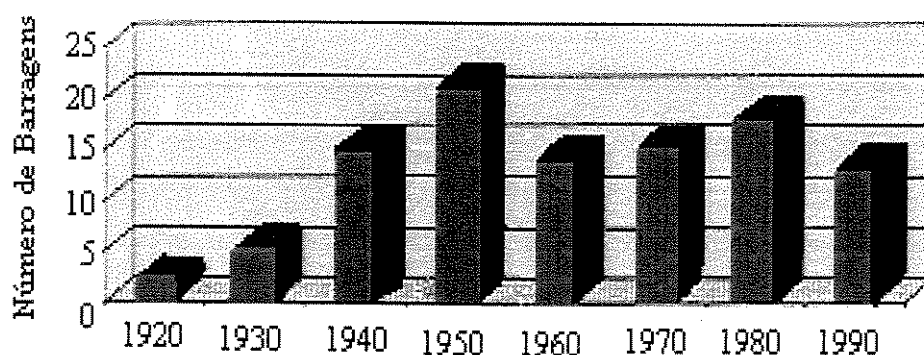


Figura 3.1 – Número de Barragens Construídas por década – Fonte INAG

3.2 - Estruturas Legais

3.2.1 - Leis Nacionais

A reforma de 1993 feita pelo Ministério do Meio Ambiente e Recursos Naturais (MARN) lançou o governo português num vasto processo de emendas institucionais e legais em relação aos recursos hídricos, o qual levou a mudanças expressivas em relação a utilização, proteção e gerenciamento desta essencial fonte natural no desenvolvimento social e econômico e na

qualidade de vida dos portugueses, (INAG, 1995). Dentre as iniciativas mais importantes, convém que sejam destacadas as seguintes leis:

- Decreto Lei 379/93 de 05 de Novembro, da política de regulamentação do uso e o gerenciamento dos sistemas públicos para obter tratamento e distribuição de água pública para consumo e para coleta, tratamento e distribuição de efluentes e para a coleta e tratamento de lixo sólido.
- Decreto Lei 45/94 de 22 de Fevereiro, que diz respeito ao planejamento dos recursos hídricos.

3.2.2 - Reservatórios

- Lei 502/71 de 18 de Novembro – Classifica os reservatórios de água pública sob serviços públicos (emendada pelo Decreto Regulamentar 37/91 de 23 de Julho e Decreto Regulamentar 33/92 de 2 de Dezembro);
- Lei Administrativa 333/92 de 10 de Abril – estabelece normas para preparação organizacional da classificação das plantas das barragens.

REN – Reserva Ecológica Nacional

- Decreto Lei 93/90 de 19 de Março – Revê a política jurídica da Reserva Ecológica Nacional (revisto pelo Decreto Lei 213/82 de 12 de Outubro e Decreto Lei 79/95 de 20 de Abril).

RAN – Reserva Nacional da Agricultura

- Decreto Lei 196/89 de 14 de Julho – Estabelece a nova política jurídica para a Reserva Nacional da Agricultura.

Gerenciamento

- Decreto Lei 176-A/88 de 18 de Maio – Revê as regulamentações jurídicas do Plano de Gerenciamento do Território Regional (PGTR) (revisto posteriormente pelo Decreto Lei 367/90 de 26 de Novembro e Decreto Lei 249/94 de 12 de Outubro).
- Decreto Lei 69/90 de 2 de Março – Define a política do Plano de Gerenciamento do Território Municipal (revisto pelo Decreto Lei 211/92 de 8 de Outubro).

- Decreto Lei 151/95 de 24 de Junho – Harmoniza a política jurídica do Plano Espacial de Disposição do Território.
- Decreto Lei 309/93 de 2 de Setembro – Regulamenta a preparação e aprovação dos planos de gerenciamento da linha da costa (revisto pelo Decreto Lei 218/94 de 20 de Agosto).

3.2 3 - Convenções Internacionais

Portugal participa das mais importantes convenções internacionais relativas aos recursos hídricos, assim como de vários tratados e acordos bilaterais com o governo Espanhol em relação aos rios internacionais cujas bacias hidrográficas são compartilhadas por ambos os países; a figura 3.2 mostra as bacias hidrográficas conjuntas de Portugal e Espanha, (INAG, 1996).

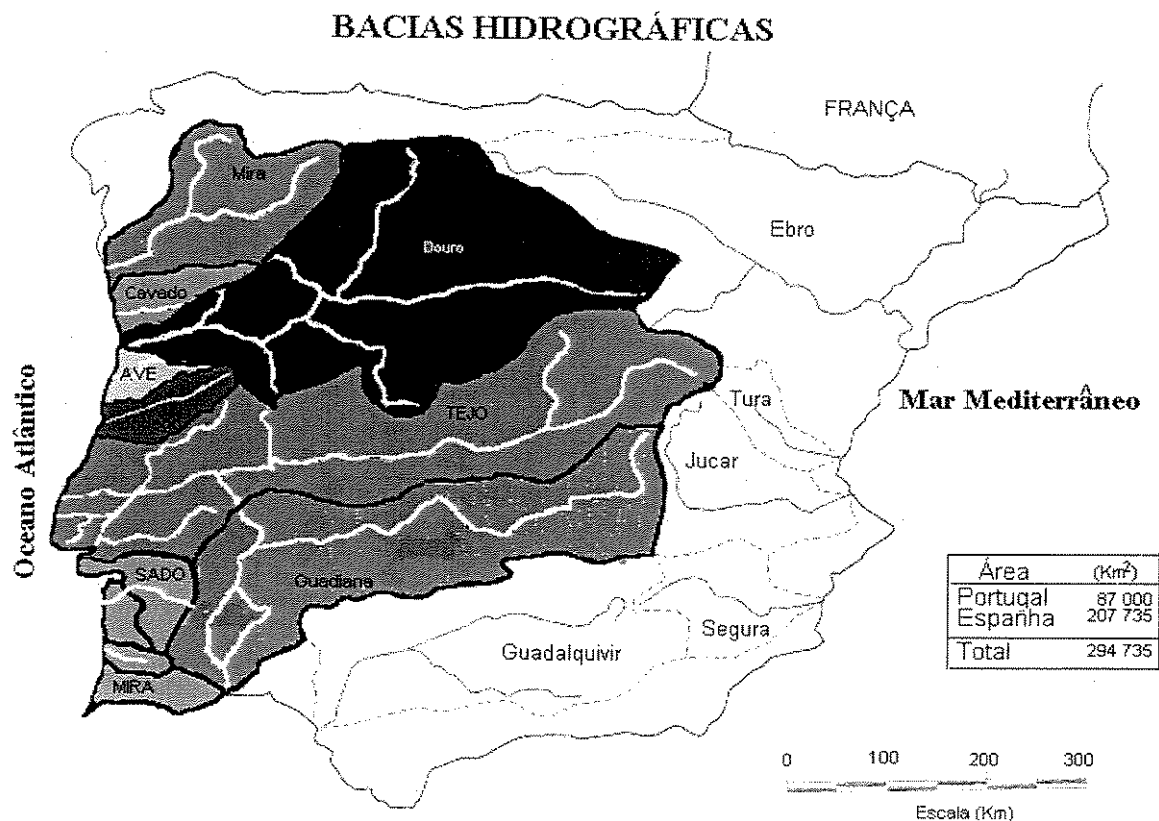


Figura 3.2 - Bacias Hidrográficas Conjuntas de Portugal e Espanha, Fonte INAG

As principais convenções das quais Portugal participa são:

- a convenção de Helsinki para proteção e uso de rios que atravessam fronteiras e lagos internacionais;
- a convenção das nações unidas na luta contra seca, particularmente na África ;

Em relação aos tratados e acordos de Portugal e Espanha, podem ser destacados como os mais importantes:

- Acordo de 1964 para regular o uso hidrelétrico de extensão internacional do rio Douro e seus afluentes;
- Acordo de 1968 para regular o uso hidrelétrico de extensão internacional dos rios Minho, Lima, Tejo, Guadiana, e seus afluentes.

O acordo de 1964 atualiza e repõe o acordo de 1927 na utilização hidrelétrica da extensão internacional do rio Douro e deve cobrir também as extensões internacionais da maioria de seus afluentes. Dentre as utilizações atribuídas naquela localidade para cada um dos países, somente as mais importantes tem sido obedecidas, ou seja, as que formam a cascata do rio Douro (Miranda, Picote, Bemposta e Pocinho (portuguesas), e Aldeadavila e Saucelle (espanholas). A intenção dos Espanhóis em desviar a cabeceira do rio Tuela, um dos maiores afluentes do rio Douro na sua margem direita, cuja bacia existe principalmente em Portugal, na direção da represa de Las Portas no rio Sil da bacia do rio Minho é coberto pelo acordo de 1964 e deve ser reavaliado.

O acordo de 1968 é de interesse dos outros quatro rios internacionais compartilhados, isto é, o Minho, Lima, Tejo e Guadiana. Este acordo refere-se essencialmente à utilização das extensões hidrelétricas destes rios e alguns de seus afluentes que atravessam a fronteira; pela primeira vez prevê-se a possibilidade de utilização conjunta das vazões destes rios para o aproveitamento de usos múltiplos. Este é o caso da extensão intermediária do rio Guadiana, no qual está sendo construído o aproveitamento hidroenergético de Alqueva (inauguração prevista para 2001), que apresenta finalidades de usos múltiplos com destaque para a irrigação. O rio Chança que atravessa a fronteira com a Espanha, sendo um dos afluentes do rio Guadiana na sua margem esquerda, será o responsável para fornecer água para consumo urbano e industrial da região, próximo a Huelva, (COSTA, J et. Al., 1992).

O potencial hidrográfico de cada rio não foi compartilhado em partes iguais pelos governos, pois é uma solução que não seria vantajosa para nenhuma das partes envolvidas. Ao invés disto, cada extensão internacional em questão foi atribuída para um ou para o outro país; foi então

necessário proceder a avaliação do fluxo total anual de cada rio para se elaborar o planejamento das bacias, o que foi feito pelo lado espanhol.

Estes cálculos estão registrados pela comissão internacional de rios, onde se verifica a reclamação por parte de Portugal em relação a uma média de volume anual de 2.700 milhões de m³ que será a contribuição feita por parte da Espanha na bacia do rio Guadiana; este reforço do volume é de suma importância para a viabilização do projeto de Alqueva.

3.2.4 - Reservatórios de Armazenamento

As características do sistema de escoamento em Portugal são bastante irregulares, o que torna difícil a manutenção de níveis confiáveis de fornecimento de vazão garantida ao longo do ano em todas as regiões do país; a solução para este problema reside na construção de represas que criam reservatórios, minorando esta situação (COSTA et al, 1993).

Nas bacias hidrográficas do Tejo e no norte do país, os 45 reservatórios monitorados compreendem quase na totalidade as reservas de água para produção elétrica. No sul, os 20 maiores reservatórios das bacias do Sado, Mira, Guadiana, Arade, e Algarve são usados preponderantemente para fins agrícolas, com uma porcentagem menor para abastecimento público, enquanto o reservatório de Morgavel é usado exclusivamente para o fornecimento de água às indústrias. A tabela 3.1 ilustra os maiores volumes utilizados pelas principais bacias hidrográficas em Portugal.

A capacidade total dos maiores reservatórios nas principais regiões de Portugal são apresentados na tabela 3.2 e nas figuras 3.3, 3.4 e 3.5; a capacidade total no final de 1994 era de 7.427 milhões de m³, do qual somente 5.644 (76%) são reservatórios de acumulação. Os reservatórios hidrelétricos representam 56% (4.159 milhões de m³) do total nacional e os reservatórios de fins agrícolas representaram 26% (1,931 milhões de m³).

Tabela 3.1 – Volumes utilizados por setor nas principais bacias hidrográficas (1994)

(10⁶ m³)

Bacia	Doméstico	Irrigação	Industrial	Energia	Outros	TOTAL
Lima				3.015,34	37,07	3.052,41
Cávado				3.503,91	1,84	3.505,75
Ave				111,28		111,28
Douro	2,16	5,12		67.896,21		67.903,49
Mondego	0,17			2.954,36	355,82	3.310,35
Tejo	137,69	105,48	3,96	9.134,25	0,07	9.381,45
Oeste	0,57					0,57
Sado	2,87	106,88	0,71			110,46
Mira	1,30	22,35	1,69		6,15	31,49
Morgavel			9,88			9,88
Guadiana	9,72	28,47	0,01	26,95		65,15
Arade		15,43				15,43
Barlavento	2,95	3,90				6,85
TOTAL	157,44	287,63	16,26	86.642,30	400,95	87.504,56

Fonte: COSTA, J. et all (1993)

Em anos secos, como no primeiro semestre de 1994, os volumes disponíveis nos reservatórios podem estar abaixo de 30% nas bacias do Guadiana, Sado e Mira. Nas bacias do norte do país e na bacia do Tejo as reservas disponíveis podem ser de 70 %.

A seca no Alentejo e no Algarve em 1995 durou até o fim de Outubro com resultados que foram dramáticos na época, revelando um defeito na capacidade de armazenamento; esta situação deve ser resolvida com a entrada em funcionamento do aproveitamento hidroenergético de Alqueva (2001).

Tabela 3.2 – Características e usos principais dos reservatórios – 1994

Bacia	Reservatório	Usos	Rios	Capacidade	Capacidade	Volume		
				Bruta (10 ⁶ m ³)	Útil (10 ⁶ m ³)	Morto (10 ⁶ m ³)	NPA (m)	NMEx (m)
DOURO	ALIJO	Irrigação	ALIJO	1,90	1,81	0,10	658,50	613,30
	AZIBO	Irrigação	AZIBO	54,47	46,67	7,80	602,00	580,00
	BEMPOSTA	Energia	DOURO	128,80	20,00	108,80	402,00	397,00
	CARRAPATELO	Energia	DOURO	148,40	13,84	134,56	46,50	45,00
	CRESTUMA-LEVER	Energia	DOURO	110,00	22,50	87,50	13,20	11,50
	ESTEVEINHA (ALF. FÉ)	Energia	ALAMBIQUES	1,69	1,68	0,01	625,50	
	MIRANDA	Energia	DOURO	28,10	6,66	21,44	528,05	522,00
	PICOTE	Energia	DOURO	62,70	13,35	49,35	471,00	465,00
	POCINHO	Energia	DOURO	83,07	12,24	70,83	125,50	124,00
	RÉGUA	Energia	DOURO	95,00	12,00	83,00	73,50	72,00
	TORRÃO	Energia	TÂMEGA	123,99	77,09	46,90	65,00	49,00
	VALEIRA	Energia	DOURO	98,54	13,04	85,50	105,20	103,50
	VAROSA	Energia	VAROSA	12,94	12,93	0,01	264,00	224,05
	VILAR-TABUAÇO	Energia	TÁVORA	99,75	95,27	4,48	552,00	525,00
	TOTAL			1049,35	349,09	700,27		
TEJO	BELVER	Energia	TEJO	12,50	8,50	4,00	46,15	40,00
	BOUÇÃ	Energia	ZÊZERE	48,40	15,22	33,18	175,00	167,10
	CABRIL	Energia	ZÊZERE	720,00	615,00	105,00	296,00	240,00
	CAPINHA	Irrigação	POLDRES	0,50	0,32	0,18	502,50	
	CASTELO DE BODE	Privada	ZÊZERE	1095,00	902,50	192,50	121,50	79,00
	DIVOR	Irrigação	DIVOR	11,90	11,89	0,01	261,40	249,50
	FRATEL	Energia	TEJO	92,50	21,00	71,50	74,00	71,00
	IDANHA	Irrigação	PONSUL	78,10	77,30	0,080	255,50	228,00
	MAGOS	Irrigação	MAGOS	3,03	2,85	0,18	16,24	10,40
	MARANHÃO	Irrigação	SEDA	205,40	180,90	24,50	130,00	
	MEIMOA	Irrigação	MEIMOA	39,00	27,00	12,00	568,50	
	MONTARGIL	Irrigação	SÔR	164,30	142,70	21,00	80,00	65,05
	PÓVOA	Energia	NISA	19,30	18,80	0,50	311,45	
	PRACANA	Energia	OCREZA	111,90	96,00	15,90	114,00	85,00
	ST' ÁGUEDA	Privada	OCREZA	37,20	34,20	3,00	385,00	
	ST' LUZIA	Energia	UMHAIS	53,70	50,00	3,70	655,60	
	TOTAL			2692,73	2204,18	488,55		
GUADIANA	BELICHE	Privada	BELICHE	48,00	47,60	0,40	52,00	15,00
	CAIA	Irrigação	CAIA	203,00	192,30	10,70	233,50	210,00
	LUCEFECIT	Irrigação	LUCEFECIT	10,23	9,00	1,23	182,00	172,50
	MONTE NOVO	Privada	DEGEBE	15,28	14,78	0,50	196,00	183,50
	VIGIA	Irrigação	VALE VASCO	16,73	15,58	1,15	224,00	210,00
	TOTAL			293,23	279,26	13,97		
NPA –Nível Pleno de Armazenamento			NMEx –Nível Mínimo de Exploração			Fonte INAG (1992)		

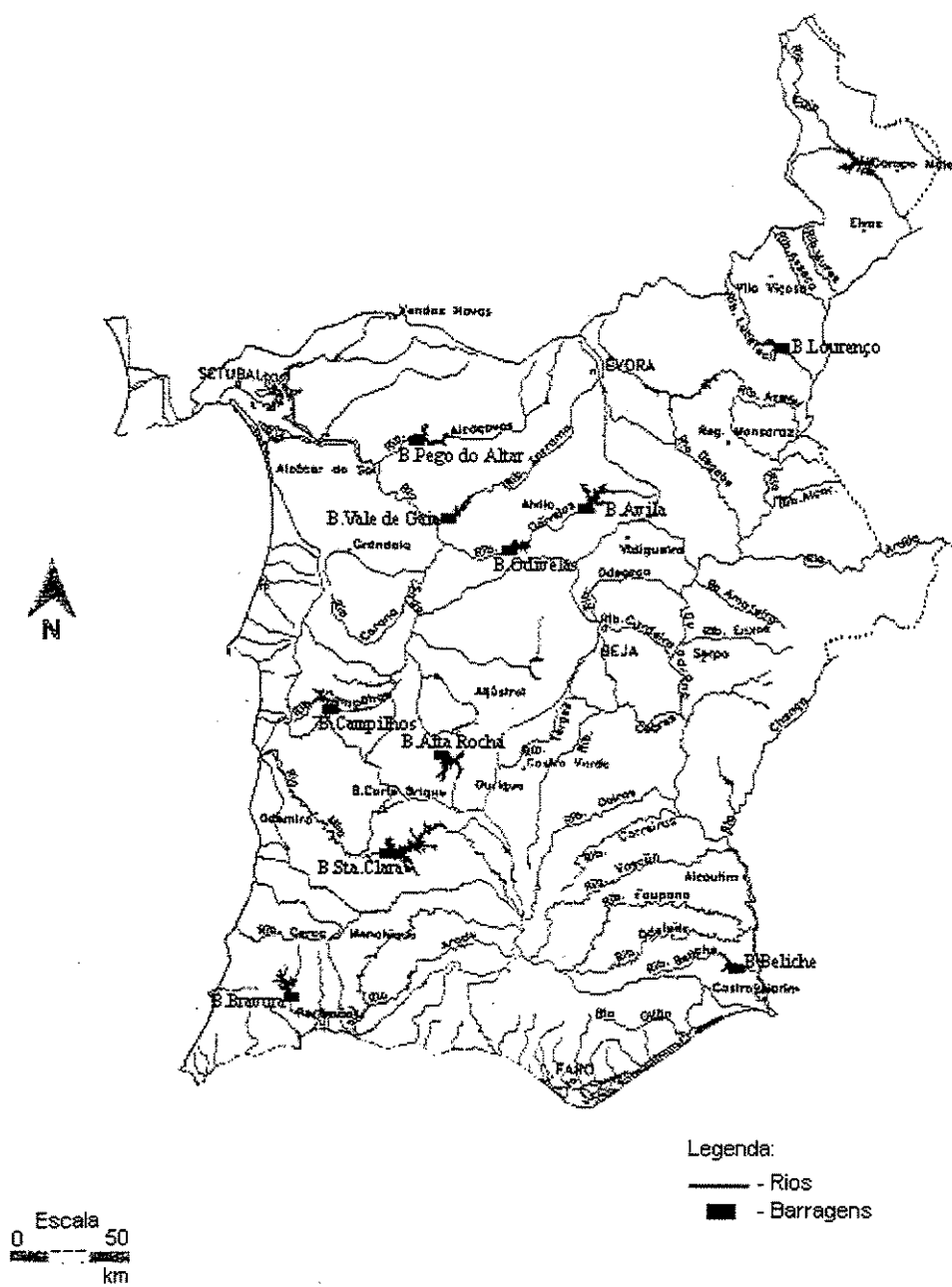


Figura 3.5 – Localização dos Reservatórios – Zona Sul

3.3. - Usos da Água na Europa

Em termos de recursos de água recicláveis per capita, a situação de Portugal é a seguinte: mais favorável do que na Espanha, mas as diferenças estão se estreitando e atualmente esta situação está bem próxima em relação a França e Itália.

Assim, considerando o despejo específico em litros/habitante/dia e em mm/ano, somente a Grécia, país que também divide algumas das suas bacias hidrográficas importantes com seus vizinhos, tem valores semelhantes a de Portugal.

Expressado em m^3 /habitante/ano, o despejo específico nos territórios principais de Portugal, incluindo os afluentes do rio Minho originado da Espanha, é na verdade maior que o da Suíça (SANTOS, M. et al, 1994).

Entretanto, este fato esconde uma situação desfavorável em relação a muitos destes países. A irregularidade da distribuição destes recursos hídricos não é igual em nenhum destes países, tornando esta estatística errônea. Além do mais, as características climáticas de uma vasta zona Portuguesa, especialmente aquelas regiões cujo o solo apresenta viabilidade para o cultivo da terra, requer irrigação para desenvolvimento de uma agricultura moderna e economicamente viável.

Consequentemente e como pode ser visto na tabela 3.3, contrário ao que acontece nos países restantes mostrados naquela tabela e levando em consideração critérios distintos que foram certamente usados para avaliar estas porcentagens para os vários países mostrados, a falta de água para agricultura em Portugal já representa uma grande necessidade. Assim, a necessidade específica em m^3 /habitante/ano em Portugal são bem maiores do que das dos países Europeus da lista e são comparáveis com às necessidades da Espanha, isto é, da ordem de quase 400 m^3 /habitantes/ano com tendência de aumento (HENRIQUES, 1984).

Tabela 3.3 – Percentagem de distribuição dos usos mais importantes da água

	Urbano (%)	Agricultura (%)	Industrial (%)
França	39	31	30
Alemanha	33	12	55
Holanda	44	22	34
Portugal	8	76	16
Inglaterra	77	6	17

Fonte: SANTOS, M. et all (1994)

A irregularidade na disponibilidade dos recursos hídricos em Portugal é minimizada pelo uso de reservatórios com funções múltiplas. As necessidades em relação a quantidade e qualidade da água para cada uso, freqüentemente causam conflitos para muitos dos usos atuais e planejados.

3.4. - Represas em Construção

Os objetivos principais de quase todos os aproveitamentos em construção em Portugal são de produção de energia. A represa Alqueva é uma grande exceção que apresenta funções múltiplas.

A tabela 3.4 lista os aproveitamentos com objetivos hidroelétricos (INAG, 1995)

Tabela 3.4 Novos projetos hidrelétricos

Planejamento	Rio	Tipo	Nº. de grupos	Potência (MW)	Produção Anual Média (GWh)
Miranda II (1)	Douro	Fio d'água	1	19,3	22,3
Cefra (1)	Ouro	Fio d'água	2	1,6	4,5
Guilhofrei (1)	Ave	Reservatório	1	2,2	9,8
Desterro II (1)	Alva	Reservatório	1	5,0	9,3
Ponte de Jugais	Alva	Fio d'água	1	12,4	41,7

(1) Reforço de potência. Estas características se referem a novos grupos geradores.

Dentre estes projetos, o de maior atenção é a usina Miranda II no Douro internacional, devido a sua dimensão. O projeto em Foz Côa, o qual era parte deste plano, também teria sido um projeto de grande importância. Porém, o descobrimento de gravuras pré-históricas nas pedras no vale do rio Côa, que foram classificadas como tendo um valor arqueológico inestimável, levou o governo Português a parar a construção em 1996. Hoje em dia, um novo estudo está sendo preparado para substituir esta represa com um novo projeto hidrelétrico no rio Sabor.

A represa de Alqueva tem a maior infra-estrutura usada para fornecimento público e industrial de água para a irrigação de aproximadamente 110.000 ha e para a produção de eletricidade.

Para a produção de eletricidade, a estação de força será equipada com duas turbinas reversíveis, com uma capacidade de bombeamento de $2 \times 170 \text{ m}^3/\text{s}$. Sua produtividade em um ano médio é para ser mais de 300 GWh.

3.5. - Planejamento de Novas Represas

O planejamento de novos projetos hidrelétricos depende das perspectivas do desenvolvimento econômico de Portugal. Hoje em dia, os planos das bacias hidrográficas e os planos nacionais de água estão sendo preparados e servirão de base para o planejamento de novos aproveitamentos. Em 1989, o Ministério do Planejamento e Administração do Território (MPAT) preparou um estudo que foi atualizado por COSTA, J. et.al. (1994), que apresenta vários cenários em relação ao desenvolvimento da economia portuguesa, estes cenários servirão de subsídios para a preparação do plano nacional de água. Os três cenários de desenvolvimento preparados pelo MPAT para o planejamento de construção dos aproveitamentos estão representados a seguir.

3.5.1. - Cenário 1 – Consolidação e Tradição

Este cenário chamado “Consolidação e Tradição” está caracterizado como segue: especializações competitivas e internacionalismo em setores “maduros”, com diversificação na produção como uma prioridade secundária; criação de empregos dinâmicos organizados pelo mercado interno e pelo setor terciário, com ênfase em atividades industriais de suporte e turismo; resultando numa afiliação geo-econômica Ibérica – Européia.

Em relação ao gerenciamento de recursos hídricos, incluindo o planejamento de novas barragens, foi dada uma maior importância para estas características: o projeto do aproveitamento de Alqueva representa o maior investimento em relação a irrigação, atingindo no seu final a irrigação de aproximadamente 110.000 hectares de terra no Baixo Alentejo. É esperado que 35 a 40 % desta área esteja sendo irrigada até 2010; outras duas barragens de grande porte – Foz Côa e Sabugal – seriam construídas estrategicamente para armazenamento e controle de cheias respectivamente.

A nova política dos centros de produção de eletricidade continuaria sendo principalmente as termelétricas (gás natural) e seria mantido o desenvolvimento de pequenas plantas de geração hidrelétricas, sem a intenção de se construir represas de grande porte para a produção de energia (exceto a de Alqueva).

3.5.2 - Cenário 2 – Diversificação e Crescimento Industrial

Este cenário é caracterizado como segue por uma redução nos setores de exportação tradicional, por um grande papel da diversificação polarizada de setores “maduros” para que não sofram intensificações tecnológicas, com um forte papel dos investidores estrangeiros junto com empresas de médio e pequeno porte; criação dinâmica de empregos, nos quais os setores internacionais especializados teriam grande parte, mas no qual o setor de serviços ainda continuaria predominante; uma filiação geo-econômica Euro – Atlântico.

Este cenário se destacaria pelos seus investimentos em irrigação e sua necessidade de garantir água em qualidade e quantidade para as maiores indústrias e centros urbanos; assim haveria maior colaboração e independência no gerenciamento de bacias hidrográficas internacionais.

Este cenário teria as seguintes principais características: investimento no projeto Alqueva, providenciando irrigação para quase a mesma área que no primeiro cenário, porém com maior ênfase na horticultura e fruticultura. Este projeto também desviaria um volume significativo para a bacia do Sado, liberando maior volume para o fornecimento urbano e industrial e para reforçar o suprimento para irrigação no Sotavento Algarve; investimentos seriam feitos em grandes represas na bacia do Tejo que resolveria a deficiência de fornecimento de água para a irrigação dos perímetros atuais e aumentaria substancialmente a área irrigada desta bacia, afetando as áreas do Ribatejo e do Alto Alentejo; investimentos e uso total do sistema de irrigação de importância

regional – principalmente a Cova de Beira (incluindo a construção da represa do Sabugal), o Sotavento e Algarve; investimentos nas represas da bacia do Douro, funcionando como reservatórios de água, assim como o desenvolvimento adicional da cascata do Tâmega; investimento para assegurar o fornecimento para áreas urbanas e industriais, especialmente no sul, visando reduzir o fornecimento feito através dos aquíferos subterrâneos na Península de Setúbal.

3.5.3 - Cenário 3 – Intensificação de Serviços e Internacionalismo

Este cenário, chamado de “Intensificação de Serviços e Internacionalismo”, é caracterizado pelos seguintes aspectos: um papel central em diversificação de produção com mais ênfase em serviços internacionais e estruturas baseadas em áreas funcionais – saúde, lazer, comunicação e sistemas de áudio visual, as quais estão esperadas para ter um crescimento na demanda internacional, medidas para atrair grupos de terceira idade da Europa e de países desenvolvidos, criação de empregos dinâmicos claramente dominados pelo setor de serviços, mas com maior ênfase em serviços internacionais, uma filiação geo-econômica Euro-Global.

Neste cenário haveriam grandes investimentos para garantir a qualidade da água, criando ou preservando reservas d’água, assegurando uma autonomia nacional maior.

Consequentemente, o gerenciamento de recursos hídricos incluiria os seguintes aspectos: o projeto Alqueva originaria uma área irrigada menor do que nos cenários 1 e 2, compensado por uma ênfase maior no consumo industrial e urbano; a ênfase na produção hidrelétrica do projeto também seria menor.

O cenário 3 apresenta prioridade na construção de grandes reservatórios para garantir a estabilidade de fornecimento de água (ex. Alqueva, Sabugal, Foz Côa). Este cenário visaria construir grandes reservas de água, algumas que poderiam, se fosse necessário, ser parte de uma conexão internacional do sistema de bacias hidrográficas. Também incluiria um esforço concentrado em garantir a qualidade e a quantidade de água dos grandes aquíferos subterrâneos do país (investimentos em recuperação).

O uso completo da cascata do Tâmega, tanto para a produção hidrelétrica como para fornecimento de água com propósitos urbanos e industriais.

Uma característica fundamental deste cenário na área hidrográfica, não seria tanto a criação de um novo sistema de irrigação no sul, mas sim uma maior atenção para as áreas mais irrigadas do país – Douro e Minho.

3.6 - Seleção dos Projetos

O critério para a escolha do aproveitamento hidroenergético que servirá para a utilização da simulação computacional foi baseada em 4 critérios de viabilidade, isto é :

1. as características do projeto em relação a localização, tipo de estrutura e tamanho;
2. os problemas inerentes a qualidade da água, sedimentação e outros aspectos relativos ao meio ambiente;
3. os tipos de uso da água – hidroeletricidade, irrigação, fornecimento público, vazão ecológica, etc.;
4. tipos de projetos – públicos ou privados.

Baseado nestes 4 critérios e na tabela 3.2 em relação às características e usos dos reservatórios, foram selecionados os seguintes aproveitamentos hidroenergéticos em Portugal.

1. Magos
2. Monte Novo
3. Foz Côa
4. Alto Lindoso
- 5. Arade**
- 6. Montargil**
- 7. Aguireira**
- 8. Alqueva**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Os quatro casos mais representativos e interessantes dentro dos oito aproveitamentos selecionados anteriormente são os números 5, 6, 7, e 8 (em negrito). A figura 3.6 mostra a localização dos quatro casos selecionados.

A seguir são descritas as principais características dos aproveitamentos citados, visando a escolha do aproveitamento hidroenergético que servirá de base para o estudo proposto nesta tese.

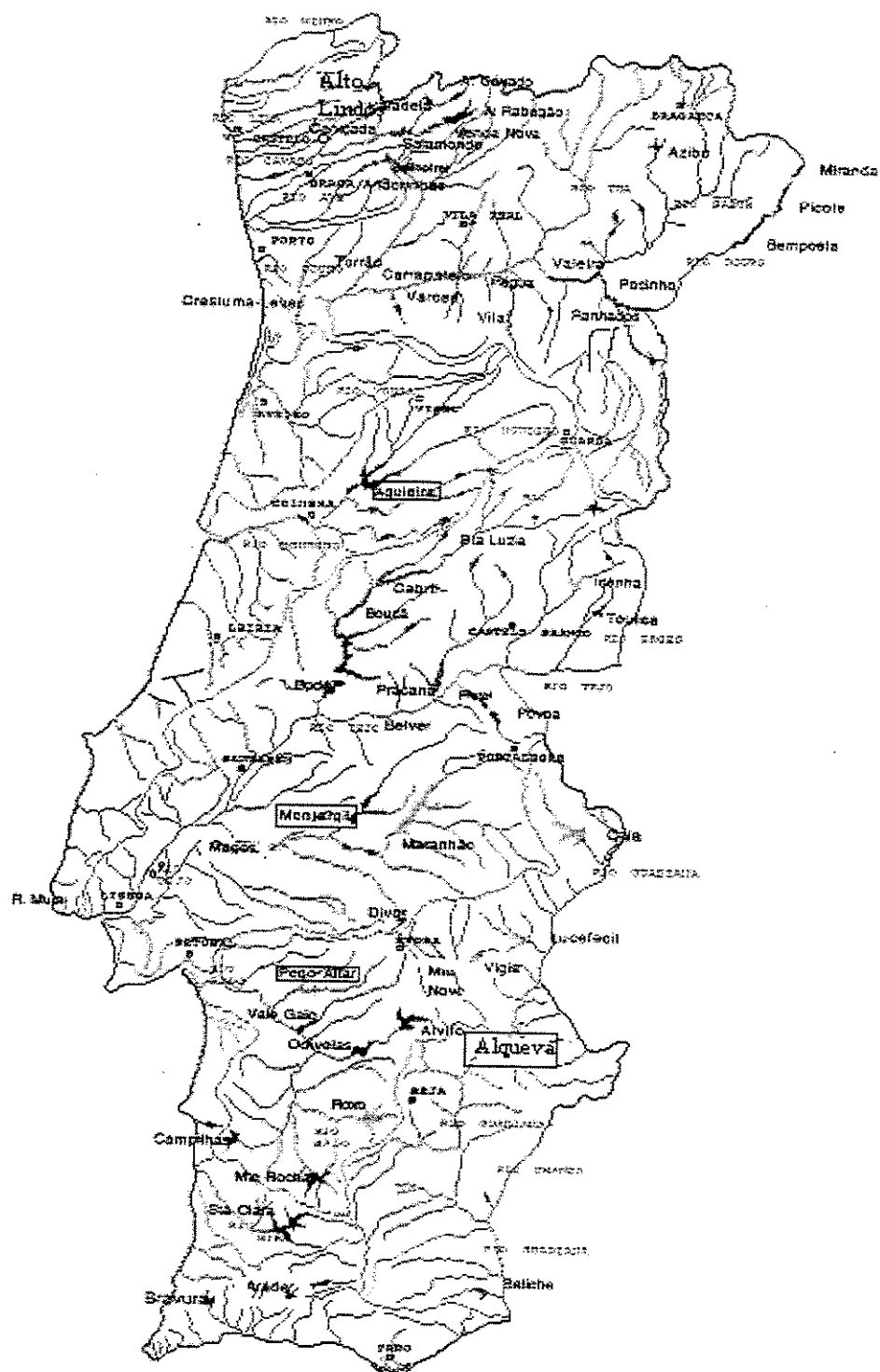


Figura 3.6 – Localização das barragens escolhidas - Fonte INAG, 1992.

3.6.1. - Represa Arade

3.6.1.1. - Descrição resumida da represa e do reservatório.

A Represa do Arade está localizada no rio Arade, distrito de Faro e tem as características mostradas na tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Características da barragem e reservatório de Arade

Entrada em operação	1955	Reservatório	
Tipo	Enroncamento	Area (km ²)	1,82
Altura (m)	50	Capacidade total (10 ⁶ m ³)	28,4
Vertedor		Capacidade útil (10 ⁶ m ³)	27,0
Tipo	Tulipa		
Fluxo m ³ /s	500	NME (m)	62,5
Proprietário	Estado	NPA (m)	61,0
Projeto	JAOHA	NMEx (m)	34,5
Operador	Ass. Ben. Silves		

Fonte: MONTE & ROCHA (1998)

Onde:

NME = Nível Máximo Extraordinário

NPA = Nível Pleno de Armazenamento

NMEx = Nível Mínimo de Exploração

A represa do Arade é uma represa de terra zoneada com um núcleo central de argila.

A figura 3.7 mostra a planta, o desenvolvimento da secção e os cortes transversais da barragem e vertedor da represa do Arade.

A figura 3.8 mostra uma foto da barragem de Arade

2.6.1.2 - Metas

Esta represa foi construída para irrigação dos solos agricultáveis nas margens dos cursos de água do Arade e de Odelouca com uma área total de 1,9 km².

Foi projetada para suprir uma média anual de 22,4 milhões de m³ durante 9 meses.

Este aproveitamento inclui também uma pequena planta de geração de energia, visando assegurar a operação das unidades instaladas na estação de bombeamento de Silves. A estação de bombeamento tem 565 kW de força instalada com altura de bombeamento média de 23,6 m.

Além de ter a função do controle de enchentes, esta barragem destina 1,8 milhões de m³ de água para atender o uso doméstico de 42.000 pessoas.

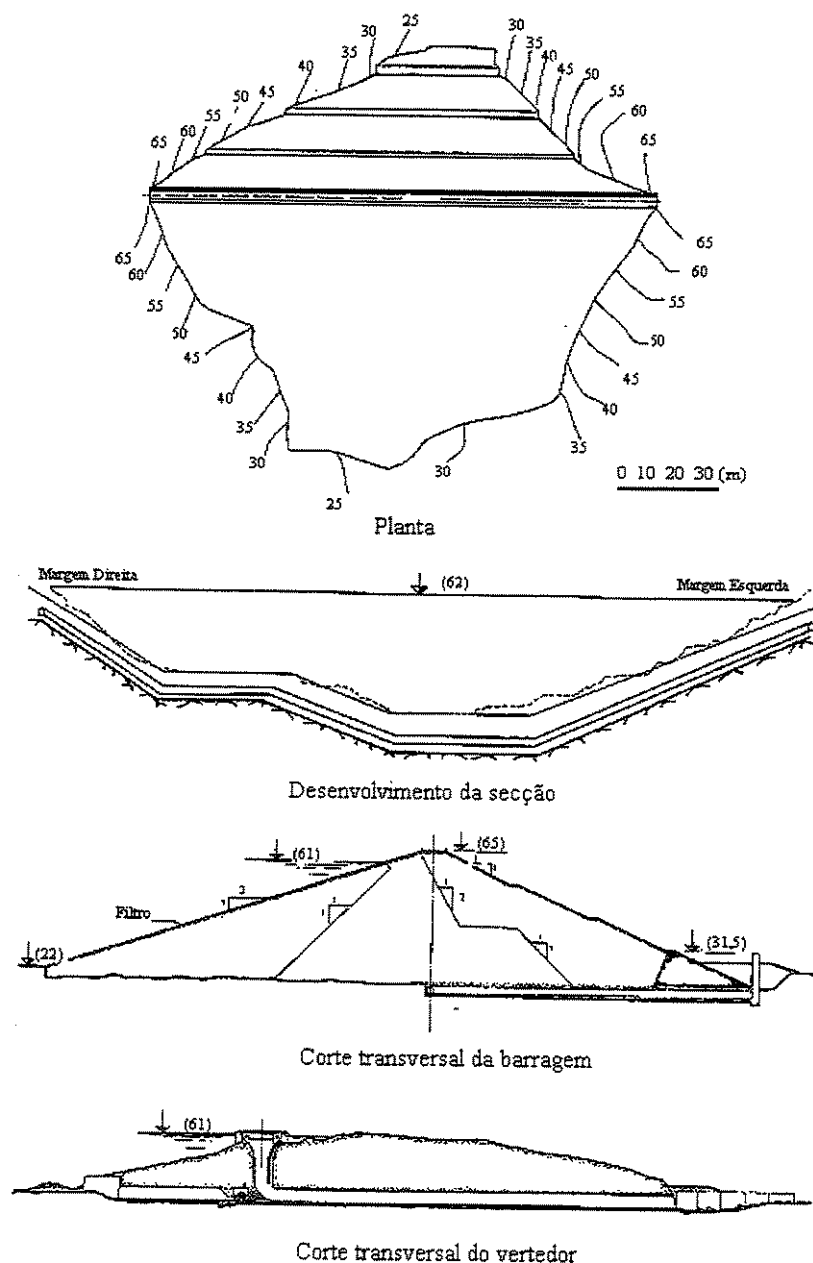


Figura 3.7- Planta, desenvolvimento da secção e cortes transversais do aproveitamento de Arade



Figura 3.8 – Foto da barragem do Arade

3.6.2 - Represa de Montargil

3.6.2.1. - Descrição resumida da represa e do reservatório

A represa de Montargil está localizada no rio Sôr, distrito de Portoalegre e tem as características mostradas na tabela 3.6:

Tabela 3.6 – Características da barragem e reservatório de Montargil

Entrada em operação	1955	Reservatório	
Tipo	Enroncamento	Area (km ²)	16,5
Altura (m)	48	Capacidade total (hm ³)	164,3
Vertedor		Capacidade útil (hm ³)	142,7
Tipo	Tulipa		
Fluxo (m ³ /s)	765	NME (m)	80,8
Proprietário	Estado	NPA (m)	80,0
Projeto	DGSH	NMEx (m)	65,0
Operador	Ass. Ben. Sorraia		

Fonte: MONTE & ROCHA (1998)

A represa Montargil é uma represa de terra zoneada com um núcleo central bastante reforçado.

A figura 3.9 mostra a planta, secção desenvolvida, secção em corte do vertedor e da barragem de Montargil.

A figura 3.10 mostra uma foto da barragem de Montargil.

3.6.2.2 - Metas

O aproveitamento de Montargil faz parte do sistema de irrigação do Vale do Sorraia, providenciando irrigação para uma área de 154 km² de terra, quase 92% da água de irrigação; também é usada para gerar energia através de uma usina de 3.200 kW, com uma altura de queda média de 27,6 m.

A média de fornecimento anual de água junto com a represa de Maranhão, localizada num rio paralelo e com a represa de Furadouro é de 178 milhões de m³ durante um período de 7 meses de irrigação.

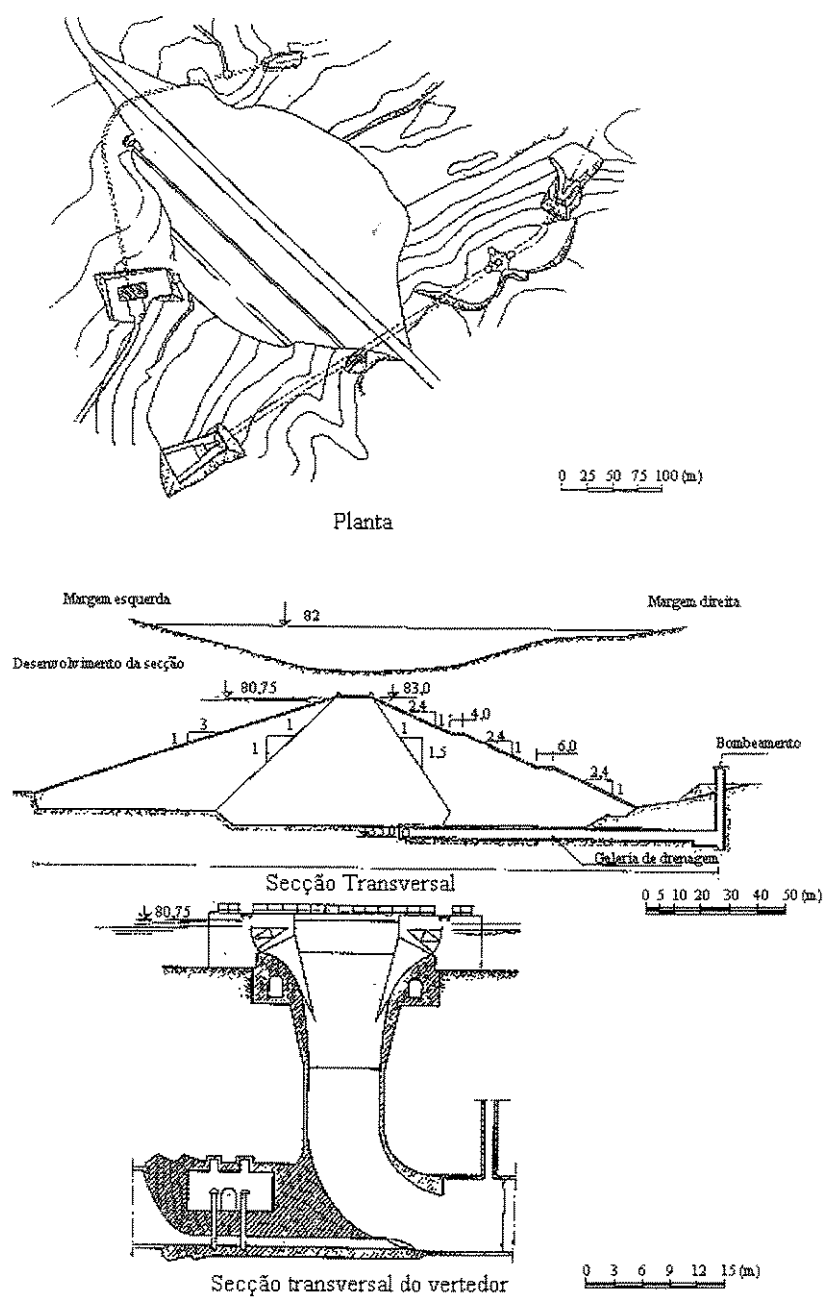


Figura 3.9 – Planta, desenvolvimento da secção e cortes do aproveitamento de Montargil

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

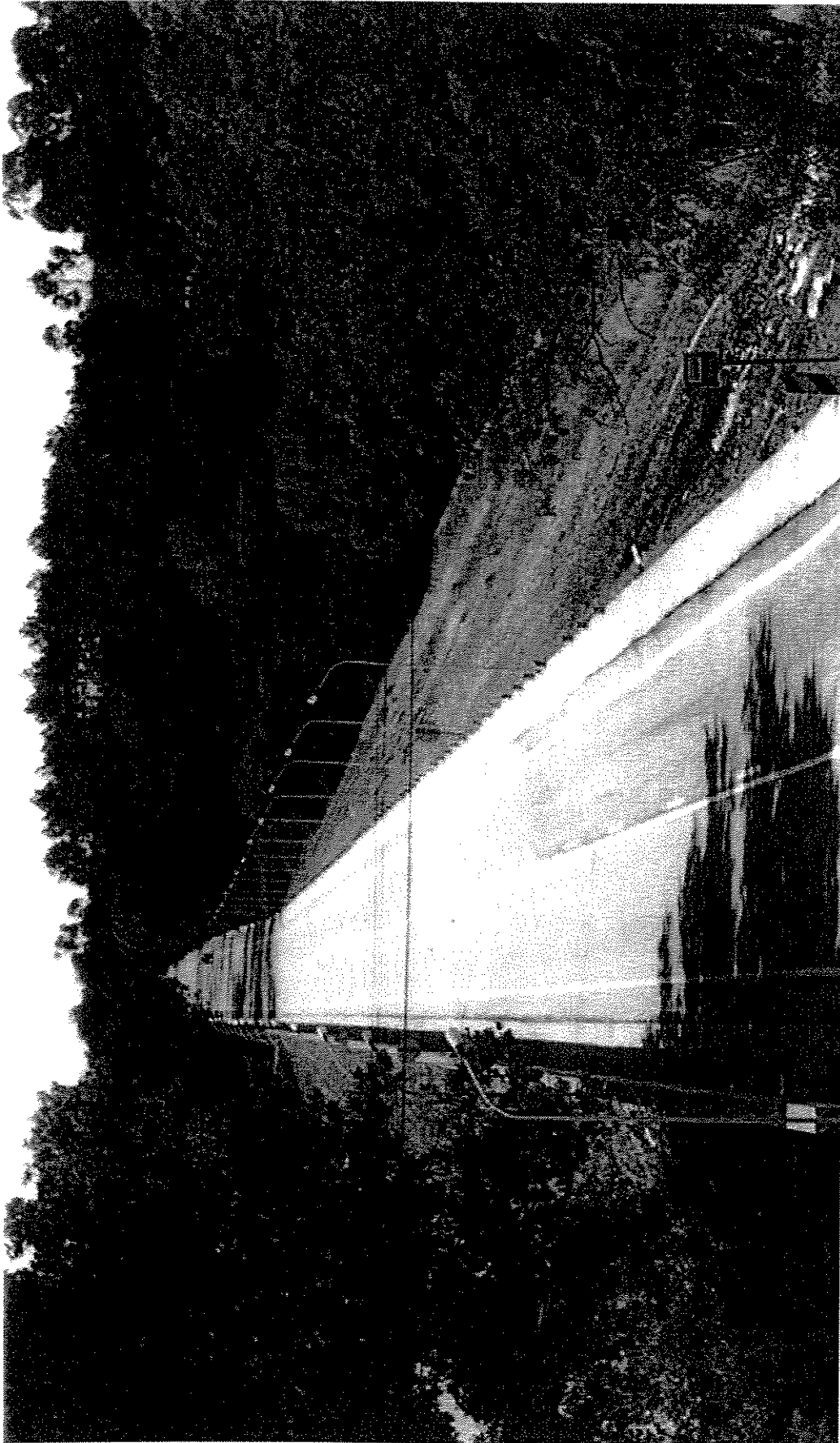


Figura 3.10 – Foto da barragem de Montargil

3.6.3. - Represa Aguieira

3.6.3.1 - Descrição resumida da represa e do reservatório

A represa Aguieira fica situada perto de Penacova, aproximadamente 35 km de Coimbra e apresenta as características mostradas na tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Características da barragem e reservatório de Aguieira

Entrada em operação	1981	Reservatório	
Tipo	Múltiplos Arcos	Área (km ²)	20,0
Altura (m)	89,0	Capacidade total (hm ³)	429,2
Vertedor		Capacidade útil (hm ³)	178,2
Tipo	Canal		
Fluxo (m ³ /s)	2,18	NME (m)	126,0
Proprietário	Estado	NPA (m)	125,0
Projeto	EDP	NMEx (m)	114,0
Operador	CPPE - (Tejo-Mondego)		

Fonte: MONTE & ROCHA (1998)

A figura 3.11 mostra a planta, o desenvolvimento da secção e corte transversal do aproveitamento de Aguieira.

A figura 3.12 mostra uma foto da barragem de Aguieira.

3.6.3.2 - Metas

O aproveitamento de Aguieira foi construído por razões múltiplas: armazenamento de água para a maior bacia hidrográfica fornecida exclusivamente por água de Portugal; produção de eletricidade; controle de enchentes visando diminuir as enchentes do Baixo Mondego para manter um fluxo ecológico mínimo para irrigar o vale que tem 150 km² de terras agricultáveis.

A represa de arco é formada por três arcos. A casa de força é equipada com 3 unidades reversíveis de bombas-turbinas, com uma capacidade instalada total de 270 MW, permitindo uma capacidade de produção de 237 GWh em um ano médio.

Usando um túnel de conexão, esta represa é operada junto com a represa de Fronhas, construída no rio Alva, um afluente do rio Mondego.

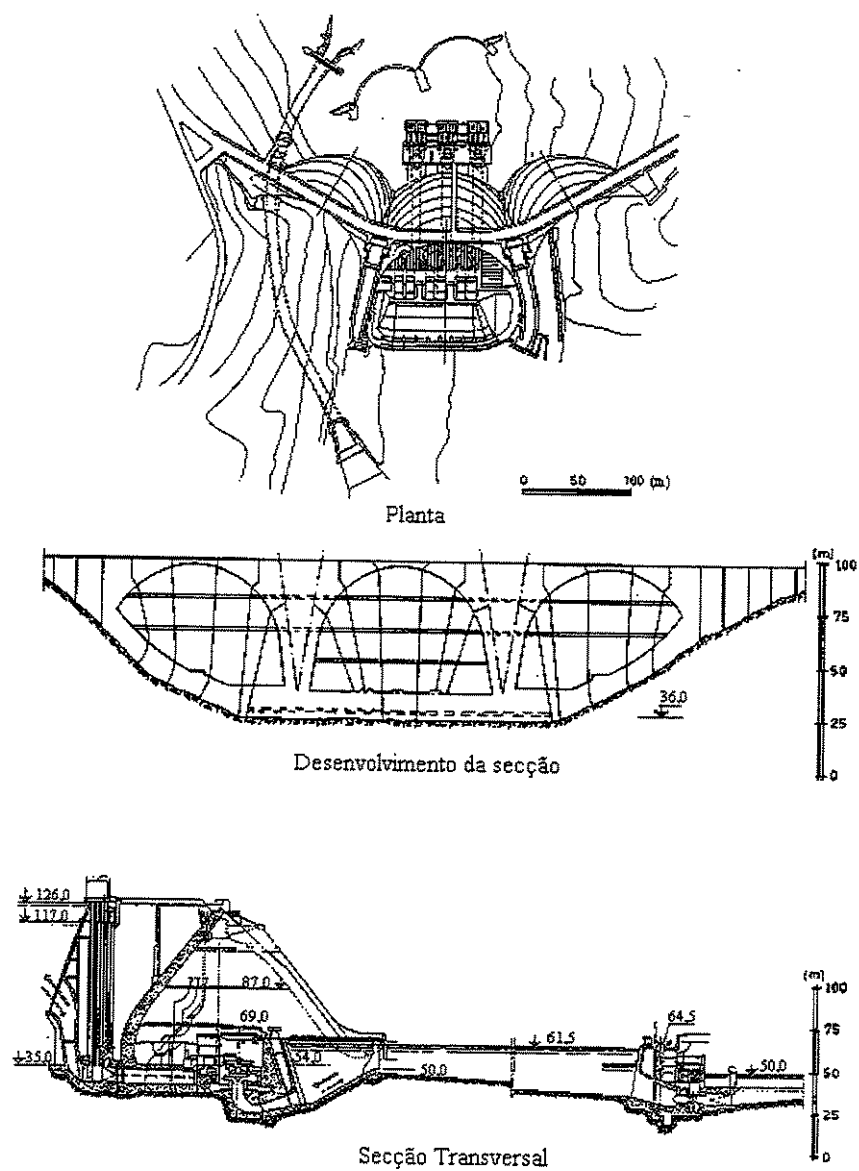


Figura 3.11 – Planta, desenvolvimento da secção e corte do aproveitamento de Aguieira

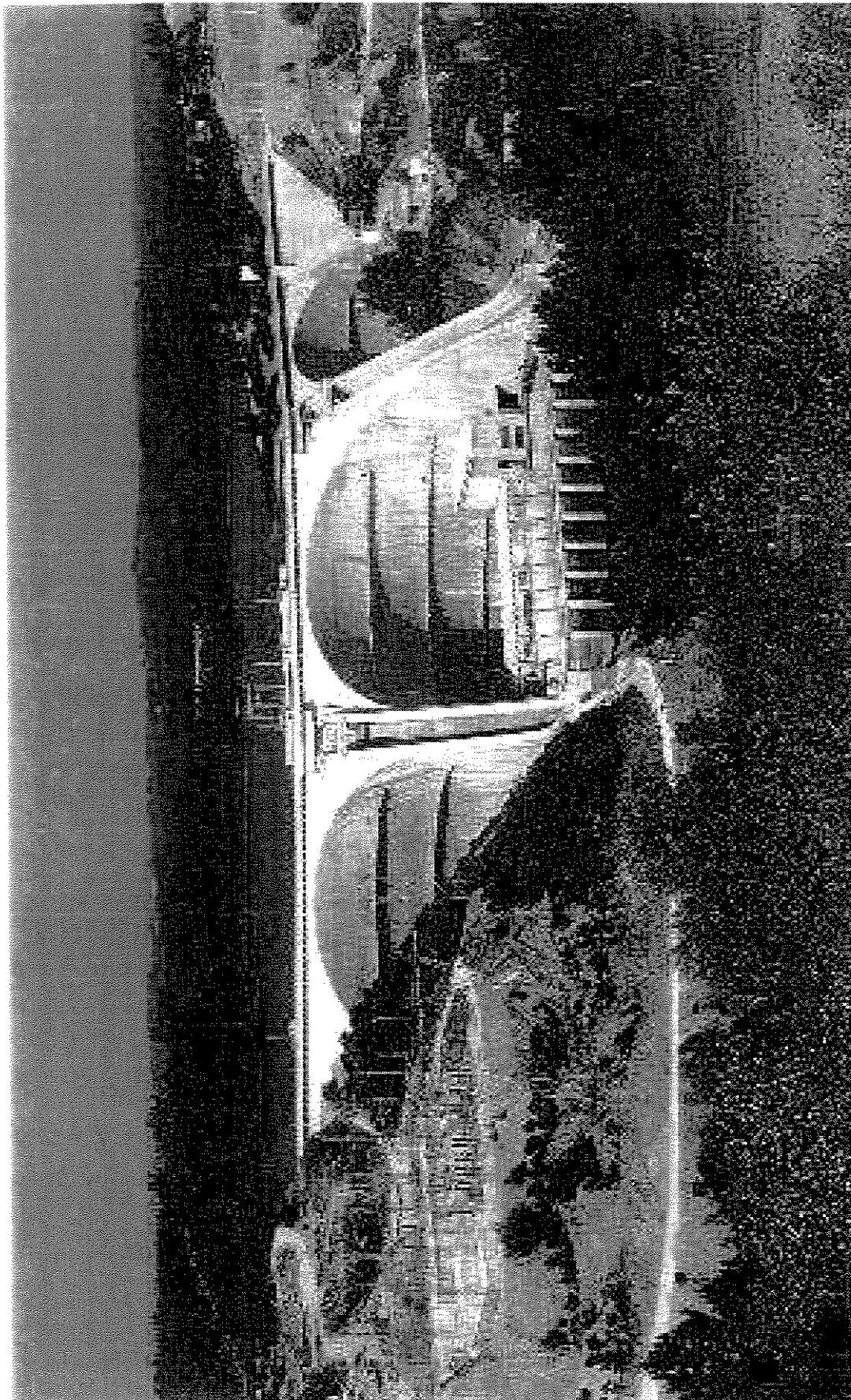


Figura 3.12 – Foto da barragem de Aguieira.

3.6.4. Represa Alqueva

3.6.4.1. - Descrição da represa e do reservatório

A barragem de Alqueva localiza-se no rio Guadiana, no trecho compreendido entre as confluências dos rios Degebe e Ardila, conforme mostra a figura 3.13. Trata-se de uma barragem em abóbada de dupla curvatura, de concreto, com coroamento à cota (154m) e desenvolvimento de 458m e uma altura máxima de 96m, a figura 3.14 ilustra a planta e o circuito hidráulico do aproveitamento.

A represa e o reservatório de Alqueva terão as características que estão apresentadas na tabela 3.8:

Tabela 3.8 – Características da barragem e reservatório de Alqueva

Entrada em operação	2001	Reservatório	
Tipo	Abóbada	Área (km ²)	250
Altura (m)	96	Capacidade total (hm ³)	4,150
Vertedor		Capacidade útil (hm ³)	3,150
Tipo	Canal	Volume morto (hm ³)	1000
Fluxo (m ³ /s)	9,7	NME (m)	152,0
Proprietário	Estado	NPA (m)	152,0
Projeto	EDP	NMEx (m)	135,0
Operador	EDIA		

Fonte: MONTE & ROCHA (1998)

A represa tem um arco de dupla curvatura e uma casa de máquinas equipada com duas unidades de 120 MW cada.

O complexo de Alqueva inclui a represa, a jusante de Pedrogão, 680 km de canais de irrigação primários e 4,400 km de canais secundários.

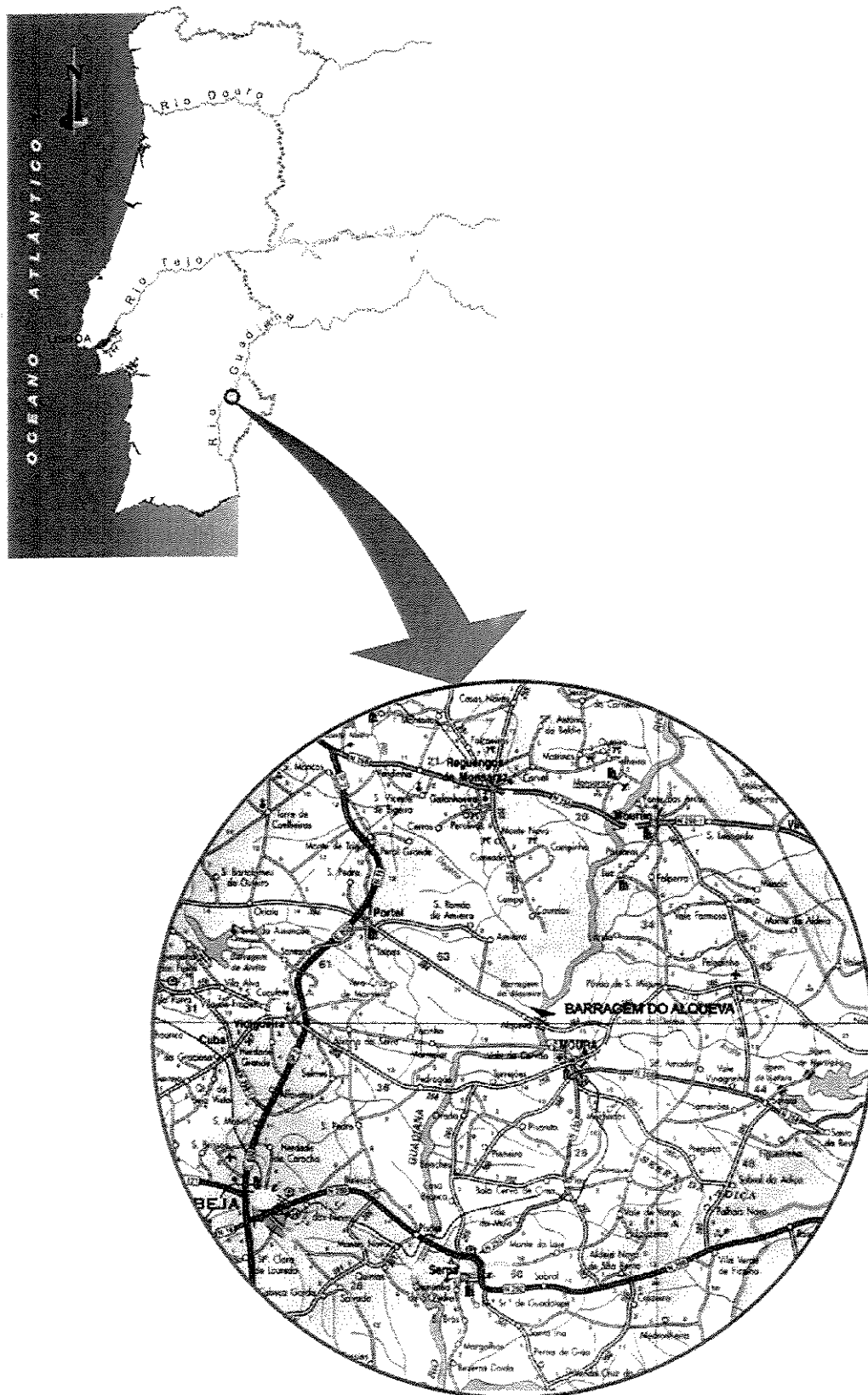


Figura 3.13 – Localização da barragem de Alqueva

3.6.4.2 - Metas

O aproveitamento de Alqueva resulta de uma atitude estratégica de utilização dos recursos e das potencialidades existentes na região interior do Alentejo, visando atingir os seguintes objetivos:

- constituição de uma reserva estratégica de água;
- garantia de abastecimento regular de água;
- alteração progressiva do modelo de especialização da agricultura do sul de Portugal;
- produção de energia elétrica;
- combate à desertificação física e às alterações climáticas;
- dinamização do mercado de emprego regional.

3.6.4.3 - Passado Histórico

As primeiras referências à necessidade de se criar uma reserva de água no rio Guadiana em pleno Alentejo surgiram há pelo menos 100 anos, embora o projeto, enquanto empreendimento de fins múltiplos viesse a surgir em 1957, época em que é criado também o plano de irrigação do Alentejo.

Identificada a origem de água no Guadiana, rio internacional partilhado com a Espanha, foi necessário estabelecer um acordo que regulasse a utilização deste recurso. Foi então celebrado o Convênio Internacional Luso Espanhol que veio atribuir a Portugal a exploração hidráulica do trecho internacional deste rio entre as confluências do rio Caia e a da ribeira de Cuncos. Este Convênio assinado em 1968 previa a construção de Alqueva, elemento fulcral do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva.

Entre avanços e recuos, ficaram na história a decisão governamental de 1975 de dar corpo ao empreendimento e o início dos trabalhos em Alqueva em 1976.

As obras preliminares duraram apenas 2 anos, tempo para construir as ensecadeiras de montante e jusante, o túnel de desvio provisório do rio, acessos e infra-estruturas de apoio. As obras foram interrompidas em 1978.

O empreendimento entrou então numa fase de avaliações e novos estudos, tendo o governo decidido retomar o projeto em 1993. Foi então criada a Comissão Instaladora da Empresa do Alqueva, que preparou e lançou as primeiras licitações públicas internacionais com

vista à reativar o empreendimento. Dois anos mais tarde essa comissão deu lugar à EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S. A.

Os trabalhos foram reiniciados em 1995 e em maio de 1998 ocorreram as primeiras concretagens que deram corpo a mais desejada e esperada obra no Alentejo.

3.6.4.4 - Medidas de Minimização

A represa de Alqueva criará o maior lago artificial da Europa. Este fato obviamente induzirá a um impacto no meio ambiente, o qual foi avaliado em três estudos. Medidas subsequentes de minimização foram empreendidas, assim como a criação de um santuário ecológico para espécies em extinção e a construção de uma vila idêntica à que ficou submersa (Aldeia da Luz).

Hoje, estudos estão sendo feitos focalizando: simulação de temperatura e variações do oxigênio dissolvido nos reservatórios das represas Alqueva e Pedrogão; evolução do estado trófico da água nos reservatórios; impacto na qualidade da água dos reservatórios; estudo de custo; benefício na viabilidade técnica da aeração da água.

O impacto no meio ambiente foi um assunto muito importante no processo de decisão da construção da represa de Alqueva. Apesar da grande oposição de algumas organizações não governamentais de ecologistas devido principalmente ao tamanho do projeto, a Comissão Europeia estava convencida dos estudos feitos pelo governo Português e a minimização dos impactos do empreendimento foi bem definida.

3.6.4.5 - Planos de Conservação

Ainda não estão sendo aplicados os planos de conservação, pois a represa ainda está em construção. Entretanto, deve ser mencionado que estudos na segurança da represa estão sendo feitos no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Estes estudos e testes dizem respeito à geologia do local e testes em escala reduzida de modelos físicos sobre o comportamento estrutural e na performance hidráulica.

3.7 - Escolha do Local do Aproveitamento Para a Simulação Computacional

Existem no total deste levantamento quadro barragens; destas quatro, a barragem do Arade apresenta proporções pequenas de geração de energia e área a ser irrigada.

No sistema denominado “Sorraia”, na qual está inserido o aproveitamento de Montargil, existe a maior área de irrigação com 154 km², porém também apresenta dados de pequena produção de energia elétrica.

O sistema “Aguieira” apresenta dados com um bom potencial hidrelétrico, bem como áreas extensas que utilizam irrigação, destacando-se até o momento como uma das alternativas a serem utilizadas na aplicação da simulação computacional.

O sistema “Alqueva” apresenta características de um aproveitamento de usos múltiplos que atendem às expectativas para este estudo. Cabe destacar sua área irrigada para um nível pleno de armazenamento na cota (154 m) de aproximadamente 110,000 ha com geração de energia que deverá atingir 360 MW.

Este aproveitamento também apresenta aspectos interessantes por ser uma bacia internacional, o que foi reafirmado recentemente com o acordo para a partilha de águas; sendo dos aproveitamentos analisados o que mais se aproxima de aproveitamentos hidrelétricos do Brasil (nordeste) em relação à necessidade de irrigação com conflitos energéticos. A facilidade de obtenção de dados também ajudou na escolha deste local para a realização do estudo proposto.

Com a escolha do local do aproveitamento, faz-se necessária uma caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Guadiana, que é descrita no próximo capítulo.

4 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUADIANA

Não é objetivo deste estudo elaborar uma extensa caracterização da bacia hidrográfica do rio Guadiana. Assim, são citadas as obras existentes que apresentam uma completa caracterização da bacia, efetuando apenas uma breve síntese para permitir um melhor enquadramento e compreensão.

Os trabalhos elaborados no âmbito do estudo do Impacto da Barragem do Alqueva, COSTA (1986); FONTOURA & CAPELA (1986), entre outros, foram uma das primeiras obras da década de 80 a apresentar um estudo geral sobre a bacia do Guadiana. Uma série de trabalhos, listados em PINTO & FERNANDES (1994), realizados sobre o rio Degebe (afluente do Guadiana) com o objetivo de estudar a dinâmica do funcionamento de um rio temporário fornece também informações sobre a bacia.

Várias outras obras complementam as anteriores. As discussões apresentadas no *Debate: Rio Guadiana-Passado Presente Futuro* efetuam no seu conjunto uma caracterização geral da bacia. Outros estudos elaborados pelo Instituto da Água: *A Utilização dos Recursos Hídricos nos Rios Transfronteiriços* INAG (1996) e pela anterior Direção Geral dos Recursos Naturais: *Os Recursos Hídricos no Sul de Portugal*, CLAGRHAA (1987) complementam os dados e informações.

Outras obras mais recentes apresentam uma caracterização mais atualizada da bacia hidrográfica do Guadiana com recurso de tecnologias mais sofisticadas. Em ROCHA (1995) encontra-se uma caracterização ampla e atual da bacia do rio Guadiana, cobrindo vários aspectos económicos e sociais, com uma análise aprofundada da demografia da região, sua divisão por setores de atividade, infra-estruturas da região, entre outros aspectos analisando ainda os planos de desenvolvimento previstos para a região. Neste trabalho foi aplicado o Sistema de Informação Geográfica do Guadiana (G4) ao estudo da região, onde existe muita informação disponível sobre a bacia do Guadiana, devidamente processada e armazenada com diversificada cartografia temática.

BRITES (1995) apresenta também uma caracterização bastante completa da região Sul de Portugal, incluindo a bacia do Guadiana.

4.1 – Localização

A bacia hidrográfica do rio Guadiana localiza-se entre as latitudes 37° 6' N e 40° 9' N e as longitudes 2° 15' W e 8° 9' W, no sul da Península Ibérica. É limitada a Norte pela bacia hidrográfica do Tejo, a Leste pela do Jucar, a sul pela bacia do Guadalquivir, a Oeste pelas bacias Portuguesas do Sado, Mira e Arade e a sudoeste pelas bacias do Algibre e Asseca, Figura 4.1.



Figura 4.1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Guadiana – Fonte: Brites, 1995

4.2 - Morfologia e relevo

O rio Guadiana nasce na Espanha, nas lagoas de Ruidera, Campo Montiel, à altitude de 1700 metros, percorrendo uma extensão total de 810 km até à foz entre Vila Real de Santo António e Ayamonte. Atravessa 550 km no território espanhol e 150 km no território português, percorrendo o sul de Portugal através das regiões do Alto Alentejo, Baixo Alentejo e Algarve. Os restantes 110 km constituem-se em parte da fronteira entre os dois países. Drena uma bacia de cerca de 66.960 km², dos quais 83 % (55.260 km²) são na Espanha e os restantes 17 % (11.700 km²) em Portugal, ocupando em termos de área o quarto lugar dos rios peninsulares, depois do Douro, Ebro e Tejo, (LOUREIRO, 1982).

Sob o ponto de vista morfológico a bacia pode dividir-se em três zonas distintas: o Alto, o Médio e o Baixo Guadiana. O Baixo Guadiana corresponde à parte portuguesa do rio, entre a cota 200 e a foz (incluindo ainda a bacia espanhola do Chança).

A altitude da parte portuguesa da bacia do Guadiana apresenta uma altitude média de 240 m. A região é contudo caracterizada por uma relativa uniformidade, uma peneplanície levemente ondulada, 90 % da qual situada entre os 100 e os 400 m de altitude e de onde emergem algumas massas montanhosas de fraca altitude (300 a 600 m), sendo a da Serra de Portel (412 m) a formação orográfica mais importante da região (COSTA, J. et al., 1993).

4.3 - Geologia e pedologia

A bacia do Guadiana é constituída por um substrato hercínico, parcialmente revestido por depósitos quaternários e terciários. Grande parte da bacia do Guadiana insere-se, do ponto de vista geológico, no maciço antigo ou maciço Ibérico, constituído por rochas metamórficas (xistos, micaxistos, anfíbolitos, mármore, etc.) e rochas eruptivas (dioritos, gabros, pórfiros, granitos). Em BRITES (1995) encontra-se uma caracterização aprofundada da geologia e pedologia da bacia do Guadiana.

A bacia é constituída essencialmente por solos pouco evoluídos de reduzida permeabilidade. Zonas de maior permeabilidade na zona portuguesa da bacia são os depósitos terciários de permeabilidade variável a reduzida e os calcários da região de Moura, constituídos por formações compactas e fissuradas de permeabilidade geralmente elevada, (COSTA, J. et al., 1993). Como os solos são geralmente pouco evoluídos, a litologia é o fator mais condicionante das características do solo (BRITES, 1995). A maioria dos solos da bacia portuguesa pertencem às classes C, D e E de reduzida aptidão agrícola. De acordo com o critério do “*Soil Conservation Service*” no que diz respeito à permeabilidade dos solos, a bacia dispõe de solos maioritariamente do tipo D, de grande redução da permeabilidade e elevado potencial de escoamento superficial, observando-se umas ocorrências esporádicas de solos do tipo C também com reduzida permeabilidade (COSTA, J. et al., 1993). Salienta-se por curiosidade que os solos xistosos nas áreas fronteiriças são mais delgados na parte portuguesa do que na espanhola, devido a um uso mais incorreto do solo em Portugal, devido, essencialmente, segundo BRITES (1995), às campanhas do trigo iniciadas na década de 30, que favoreceram a erosão.

4.4 - Clima

A bacia do Guadiana apresenta um clima temperado de feição continental com características mediterrâneas com verões quentes e secos e invernos moderadamente úmidos. Os invernos reduzem consideravelmente o seu rigor de montante para a jusante da bacia.

As temperaturas médias da parte portuguesa variam nos meses mais quentes de verão (julho/agosto), entre os 19 °C (na foz) e os 26 °C (Elvas) (INAG, 1995) e nos meses de inverno entre os 8 e os 12 °C (COSTA, J. et al., 1993). Em janeiro é frequente registrarem-se valores mínimos diários negativos. A temperatura média anual varia entre o valor mínimo de 12 °C na região de Castelo de Vide e o máximo de 18 °C na região fronteiriça da Aldeia Nova de S. Bento (LOUREIRO, 1982).

O número médio anual de dias de geada varia entre 5 dias na foz e cerca de 45 dias na zona fronteiriça de Elvas (INAG, 1995).

Os valores de insolação são elevados, com um valor médio anual superior a 3.000 horas de sol. O mês de julho é em média o mês do ano com insolação mais elevada, atingindo valores próximos das 400 horas no conselho de Mourão. O mês de janeiro é aquele que em média apresenta valores mais baixos, rondando as 165 horas no conselho de Mourão. Os locais da bacia que apresentam maiores valores de insolação são os que se localizam ao longo do rio Guadiana (Campo Maior, Elvas, Vila Viçosa, Alandroal, Redondo e os concelhos a leste de Évora e Portel, Reguengos de Monsaraz, Barrancos e Moura) (INMG, 1987).

A única estação com capacidade de medir a radiação solar na bacia do Guadiana em Portugal é a de Évora, mas não existem dados que permitam apreciar a variabilidade da radiação nesta área da bacia. Em “O Clima de Portugal” (INMG, 1987) encontram-se os valores médios mensais da radiação global para o período de 1955/1970. O mês que apresenta um menor valor é o de dezembro (4,9 kW/m²), registrando-se o valor médio mais elevado em julho (21,7 kW/m²). A média anual é aproximadamente 148,5 kW/m².

A nebulosidade segue um padrão de variação anual inverso ao da radiação solar, registrando-se em julho e agosto o maior número de dias por mês sem nebulosidade ou com nebulosidade inferior a 2/10 e em dezembro e janeiro os meses com maior número de dias com céu muito nublado, superior a 8/10. Em Elvas, no período de 1947/70 registrou-se um número total médio anual de 81,5 dias com nebulosidade superior a 8/10, tendo-se verificado uma média mensal de apenas 0,5 dia em julho e de 11,4 dias em janeiro. No mesmo local observou-se para o

mesmo período um total médio anual de 154,0 dias com nebulosidade inferior a 2/10, variando de um mínimo de 7,8 dias em março até um máximo de 24,2 dias em julho (INMG, 1987).

A evaporação média anual também é elevada, oscilando entre um mínimo de 1400 mm a um máximo de 1700 mm na parte portuguesa da bacia, TANGARRINHAS (1994). A evapotranspiração potencial anual varia entre cerca de 900 mm na zona de Elvas a 1000 mm junto à foz (INAG, 1995).

A precipitação média anual na bacia portuguesa do Guadiana é da ordem dos 600 mm, ligeiramente superior à verificada na Espanha (560 mm) (SANTO, 1994).

Apresenta um mínimo da ordem dos 350 mm na zona central da planície da Mancha e um máximo superior a 1000 mm nas cabeceiras do Ardila e Odeleite. Em Portugal, a região de Mértola é a que regista valores mais baixos. A distribuição espacial da precipitação média anual é bastante uniforme, estando compreendida entre os 500 e os 600 mm ao longo do eixo do rio, ascendendo aos 800 mm nas zonas mais altas nos bordos norte e sul da bacia (INAG, 1995). Toda a bacia é afetada por um período de seca com uma duração aproximada de cinco meses, de maio a setembro, concentrando-se em média mais de 80 % da precipitação anual no período de novembro a abril. Embora o montante médio anual da precipitação sobre a bacia não seja muito reduzido, a sua distribuição ao longo do ano é muito irregular, reduzindo-se, na zona média da bacia a valores da ordem dos 250 mm em anos secos e atingindo 900 mm em anos úmidos (INAG, 1995).

Em COSTA, J. et al. (1993), é efetuada uma caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do rio Guadiana.

4.5 - Hidrografia da bacia

Os principais afluentes do rio Guadiana em Portugal são de montante para jusante, o Caia, a ribeira do Luceférit, o Degebe, o Cobre, o Vascão e a ribeira de Odeleite na margem direita, e o Ardila e o Chança (que também correm em Espanha) na margem esquerda.

O rio apresenta um declive regular de cerca de 0,9% em Portugal, com exceção de um trecho entre a confluência do rio Limas e a Rocha da Galé com um declive mais acentuado de 2,5%. Na jusante de Mértola, o declive reduz-se para cerca de 0,12% ,(COSTA, J. et al., 1993).

As características mediterrâneas da distribuição anual da precipitação, observada na bacia do rio Guadiana com períodos de chuvas torrenciais e períodos de seca, são as responsáveis pelas

descontinuidades espaciais e temporais observadas nos cursos de água da bacia. Estes apresentam uma dinâmica complexa com períodos de escoamento que alternam entre lânticos e lóticos, chegando-se a observar interrupções temporárias da vazão superficial em alguns cursos de água pelo que alguns rios da bacia podem ser considerados como temporários. A única regularidade observada é a rigidez do estio. Esta variabilidade sazonal do regime hidrológico dos cursos de água (à qual se junta a aleatoriedade da distribuição dos anos secos e chuvosos) proporciona elevadas amplitudes sazonais, (MORAIS & PINTO, 1994).

4.6 - Escoamento

O escoamento na bacia do Guadiana segue o padrão ditado pelo regime da precipitação com cerca de 80% das escorrências concentradas no período de novembro a abril. O escoamento anual é tal como a precipitação, muito variável de ano para ano. A parte portuguesa da bacia constitui-se de apenas 17 % da área, a jusante; os volumes afluentes ao correspondente trecho do rio Guadiana são obviamente condicionados pelo trecho espanhol a montante. A capacidade de armazenamento das águas do Guadiana na Espanha tem aumentado substancialmente ao longo dos anos. Entre 1950 e o início dos anos oitenta, a capacidade de armazenamento no Guadiana espanhol aumentou de 56 milhões de m³ para 4500 milhões de m³, valor este que quase duplicou na última década pelo que a variação dos caudais do rio em Portugal se deve não só às flutuações do regime climatológico, mas também à variação da capacidade de armazenamento na zona espanhola da bacia, (SANTOS, M. et al., 1994).

4.7 - Características socio-econômicas

A bacia portuguesa do Guadiana apresenta uma baixa densidade populacional que tem decrescido sucessivamente nas últimas décadas. Esta tendência é mais nítida nos aglomerados de menor dimensão (menos de 10.000 habitantes). Desde 1950, paralelamente ao decréscimo da população tem-se assistido ao seu envelhecimento, (ROCHA, 1995).

A população da bacia do Guadiana dedica-se essencialmente ao setor primário, tendo-se vindo a registar uma diminuição dos quantitativos populacionais neste setor semelhantemente ao resto do continente europeu, embora de uma forma menos acentuada. Em ROCHA (1995) encontra-se uma extensa análise sobre as características socio-econômicas da região do Guadiana (bem como de todo o Alentejo), estrutura demográfica, etc., acompanhada de uma análise das razões e tendências que justificam as evoluções dos últimos tempos sobre todos os aspectos relacionados com as características socio-econômicas da região.

4.8 - Indústria

A região do Alentejo, onde se inclui a bacia do Guadiana, não possui grande tradição no campo da indústria transformadora, dedicando-se essencialmente à transformação dos produtos primários ou agrícolas (as agro-indústrias): os estabelecimentos de tanques de azeite; as moagens; as fábricas de tomate e as fábricas de cortiças são as indústrias de maior tradição na região. Existem ainda várias destilarias na região e suiniculturas (agro-pecuárias). Muitas destas unidades industriais são de pequena dimensão ou até mesmo familiares.

Existem ainda várias extrações mineiras na bacia. Os conselhos da bacia do Guadiana possuem cerca de 70 % do total das jazidas de calcário, granito, piratas e urânio do país. Existem ainda importantes corredores de mármore e xisto na região (ROCHA, R. et al., 1994); (ROCHA, 1995). Das extrações mineiras da bacia deve-se salientar as minas de Neves Corvo que ocupam o primeiro lugar na extração de cobre a nível europeu (cerca de 409.500 toneladas em 1989). Este complexo mineiro possui ainda importantes reservas de piratas complexas ricas em zinco (30 milhões de toneladas) e minérios de estanho, (ROCHA, 1995).

4.9 - Aproveitamentos Hidráulicos

O número de aproveitamentos hidráulicos é muito superior na parte espanhola da bacia do Guadiana do que na portuguesa. Na globalidade existem cerca de 40 grandes aproveitamentos na bacia.

Os aproveitamentos hidráulicos portugueses são essencialmente hidroagrícolas e para abastecimento municipal: Caia (203 milhões de m³); Lucefécit (10 milhões de m³); Vigia (17 milhões de m³); Monte Novo (15 milhões de m³); Tapada Grande (4 milhões de m³) e Beliche (48 milhões de m³) (TANGARRINHAS, 1994 e INAG, 1992). O aproveitamento do Monte Novo é utilizado no abastecimento municipal a Évora e o aproveitamento de Caia é utilizado em situação de recurso para abastecimento a Elvas e Campo Maior (quando a vazão subterrânea de abastecimento é insuficiente).

4.10 – Agricultura

O Alentejo é a região de Portugal onde a dimensão média das explorações agrícolas é maior. A região da bacia do rio Guadiana em Portugal possui uma tradição agrícola muito marcante, sendo caracterizada pela existência de grandes extensões de terras cultivadas com

cereais (culturas de sequeiro), apenas interrompidas por algumas zonas deazinheiras, vinhas e pomares e pelos poucos aglomerados populacionais e típicos montes alentejanos (ROCHA, R. et al., 1994); (ROCHA, 1995). O setor primário ocupa uma elevada percentagem de população da bacia, mas o tipo de agricultura que tem vindo a ser praticado a várias décadas, além de tecnologicamente atrasado, não é o mais apropriado ao tipo de solos da região, favorecendo os processos de degradação e erosão do solo. A atual conjuntura europeia desfavorece largamente a agricultura alentejana pela baixa produtividade que apresenta comparativamente aos restantes países comunitários, pelo que a agricultura na região se encontra, presentemente, em franco declínio.

4.11 - Fontes de poluição

A caracterização efetuada sobre a bacia do rio Guadiana tem como finalidade última, identificar as principais fontes de poluição da área e a forma como se enquadram no sistema hídrico da bacia. O clima da região em conjunto com as características hidrodinâmicas do Guadiana determina a capacidade de reação do rio a estes estímulos exteriores.

Encontram-se inventariadas cerca de 450 fontes poluentes localizadas na bacia hidrográfica portuguesa do rio Guadiana, sendo 25 % de caráter urbano, 50 % associadas ao setor pecuário (com destaque para a suinicultura) e 18 % ao setor agro-alimentar (TANGARRINHAS, 1994). As maiores concentrações de fontes poluentes localizam-se junto aos centros urbanos, nomeadamente Elvas, Vila Viçosa, Borba, Redondo, Reguengos, Portel, Vidigueira, Beja, Castro Verde e Almodôvar (CLAGRHA, 1987).

Das indústrias associadas ao setor alimentar destacam-se os fabricantes de azeite, com atividade sazonal, como sendo os mais representativos em termos de poluição orgânica. Os locais onde causam situações de maior gravidade são os conselhos de Arronches, Portalegre, Campo Maior, Serpa e Moura. Estes fabricantes de azeite não possuem qualquer tratamento de águas. A poluição provocada pelos fabricantes de azeite tem vindo progressivamente a agravar, devido à substituição do processo tradicional de fabricação por linhas de produção que proporcionam maiores concentrações localizadas do processamento de azeitona.

Nos últimos anos, a redução de vazões verificadas contribuiu para o agravamento da situação, reduzindo a capacidade de transporte e de autodepuração do rio. Os fabricantes tradicionais ainda representam, contudo, 70% da totalidade das unidades existentes na bacia.

TANGARRINHAS (1994) efetua uma estimativa e caracterização do impacto da carga poluente que estes fabricantes de azeite representam na bacia em termos de população equivalente (aproximadamente 800.000 hab.) e identifica as zonas de maiores problemas.

Existem também diversas unidades de concentrado de tomate, destacando-se duas principais, uma drenando para o rio Caia, outra para a ribeira das Lãs.

As indústrias do setor pecuário encontram-se disseminadas por toda a bacia, tendo contudo maior impacto nas regiões de Elvas, Borba, Redondo, Reguengos, Moura e Monsaraz. Este setor tem sido aquele que mais esforços tem vindo a desenvolver no sentido de melhorar a qualidade dos seus efluentes, existindo atualmente 15 a 20 % de capacidade de tratamento instalada. O número de explorações de suinicultura na bacia é cerca de 200, predominando as explorações de carácter familiar. De acordo com TANGARRINHAS (1994) a sua carga poluente em número de população equivalente é estimada em cerca de 170.000 hab.

Como já foi anteriormente referido, muitas destas unidades são de pequena dimensão, existindo contudo algumas unidades de dimensão apreciável. A maior fonte de poluição industrial localizada na bacia em Portugal é a fábrica de reciclagem de papel localizada junto à Ponte de Mourão.

Relativamente à poluição municipal, o maior problema consiste no fato de os aglomerados urbanos não disporem na sua maioria de estações de tratamento de águas residuais ou quando dispõem operarem deficientemente. Segundo TANGARRINHAS (1994) apenas 50% da população da bacia é servida por ETAR. O maior município que mais significativamente contribui para o estado de poluição da parte portuguesa do rio Guadiana é a cidade espanhola de Badajoz, com 150.000 hab., localizada cerca de 11 km à montante da fronteira com Portugal. Na parte portuguesa existem cerca de 100.000 hab. na bacia, sendo apenas 50 % servidos por ETAR.

Os tipos de poluição referidos são essencialmente orgânicos, mas também existem formas de poluição química tóxica e de metais conservativos provenientes de extrações minerais de cobre, ferro, estanho e zinco em atividade ou já desativadas.

Além das minas atualmente em atividade, exemplos de efluências de minas já desativadas, são as minas de S. Domingos na bacia do Chança; as antigas minas na região de Campo Maior, Monforte e ainda as minas do Alandroal, (CLAGRHAA, 1987). As escorrências das minas Neves Corvo devidamente tratadas e controladas, são efetuadas para o rio de Oeiras. As escorrências das minas de S. Domingos para o rio Chança (desativadas em 1965) continuam a

trazer graves problemas de poluição ao rio e ao reservatório de Chança (PEREIRA, E. et al., 1993).

Às fontes de poluição localizadas tem ainda que adicionar os efeitos da poluição difusa proveniente de zonas agrícolas de irrigação com maior intensidade do lado espanhol da bacia, na margem esquerda do Guadiana. As escorrências agrícolas são ricas em compostos nitrogenados, contendo substâncias não biodegradáveis. Essas substâncias provêm de práticas fitossanitárias das culturas de irrigação e de adubações excessivas dos terrenos cultivados com fertilizantes químicos à base de compostos fosfatados e nitrogenados (TANGARRINHAS, 1994).

Vários dos efluentes anteriormente designados drenam para afluentes do Guadiana, autodepurando-se até certo ponto, antes de alcançarem o rio Guadiana. Sintetizam-se a seguir as principais fontes de poluição do rio Guadiana propriamente dito:

- efluentes municipais de Badajoz (cujo impacto se sente em Portugal);
- rio Caia, com rejeições de fabricação de azeite, uma unidade de concentrado de tomate e os efluentes de Campo Maior;
- ribeira dos Álamos com efluentes de destilarias (sazonais) e efluentes de Reguengos de Monsaraz;
- a fábrica de reciclagem de papel de Mourão;
- efluentes da suinicultura junto a Mourão;
- fontes difusas, principalmente as provenientes das áreas de irrigação.

5 - POTENCIALIDADES DA IRRIGAÇÃO EM PORTUGAL

5.1 – Considerações Gerais

Portugal, nos seus oito séculos de nação independente foi sempre um país de vocação agrícola. E assim, com esta predominância da vocação rural e por motivos históricos variados, chegou ao século XX como um dos países de menor desenvolvimento da Europa, com uma indústria fraca e cuja agricultura, um setor de atividade econômica que empregava grande parte da população ativa que registrava os menores índices de produtividade e pobreza, não necessariamente devido aos recursos naturais – solo, clima e recursos hídricos – mas por consequência direta das políticas elaboradas para este setor, aliado ao baixo nível de escolaridade dos agricultores na sua grande maioria analfabetos, que não dispunham de técnicas mais avançadas para conseguir melhorar sua produtividade e alargar os mercados para seus produtos.

A partir da metade da década de 70 a situação política em Portugal sofreu alterações com impacto reduzido no setor agrícola, pois em algumas situações se registraram casos de abandono de algumas regiões agrícolas por parte da população mais jovem, que optou para a migração para os centros urbanos e litoral. Com a adesão de Portugal às Comunidades Europeias, este quadro agrícola está sofrendo significativas mudanças, cujas consequências são ainda de avaliação extemporânea, embora fosse de se esperar alterações significativas na modernização dos tradicionais meios de produção agrícola, em função das vultosas verbas comunitárias destinadas a este setor em Portugal.

Uma das causas restritivas em relação à produtividade dos sistemas agrícolas portugueses é sem dúvida a disponibilidade de água para a irrigação. Se for um fato que Portugal é um país onde os recursos hídricos são superiores à média dos países da Europa Comunitária, como mostra a figura 5.1, não é menos verdade que a maior parte desses recursos não estão disponíveis e com disponibilidade restrita devido a seu armazenamento. A agricultura em particular, sofre com esta situação devido principalmente à irregularidade e escassez das precipitações que impedem o aproveitamento racional do solo durante a época da seca em extensas zonas, principalmente do interior Alentejo, centro e sul do país, (MARRECOS, 1996).

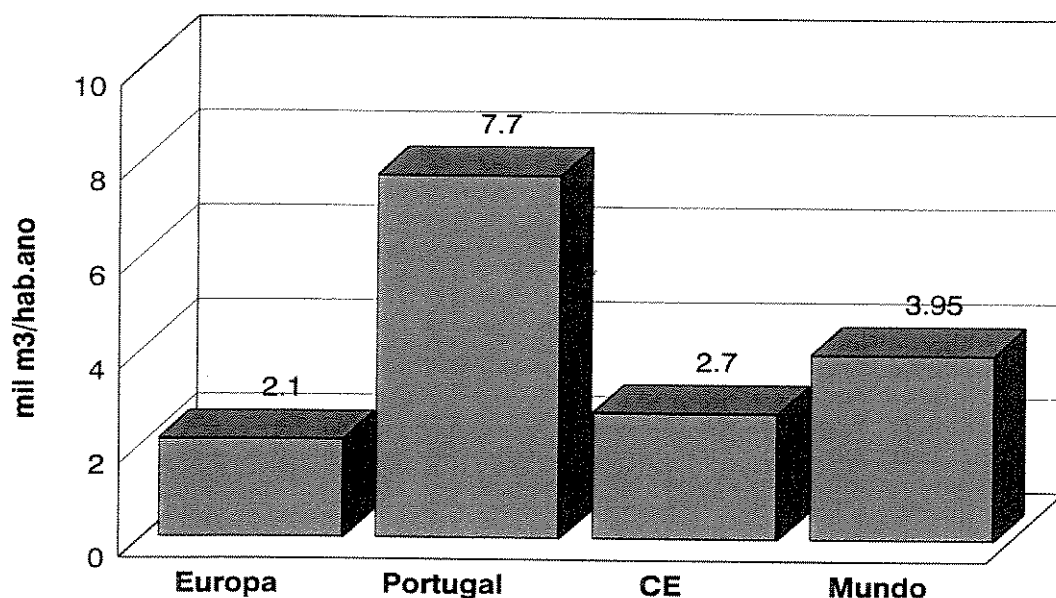


Figura 5.1 – Comparação de Disponibilidades Hídricas – Fonte: Marrecos, (1996)

5.2. – A AGRICULTURA PORTUGUESA

5.2.1 –Introdução

Em Portugal, o setor agrícola tem um elevado valor nas estruturas sociais e económicas do país, pois grande parte da população depende dela, principalmente a população de faixa etária elevada e geralmente de baixa formação profissional. Os índices da produção da agricultura portuguesa são os menores do conjunto dos países da Comunidade Europeia. Na maioria dos outros países da comunidade este setor mostrou índices de desempenho bem maior, a ponto dos excedentes de produção terem se constituído o seu magno problema nos finais da década de oitenta.

Em Portugal não se produz nem a metade dos alimentos necessários ao seu consumo, inserindo-se no presente em uma Comunidade que tende para a redução da produção, através da redução da área cultivada. A forma de como a Política Agrícola Comum virá afetar a política agrícola portuguesa é de importância vital para o futuro do país. Este aspecto demonstra o quanto é importante a política agrícola, pois foi uma das primeiras áreas em que os Estados-membros transferiram parte de sua soberania a favor da Comunidade, com o objetivo de criar um verdadeiro mercado interno em que as mercadorias, serviços, pessoas e capitais possam circular livremente.

Nas seções seguintes descreve-se a realidade agrícola portuguesa nos seus aspectos naturais, estruturais e de produção, bem como no contexto comunitário em que se insere.

5.2.2 – Solos

Grande parte do solo de Portugal é considerado como não tendo aptidão agrícola, verificando-se que 59% da área total tem aptidão florestal e apenas 26% possui aptidão agrícola, não constituindo, porém, impedimento que 46% da superfície total seja utilizada para a agricultura. Nesta diferença entre aptidão e a utilização dos solos, demonstrado no quadro 5.1, reside uma das razões que somada a diversas outras evidenciam o fraco desempenho da agricultura portuguesa e seus elevados custos de produção, (MAPA, 1991).

Quadro 5.1 – Aptidão e utilização dos solos 121

		1 000 ha					
	Aptidão	Utilização					
		1985	1986	1987	1988	1989	1990
Área Florestal	5 289	3 063	3 036	3 036	3 056	-	3 208
Área Agrícola	2 337	4 272	4 272	4 272	4 279	-	4 118
Outras áreas	1 276	1 558	1 558	1 558	1 558	-	1 567
Área total	8 893	8 893	8 893	8 893	8 893	-	8 893

Fonte: (MAPA, 1991)

Na Figura 5.2 estão demonstrados os valores médios dos dados descritos no quadro 5.1, ilustrando o desajustamento entre a aptidão e a utilização dos solos.

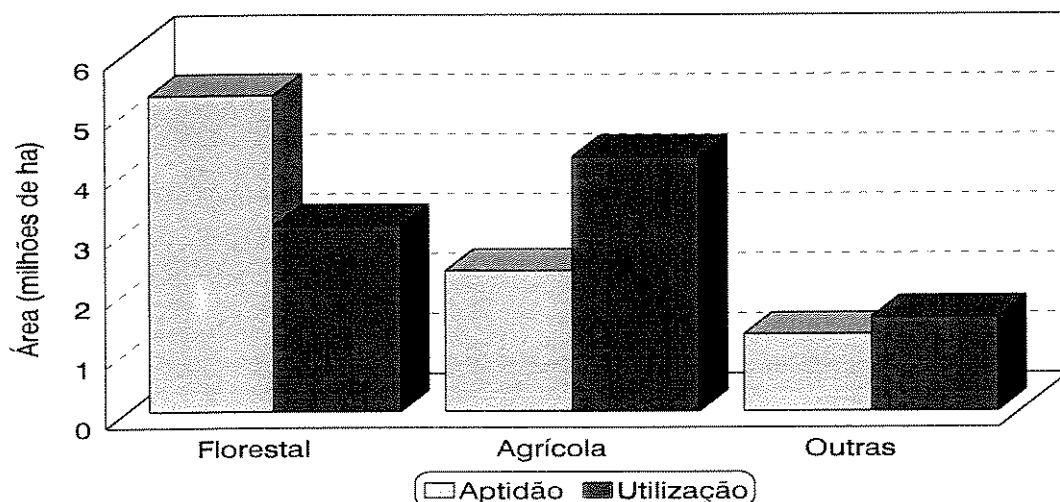


Figura 5.2 – Aptidão e utilização dos solos

5.2.3 – Clima

O clima e o solo são dois fatores naturais que podem afetar significativamente a agricultura. O clima de Portugal de forma sumária pode ser considerado um clima mediterrâneo com influências atlânticas sobre o litoral norte, sul e centro. O clima do país pode ser classificado como temperado, com um verão quente e seco e um inverno de temperaturas moderadas. A precipitação concentra-se na estação fria e distribui-se de forma irregular pelo país.

Com base na relação entre os fatores que mais condicionam as condições climáticas de Portugal – latitude, altitude e exposição – com os elementos climáticos que melhor caracterizam o clima – temperatura do ar, quantidade de precipitação e insolação – pode-se considerar o território de Portugal dividido em cinco zonas climáticas, assinaladas na figura 5.3, cujas características são apresentadas no quadro 5.2 (CARVALHO & MACHADO, 1976).

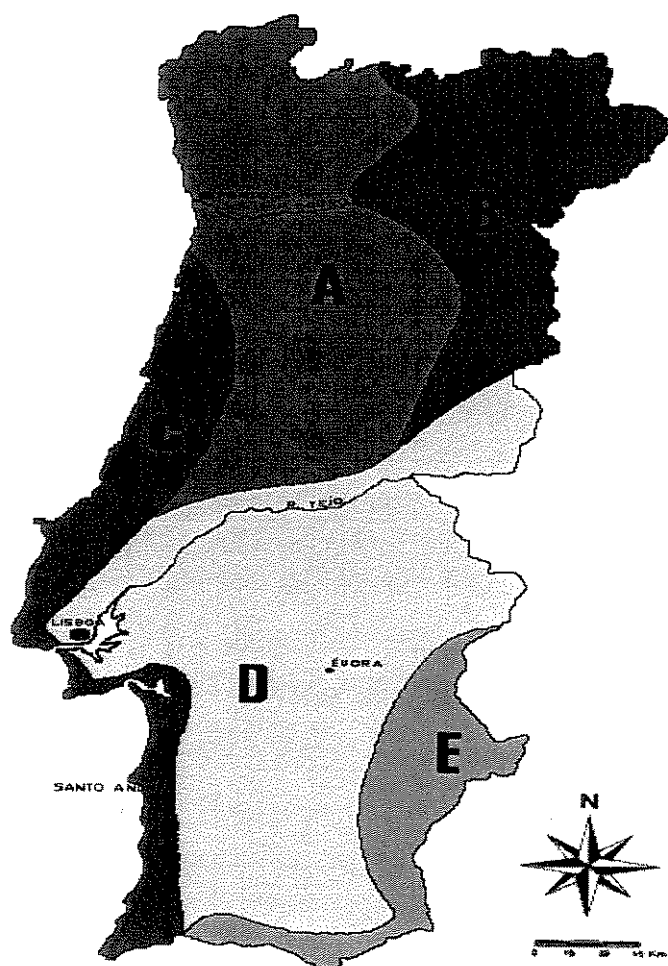


Figura 5.3 – Regiões climáticas de Portugal

Constata-se que as regiões D e E que se caracterizam por valores médios de precipitação mais baixos e temperaturas do ar mais elevadas, correspondem de grosso modo, a metade de Portugal ao sul do Tejo, onde também se encontra o aproveitamento de Alqueva.

Dada a importância da precipitação na agricultura, não se pode deixar de salientar que a seca é um acontecimento que de modo algum se pode considerar raro, pois para um período de 15 anos há pelo menos uma seca generalizada, ocupando mais da metade do território (BETTENCOURT, 1975)

Quadro 5.2 – Características médias das regiões de Portugal.

Região Climática	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura média do ar (°C)
A	< 700 – 800	1 000 – 2 000	10 – 15
	> 700 entre Douro e Tejo	2 000 – 3 000	12.5 – 7.5
	800 – 1 400	2 000 – 2 500	10 – 7.5
	> 1 400	2 000 – 2 500	5 – 7.5
B	< 200	400 – 700	10 – 15
	200 – 800	500 – 1 000	15 – 17
	> 800	1 000 – 2 000	10 – 8
C	A norte de Cabo Raso	500 – 1 000	14 – 16
	A sul do Cabo Raso	500 – 800	16 – 17
D	> 500	500 – 1 000	15 – 17.5
	> 500	800 – 1 200	12 – 15
E		400 - 700	17 – 20

Fonte: (CARVALHO & MACHADO, 1976)

5.2.4 – Estruturas

5.2.4.1 – Explorações Agrícolas

Curiosamente, é na região climática D e grande parte da região E, situada no Alentejo, onde se situa o aproveitamento de usos múltiplos de Alqueva, é que se encontra a maior área da superfície agrícola utilizada (SAU), a qual constitui 47 % da SAU do Continente e 46% da SAU do país, incluindo as regiões autónomas, conforme se pode observar na figura 5.4 (percentagem de SAU por região agrária).

É apresentada na figura 5.5 a divisão de Portugal em regiões agrárias.

A distribuição da SAU constitui um indicador da aptidão rural das regiões e reflete a dependência econômica da população em relação à agricultura e, consequentemente, a importância que o fator água tem em relação a esta região, onde aliás, este recurso é mais escasso.

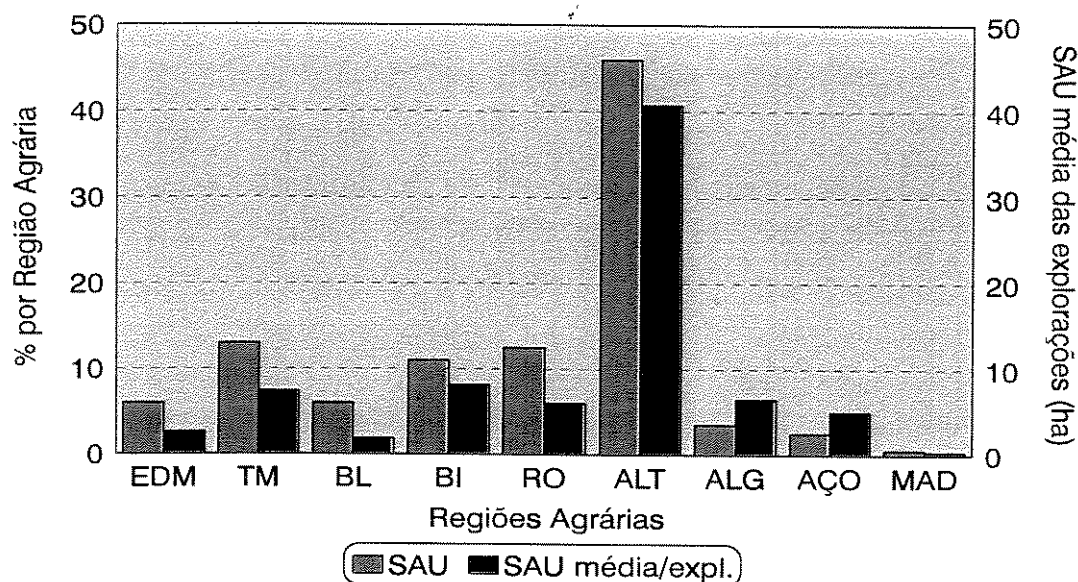


Figura 5.4 – Superfície agrícola utilizada por região agrária – Fonte: (M.A.P.A, 1993)

A figura 5.4 mostra que existe uma predominância em Portugal de pequenas explorações agrícolas, sendo exceção à região do Alentejo, região cujo número de explorações representa apenas 1% da exploração total, o que, no entanto ocupa 39% da área total das explorações. Observa-se ainda que as explorações com menos de 5 ha de SAU representam 82% das explorações, (M.A.P.A., 1992).

As regiões agrárias Entre Douro e Minho e Beira Litoral apresentam grande densidade de explorações que representam de 20 a 23% do total de explorações agrícolas de Portugal, seguidas pela região do Ribatejo e Oeste. Em 1990 a média de explorações por Zona Agrária no Continente era de 8.347, (M.A.P.A, 1991).

Em 1988, 67% da SAU era explorada pelos próprios proprietários e 24% sob forma de arrendamento, mostrando que a exploração pelo proprietário tem tendência para subir, atingindo já 70% em 1990, com maior incidência a norte, entre Douro e Minho, Beira Litoral, Ribatejo e Oeste, Algarve, e Trás-os-Montes.

A figura 5.6 mostra a utilização da superfície agrícola utilizada (SAU) em culturas permanentes e temporárias em 1992, (M.A.P.A, 1991).

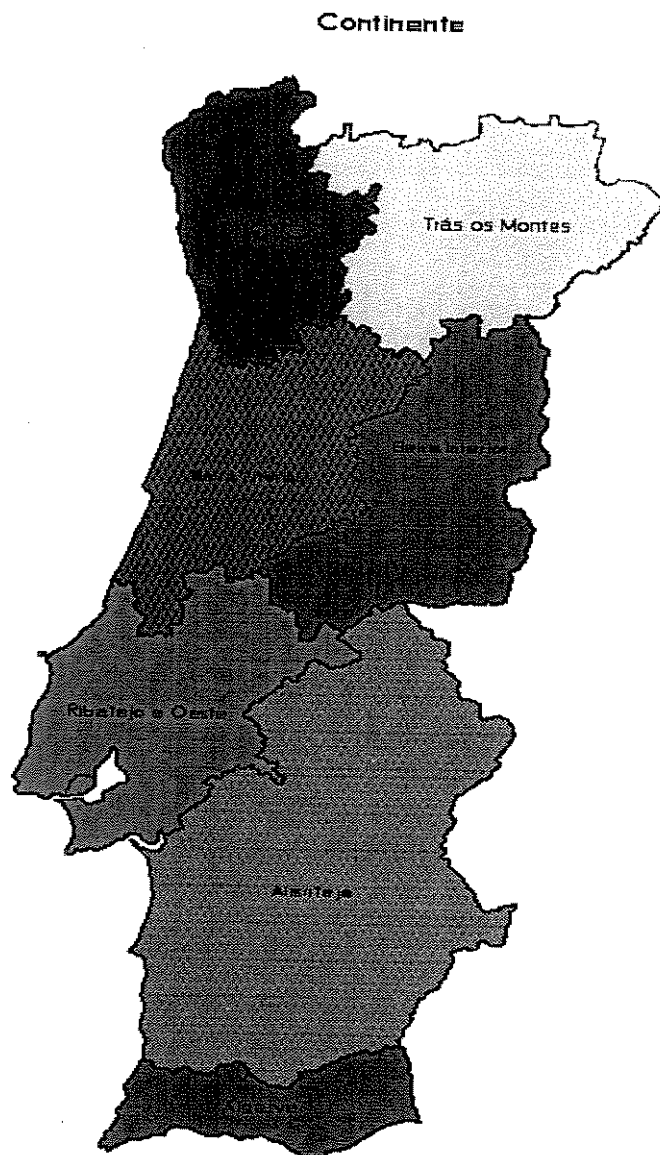


Figura 5.5 – Regiões Agrárias

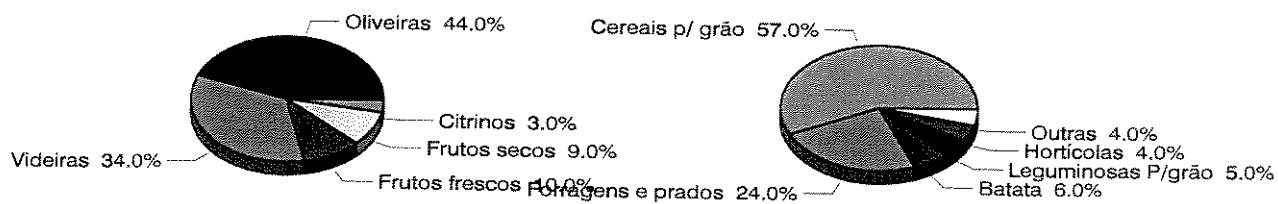


Figura 5.6 Distribuição da SAU em culturas permanentes e temporárias

5.2.4.2 - Consumo de adubos

O consumo de adubos geralmente está associado ao grau de desenvolvimento do setor agrícola. Em Portugal, o consumo de adubos tem sido um pouco inferior ao dos outros países europeus que, com condições climáticas semelhantes, apresentam produções bastante superiores. Na figura 5.7 ilustra-se a evolução do consumo de adubos em Portugal no quinquênio 1981 – 1985 (não existem estatísticas após 1985), (I.N.E., 1991), constatando-se que em termos de quantidade consumida não tem havido aumento, o mesmo não se pode afirmar em relação aos custos dos adubos consumidos que tem subido acentuadamente.

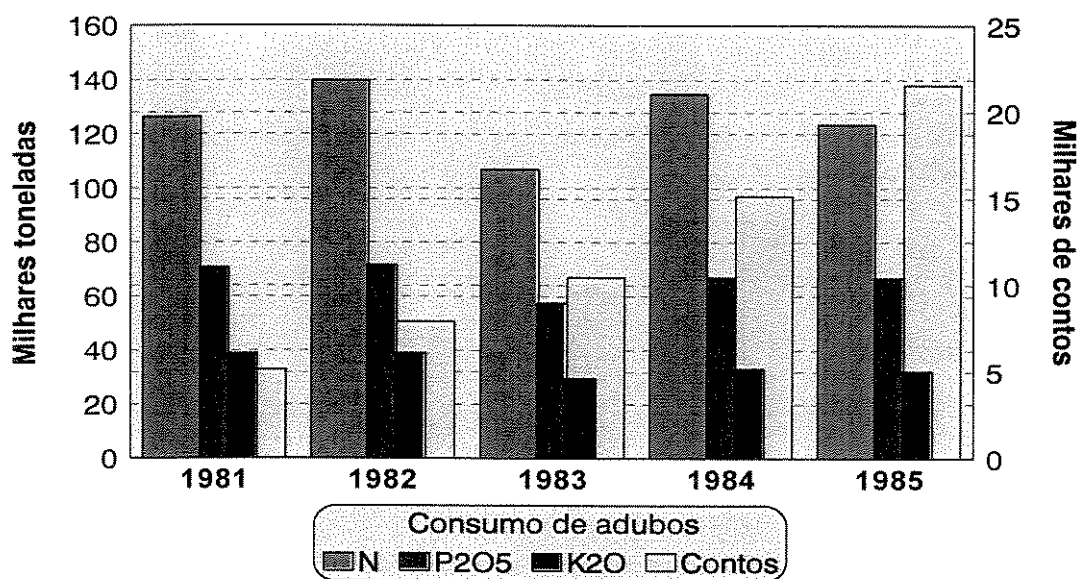


Figura 5.7 – Evolução do consumo de adubos em Portugal - Fonte (I.N.E., 1991)

5.2.4.3 Área irrigável na superfície agrícola utilizável

A área irrigável em Portugal, ou seja, aquela que possui capacidade de irrigação instalada é de 22% da superfície agrícola utilizada - SAU. O quadro 5.3 indica o número de explorações, segundo a área irrigada em cultura principal por classe de área em 1991, (M.A.P.A, 1991). Constata-se que a classe de área mais significativa é a de 1 a 5 ha, respondendo por 44% da área irrigada.

Quadro 5.3 - Distribuição da classe por área, segundo a superfície irrigada.

Regiões	Superf. (S)					Total
	1 < S «1	1 < S «5	1 < S «20	1 < S «50	» 50	
E.D. Minho	24 730	106 595	42 600	4 176	440	178 444
T. os Montes	12 326	34 878	18 688	2 664	484	68 980
B.Litoral.	31 368	62 591	15 858	4 466	2 710	116 395
B. Interior.	12 760	29 388	17 129	6 640	4 872	70 722
R e Oeste	9 327	24 349	24 075	16 858	29 882	104 460
Alentejo	2 512	10 282	15 412	10 915	23 426	62 484
Algarve	4 001	10 549	6 174	2 712	1 065	24 502
Continente	97 076	278 632	139 936	48 431	62 339	625 987

A cultura de irrigação mais importante em Portugal é o milho, conforme visto na figura 5.8, segue-se às culturas perenes (principalmente pomares), as forragens, a batata e os prados (temporários e permanentes); nas restantes culturas irrigadas inclui-se o girassol.

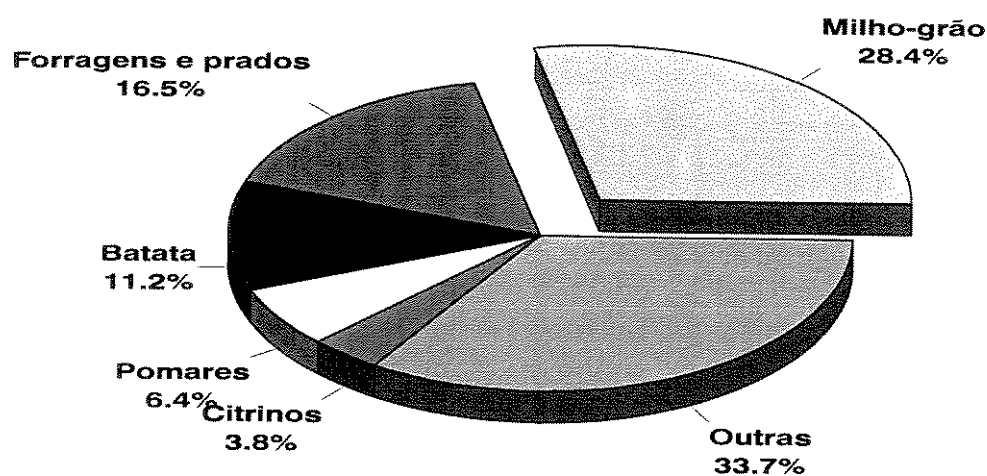


Figura 5.8 – Principais Culturas Irrigadas - Fonte (MAPA, 1991)

5.2.5 – Produção Vegetal

A produção vegetal é responsável por 50% da produção agrícola em Portugal, os outros 50% representam a produção animal. Os produtos importantes da produção vegetal que respondem por 65% da mesma são os cereais, os produtos hortícolas frescos, o mostro e o vinho (M.A.P.A, 1990). Neste estudo é analisada a produção de algumas destas culturas, dando-se

destaque àquelas nas quais Portugal apresenta déficit e nas quais a irrigação pode contribuir para a diminuição da dependência em relação à importação destas culturas.

Nesta perspectiva, apresenta-se nas figuras 5.9 a 5.11 a evolução registrada em Portugal Continental da última década da superfície cultivada (em toneladas/hectare) da produção (em milhares de toneladas) e do rendimento (em toneladas/hectare) das seguintes culturas: um cereal (milho), uma hortícola (batata) e uma cultura industrial (girassol). Nas figuras 5.12 e 5.13 estão apresentadas as distribuições espaciais nas Regiões Agrárias do Continente da superfície cultivada, da produção e do rendimento do milho e do girassol.

A figura 5.9 mostra que a área cultivada com o milho não sofreu alterações consideráveis após um decréscimo registrado entre 1981 e 1983. Em compensação, a produção tem registrado aumentos progressivos em função dos melhores rendimentos obtidos. Porém, o rendimento médio da produção de milho em Portugal durante o período compreendido entre 1981 e 1990 foi de aproximadamente 2000 kg/ha, valor bastante inferior ao dos restantes países mediterrâneos da Comunidade Europeia, como se pode observar através da comparação gráfica da figura 5.14.

A batata apresenta uma constância em relação à área cultivada, verificando-se igualmente uma estabilização da produção e do rendimento com quebras nos anos 1983 e 1988, nitidamente pouco favoráveis a esta cultura, (I.N.E., 1991).

A área cultivada com girassol (de sequeiro) tem aumentado ao longo da década de oitenta, mostrando o crescente interesse por parte dos agricultores por esta oleaginosa, principalmente nas zonas do Ribatejo e Alentejo. Na região do Alentejo situa-se o aproveitamento de Alqueva e onde se espera que através da irrigação que a cultura do girassol, bem como de outras culturas, venham apresentar sensíveis aumentos de produção. Na figura 5.13 pode-se notar a irregularidade em relação ao rendimento e produção, embora estes tenham apresentado um aumento.

A figura 5.12 revela que o milho é cultivado em todo o país, embora predomine no litoral norte e centro. Os rendimentos mais elevados estão nas zonas que utilizam irrigação, principalmente as do Minho e distritos de Aveiro e Santarém. Espera-se que com a entrada do aproveitamento de Alqueva, ocorram significativas mudanças em relação a este panorama, principalmente em relação à região sul de Portugal.

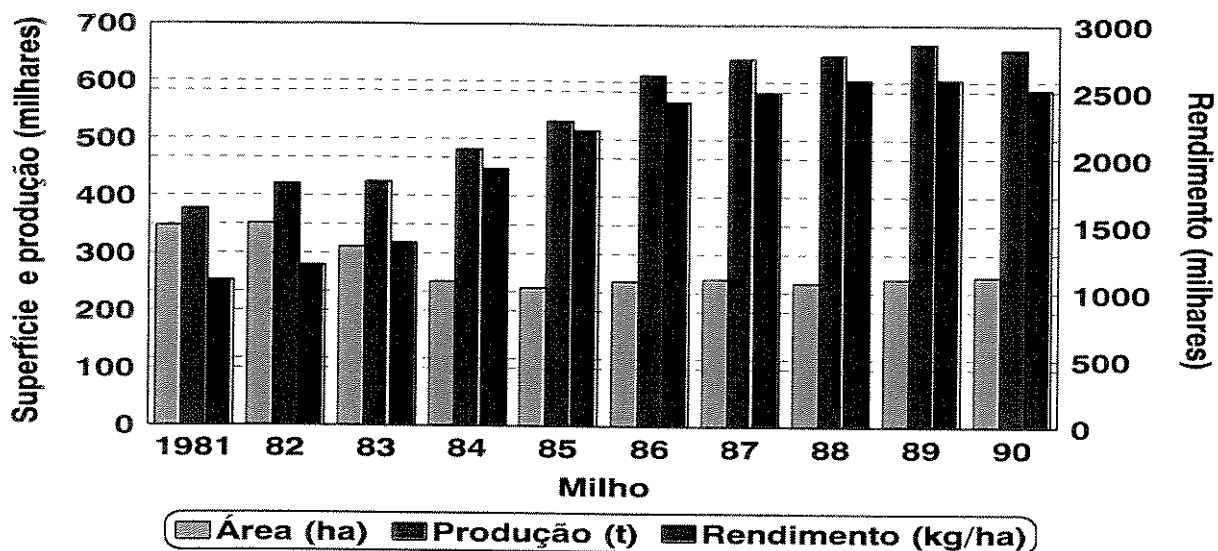


Figura 5.9 Evolução da produção de milho no Continente na década de 80

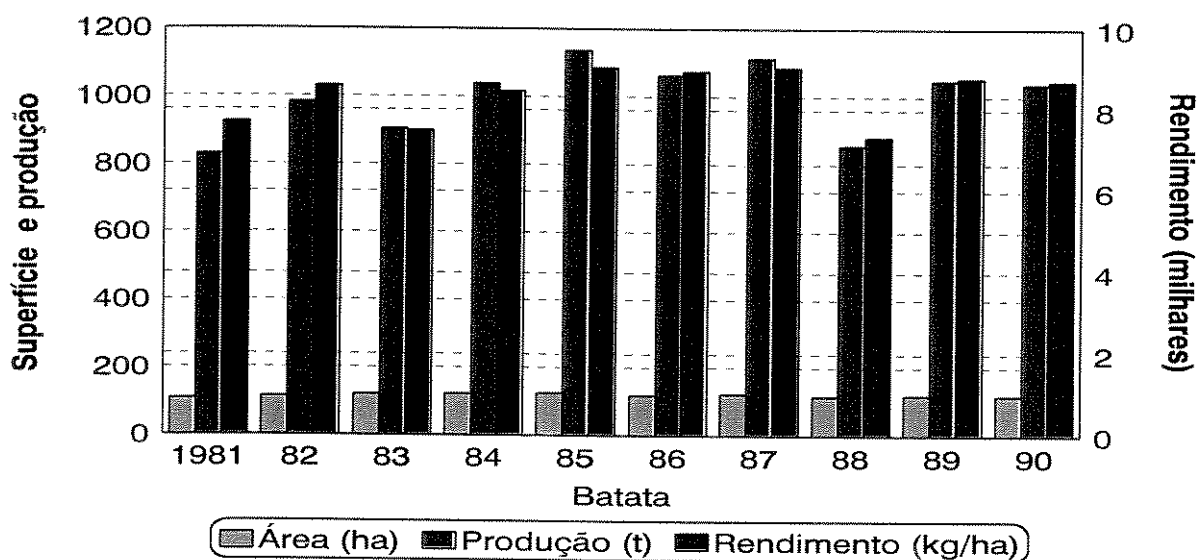


Figura 5.10 Evolução da produção de batata no Continente na Década de 80

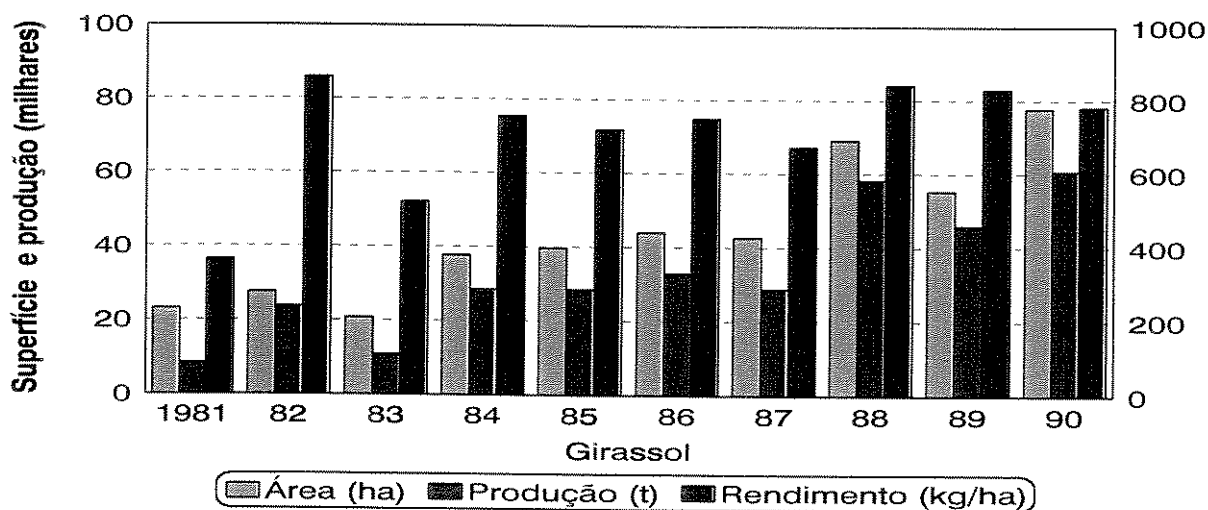
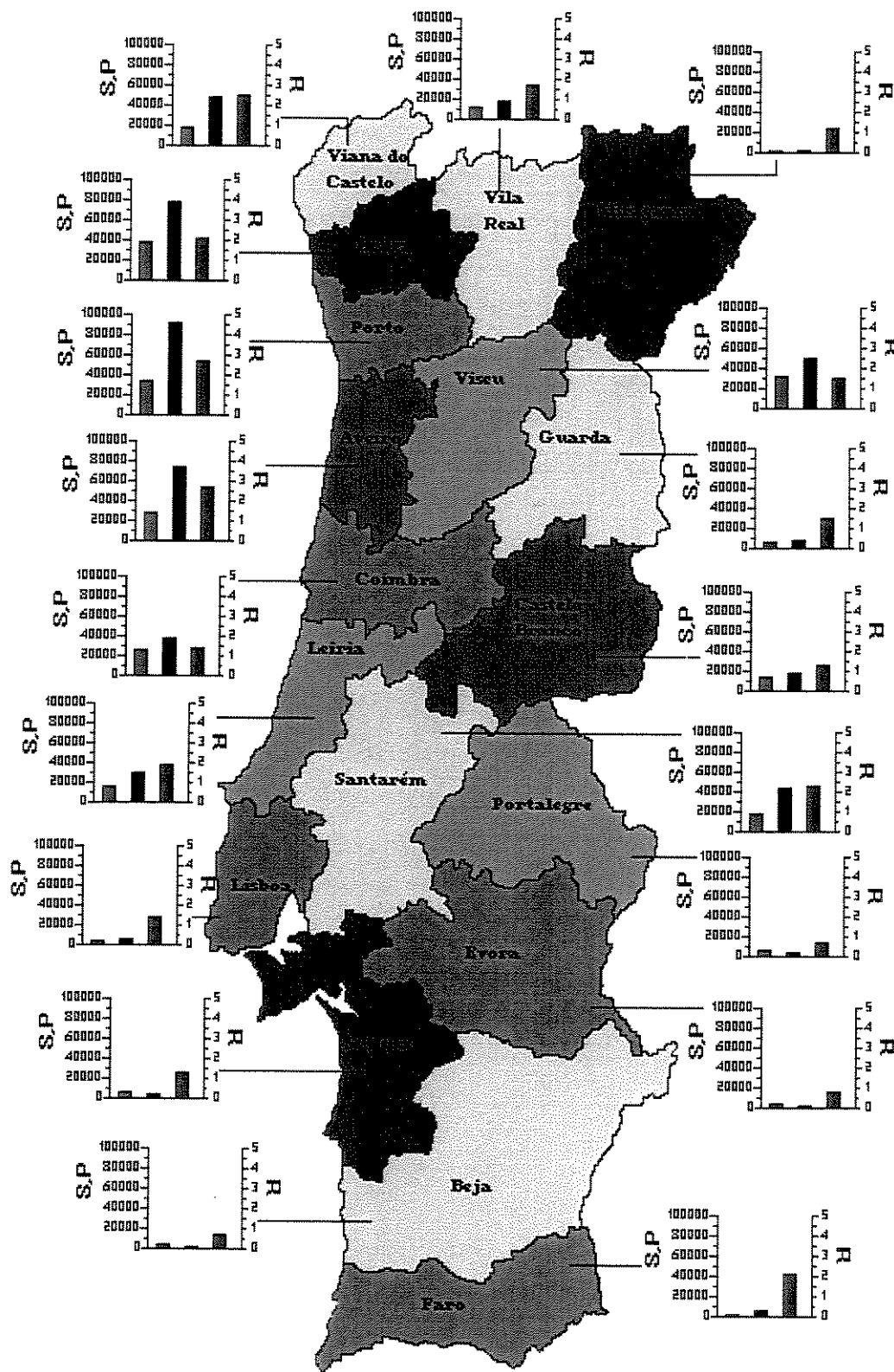


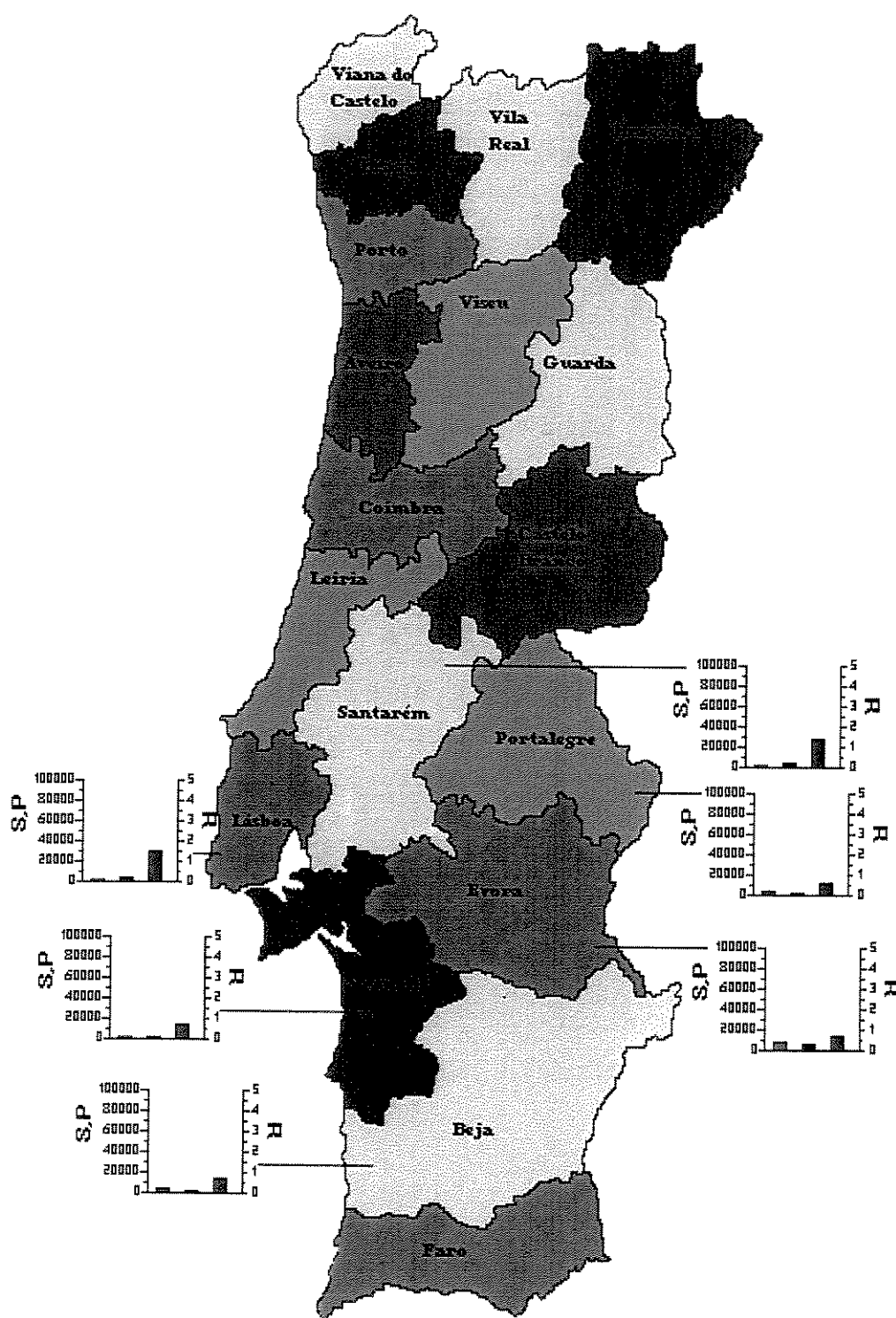
Figura 5.11 – Evolução da produção de girassol no Continente na década de 80



Produção de milho (1980-1989)

■ S - Superfície (ha) ■ P - Produção (t) ■ R - Rendimento/ha

Figura 5.12 – Distribuição espacial da cultura do milho em Portugal



Produção de girassol (1984-1989)

■ S - Superfície (ha) ■ P - Produção (t) ■ R - Rendimento/ha

Figura 5.13 – Distribuição espacial da cultura do girassol em Portugal

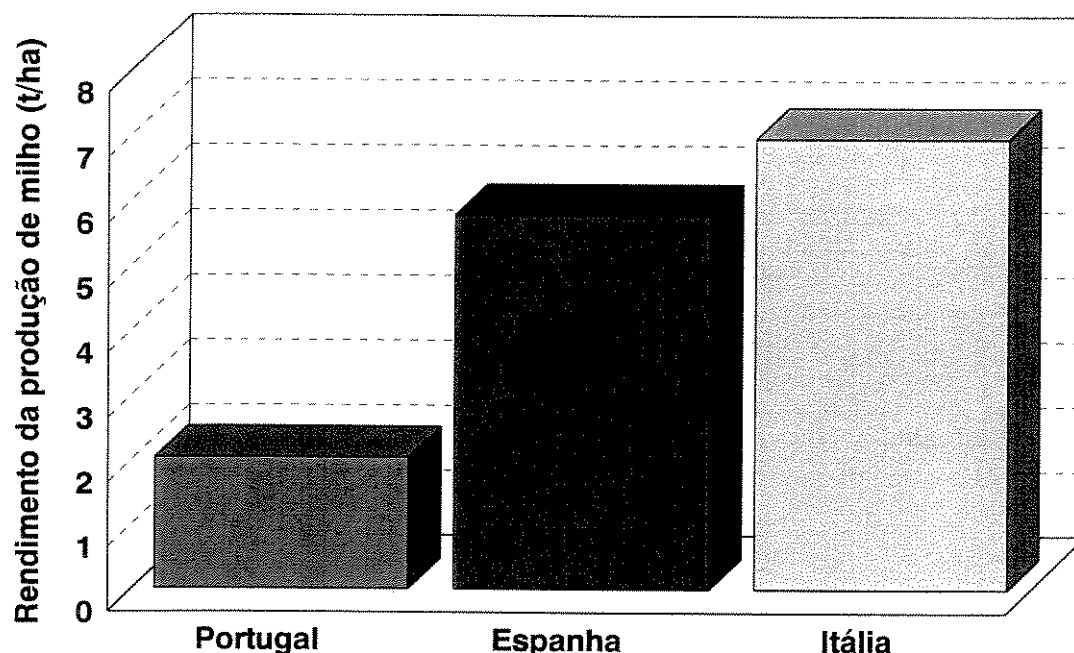


Figura 5.14 – Rendimento da produção de milho nos países mediterrâneos da Comunidade Européia - Fonte (FAO, 1992)

53. Disponibilidades e Necessidades Hídricas no Setor Agrícola

5.3.1 - Disponibilidades hídricas de Portugal

5.3.1.1 – Balanço hídrico

Sendo a água um recurso natural e fator determinante das atividades econômicas, é de fundamental importância conhecer-se tanto a disponibilidade como as necessidades hídricas globais e setoriais no presente, bem como previsões confiáveis para o futuro a médio e a longo prazo, na qual estarão baseadas as políticas de gestão de recursos hídricos e de planeamento do território. A água constitui um recurso natural finito, mas renovável pelo ciclo hidrológico, o que desde logo deixa supor a dependência dessa renovação relativamente ao clima. Analisando-se o balanço hídrico de Portugal em ano médio, representado pela figura. 5.15, pode-se concluir que Portugal não pode ser considerado pobre de recursos hídricos, sobretudo quando esta comparação é feita com a média dos países da Comunidade Européia, (figura 5.1).

Efetivamente, a precipitação média anual sobre o território português do Continente é de aproximadamente 920 mm a que corresponde uma evapotranspiração de 500 mm e um

escoamento superficial médio anual de 420 mm aproximadamente, dos quais 370 mm são escoados pelos rios portugueses para o mar (M.A.R.N, 1991) e 50 mm correspondem a recarga de aquíferos. Há ainda que englobar os escoamentos provenientes de Espanha, da ordem de 270 mm em ano médio, resultando que o balanço hídrico anual é de 750 mm.

As disponibilidades hídricas não se distribuem uniformemente ao longo do ano e do território do Continente, pelo que apenas uma reduzida parcela do escoamento superficial e das reservas subterrâneas avaliadas em cerca de metade do saldo do balanço hídrico, ou seja, entre 370 a 400 mm em ano médio estão realmente disponíveis para consumo (recursos hídricos disponíveis).

Portugal não apresenta escassez em recursos hídricos potenciais, o mesmo não se pode dizer relativamente aos recursos hídricos disponíveis, dadas as dificuldades de utilização das disponibilidades hídricas devido à irregularidade da sua ocorrência. Efetivamente 66% da precipitação anual ocorre em apenas metade do ano, de outubro a março, chegando em certos casos a ocorrer mais de 30% em apenas um mês (M.A.R.N, 1991). A distribuição espacial da precipitação é também muito heterogênea, pois o valor médio anual de 3000 mm a norte do Tejo e de 250 mm nas regiões sul deste referencial. As restantes componentes do ciclo hidrológico terrestre – escoamento, evapotranspiração e infiltração – apresentam uma distribuição no espaço ilustrada na figura 5.16 e o tempo igualmente muito variável. Verifica-se que em 8 das 14 regiões hidrográficas localizadas no interior leste e no sul de Portugal, ocorre um déficit hídrico, pois a evapotranspiração excede o escoamento superficial e a infiltração.

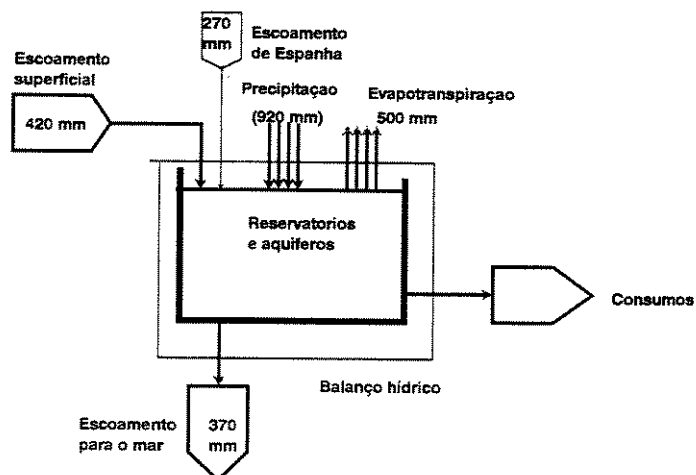


Figura 5.15 – balanço hídrico para Portugal Continental (adaptado de M.A.R.N, 1991)

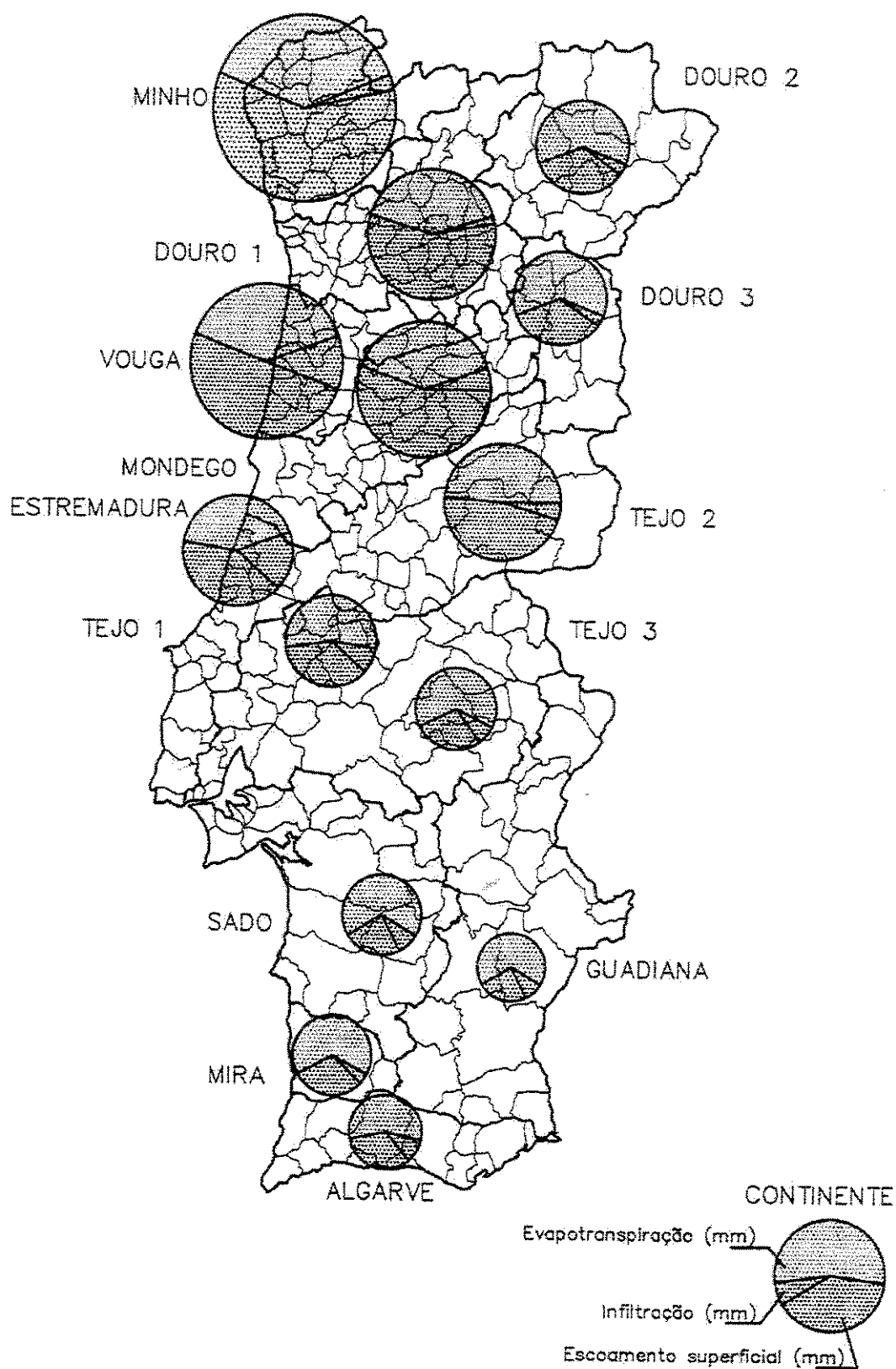


Figura 5.16 – Balanço hídrico por região hidrográfica - Fonte: (HENRIQUES, 1985)

5.3.1.1 - Necessidades de água

Os setores que mais utilizam a água são por ordem decrescente em relação ao volume consumido, a agricultura, a indústria, a produção de energia, o abastecimento público, a pesca, a aquicultura, as atividades de lazer aquático, o transporte e diluição de águas residuais. A utilização da água não significa necessariamente o consumo deste recurso, havendo casos, como a pesca, o recreio ou o transporte e diluição de águas residuais, em que não ocorrem consumos, pois a água utilizada é devolvida aos meios hídricos, embora, em muitos casos, com a respectiva qualidade degradada. O consumo da água também não corresponde exatamente às necessidades, pois pode estar limitado por indisponibilidade do recurso.

Importa definir com clareza os conceitos em relação aos valores de quantificação das necessidades de água. Assim, as necessidades de água para o setor agrícola correspondem aos volumes de água utilizados na irrigação e pecuária. A água normalmente utilizada na indústria destina-se a satisfazer as principais finalidades: processo de fabricação, arrefecimento, processo de limpeza, transporte de resíduos, etc. As necessidades de água para a produção de energia elétrica não são tão elevadas quanto a quantidade de água mobilizada por este setor (mais de 120 milhões de m³ por ano), visto que a produção de energia em centrais hidroelétricas não consomem a água e sim aproveitam a sua energia potencial através das turbinas; já em relação nas centrais termoelétricas se consome água, basicamente para arrefecimento, admitindo-se porém que o consumo corresponde apenas a 5% das necessidades. A água de abastecimento municipal engloba a parcela destinada a consumo doméstico (alimentação, higiene pessoal e das habitações, irrigação de pequenos jardins e hortas) a qual pode apresentar grandes flutuações sazonais de consumo em zonas turísticas e a parcela correspondente ao consumo público (hospitais, escolas, administração pública, irrigação de jardins públicos, limpeza de ruas, combate a incêndios, etc.). A pesca é um setor económico que embora utilize a água não é consumidor. A aquicultura começa a ter alguma expressão em Portugal, principalmente no que concerne à tricultura. Tal como o setor de produção de energia, a aquicultura utiliza muito mais água do que consome, estando as necessidades em nível de 3,5%.

Na figura 5.17 mostra-se a distribuição percentual de necessidades e de consumos efetivos da água por setores em Portugal. O maior consumo de água acontece na agricultura, responsável por cerca de 89% do total atualmente utilizado, seguido pela indústria que utiliza 6%, enquanto o abastecimento público e a produção de energia consomem apenas 5% da água utilizada,

considerando-se a água consumida na produção de energia, como a água gasta nos sistemas de arrefecimento das usinas termelétricas.

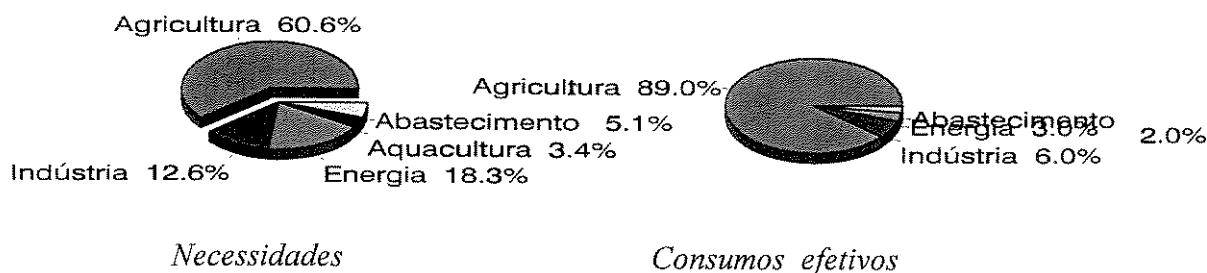


Figura 5.17 - Necessidades e consumo efetivos de água por setores

Segundo os dados publicados pelo (DGNR, 1992), os vários setores mobilizam mais de 129 milhões de m³ de água, dos quais 7 milhões correspondem a consumo efetivo, ou seja, em que a água é integrada nos produtos ou é devolvida à atmosfera (por evapotranspiração), não retornando aos meios hídricos. A distribuição das utilizações globais e setoriais da água não é espacialmente uniforme no território continental, verificando-se que em termos de consumos globais estes são mais elevados nas regiões mais populosas e com maior concentração de atividades económicas, localizadas a norte e centro do país, correspondendo, por ordem decrescente, às bacias hidrográficas do Tejo, Douro, Vouga e Mondego, conforme demonstrado no quadro 5.4 e ilustrado na figura 5.18. Além disso, no semestre seco (abril a outubro) acentua-se o problema da satisfação das necessidades de água, pois os consumos efetivos aumentam em alguns setores, principalmente na agricultura, o que leva cerca de 80% das necessidades de água e 94% dos consumos globais se concentrem no semestre seco.

Com a entrada do aproveitamento de Alqueva, espera-se mudanças consideráveis em relação a parte sul de Portugal, com um incremento das atividades ligadas à agricultura, indústria e produção de energia elétrica.

Quadro 5.4 – Valores médios das necessidades e consumos de água.

Regiões Hidrográfica	Anuais*	(10 ⁶ m ³)	Semestre	seco* (10 ⁶ m ³)
	Necessidades	Consumos	Necessidades	Consumos
Minho	791	380	677	359
Douro 1	1 259	489	992	461
Douro 2	152	80	146	79
Douro 3	168	91	166	90
Vouga	504	251	432	243
Mondego	661	355	591	347
Estremadura	265	121	208	110
Tejo 1	1 887	342	1 087	275
Tejo 2	671	355	617	347
Tejo 3	683	414	615	398
Sado	750	346	598	329
Mira	54	37	53	37
Guadiana	515	299	497	295
Algarve	151	109	143	107
Continente	8510	3 669	6 823	3 477

Fonte: (Henriques, 1985)

5.3.3 – Água para a agricultura

5.3.2.1 – Área irrigável

As necessidades de água para agricultura foram baseadas na informação relativa à área irrigada e à demanda média de irrigação. Os dados relativos à área irrigada são divergentes, variando entre os 600.000 ha indicados pela DGRH (1992) e os 785.000 ha estimados por HENRIQUES (1985), com base em dados fornecidos pelo INE e pela DGHEA. De qualquer modo, a área irrigável no território de Portugal, entendida como a área das explorações agrícolas em que existe capacidade de irrigação, é de 22% da superfície agrícola utilizada (SAU), a qual significa cerca de 48% da superfície de Portugal, ou seja, a área irrigável do Continente será da ordem dos 900.000 ha.

A distribuição espacial da fração irrigável da SAU do Continente concentra-se nas regiões entre os rios Minho e Vouga, com especial incidência na região do Douro e a parte superior da bacia do Mondego, conforme representado na figura 5.18. Nota-se que a Beira Litoral e algumas zonas da margem esquerda do Tejo ainda apresentam, em média, cerca de 50% de área irrigável, sendo que uma extensa área de Portugal, localizada a leste e ao sul do Tejo dispõe atualmente de reduzida capacidade de irrigação.

Pode-se observar que a distribuição espacial da SAU irrigável reflete de forma muito paralela a distribuição espacial do balanço hídrico, da figura 5.15.

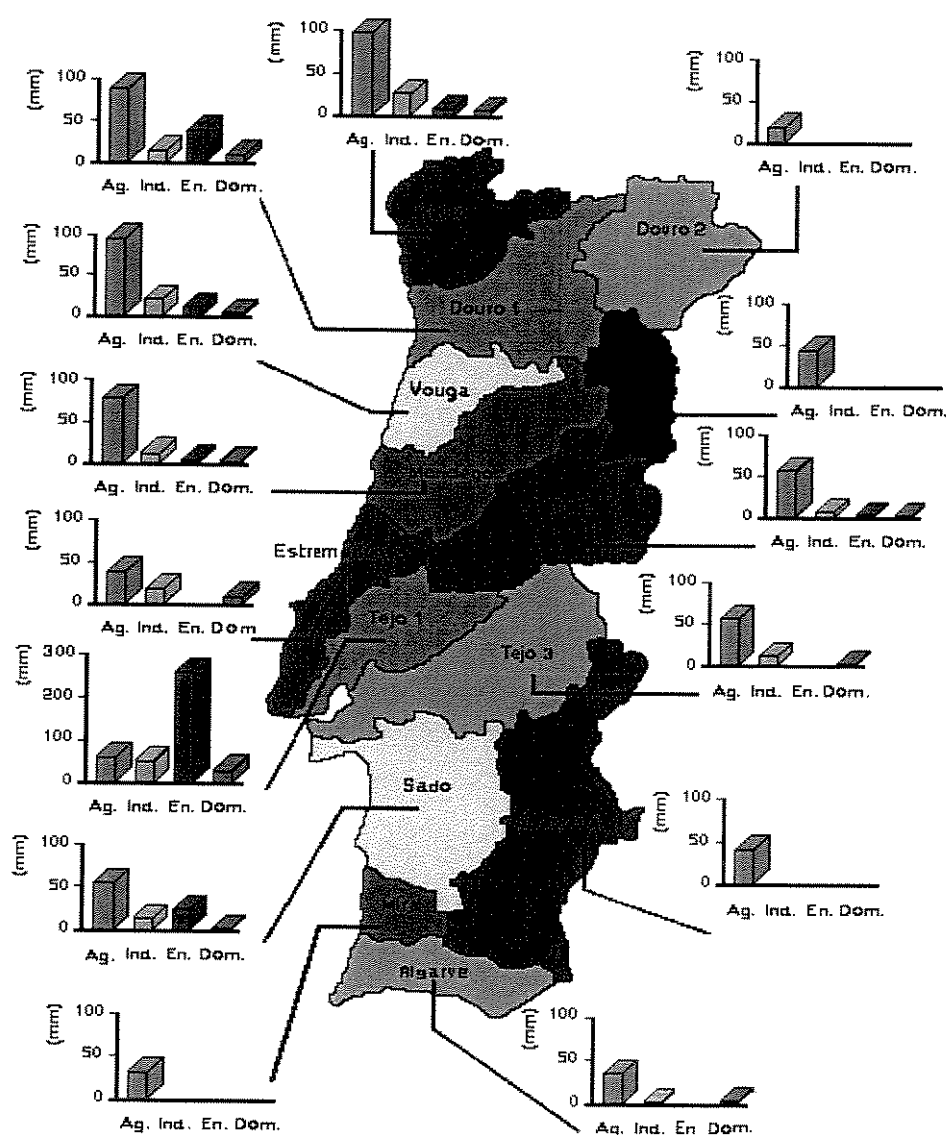


Figura 5.18 – Necessidades de água por setores e região hidrográfica

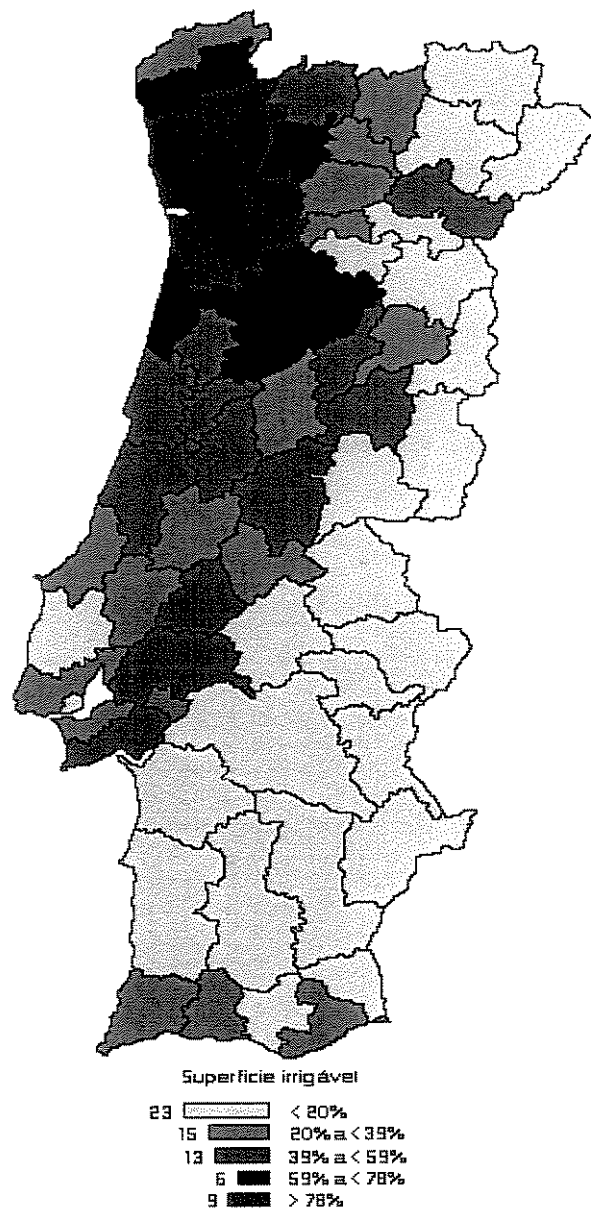


Figura 5.19 – Distribuição espacial da percentagem de Superfície irrigável na SAU.

As previsões existentes acerca da evolução da área irrigável consideram que haverá aumento de área em resultado da entrada em funcionamento de alguns grandes projetos hidroagrícolas, sobretudo do aproveitamento de Alqueva, na bacia do Guadiana na região do Algarve. Segundo HENRIQUES (1985), Portugal poderá irrigar uma área de um milhão de hectares em 2000, a qual deverá rondar os 1500×10^3 ha em 2020. Na Figura 5.19 é mostrada a evolução da área irrigável. Destaca-se a duplicação da área irrigada nas regiões do Mira, Guadiana e Algarve no ano 2000 e sua triplicação em 2020.

5.3.2.2. – Necessidades de água para a agricultura

As necessidades de água para a agricultura são determinadas pelas atividades de irrigação e pela pecuária. A primeira é estimada com base na área irrigável e pela demanda da irrigação. No quadro 5.5 apresentam-se as necessidades totais de água para irrigação estimada para os anos úmido, médio e seco nas diferentes regiões de Portugal e para os três horizontes temporais, tendo como base o inventário de recursos hídricos nacionais disponíveis, (HENRIQUES, 1985). O quadro 5.5 demonstra que em certas regiões o crescimento das necessidades de água para irrigação será mais rápido, na região do Guadiana, Mira, Algarve e Douro 2, em virtude da expectativa de expansão da área irrigável esperada nestas regiões. Nas demais regiões esperam-se um crescimento mais moderado das necessidades de irrigação, embora mais acentuado em longo prazo. É o caso das regiões Tejo 1, Tejo 3 e Sado. Nas regiões a norte da bacia do Tejo, as necessidades crescerão a um ritmo lento, podendo vir a se estabilizar devido ao aumento da eficiência da irrigação.

As necessidades de água para pecuária são estimadas em função do efetivo pecuário e do volume médio de água utilizado anualmente por cada animal. Considera-se que apenas 20% da água utilizada na atividade pecuária representa um consumo efetivo, sendo a restante parcela descarregada nos meios hídricos. Considerando-se os efetivos de gado nas diversas regiões, as necessidades de água para o setor pecuário são as que se apresentam no quadro 5.6.

Em média, a água utilizada na produção animal constitui 0,6% das necessidades de água para agricultura. Juntando-se as duas componentes – necessidades de água para irrigação e para pecuária – tem-se a distribuição espacial das necessidades de água para agricultura ilustrada na figura 5.20.

A análise da distribuição das necessidades e dos consumos efetivos de água por setores em médio prazo indica um decréscimo do peso da agricultura, conforme representado na figura 5.21. Isto se deve à melhoria das técnicas de irrigação que pode proporcionar uma maior eficiência de utilização dos recursos hídricos e também ao desenvolvimento da indústria e das suas decorrentes necessidades de água.

Quadro 5.5 – Necessidades de água para irrigação no semestre seco (abril a setembro) em anos médio, seco e úmido

Região	1985			2000			2020		
	Úmido	Médio	Seco	Úmido	Médio	Seco	Úmido	Médio	Seco
Minho	385.0	473.0	561.4	406.7	506.0	605.3	368.1	459.0	549.9
Douro 1	508.6	612.8	717.0	625.0	763.0	901.0	635.0	773.0	911.0
Douro 2	111.6	125.6	139.6	202.3	236.0	269.7	244.2	277.0	309.8
Douro 3	131.0	147.1	163.1	149.1	171.0	192.9	152.8	173.0	193.2
Vouga	253.7	307.8	361.8	291.0	360.4	429.0	285.4	351.0	416.6
Mondego	403.6	461.7	519.9	392.2	457.0	521.8	333.9	393.0	450.0
Estremadura	128.4	138.5	148.6	152.7	167.0	181.3	170.8	185.0	199.2
Tejo 1	236.7	255.7	274.9	307.0	334.0	361.0	582.0	630.0	678.0
Tejo 2	445.5	503.9	562.2	519.4	591.0	662.6	506.9	646.0	725.1
Tejo 3	440.0	492.7	545.4	555.6	628.0	700.4	708.9	804.0	889.1
Sado	376.7	410.9	446.9	550.7	608.0	665.3	787.0	972.0	957.3
Mira	45.0	49.1	53.2	86.7	96.0	105.4	142.7	157.0	171.3
Guadiana	391.6	438.7	485.6	700.7	789.0	877.3	1 237.6	1 395.0	1 552.7
Algarve	109.9	119.2	128.6	181.3	199.0	216.7	294.7	320.0	345.3
Continente	3 967.3	4 536.9	5 108.1	5 144.7	5 932.4	6 716.8	6 553.7	7 484.0	8 412.7

* Fonte: Henriques (1985)

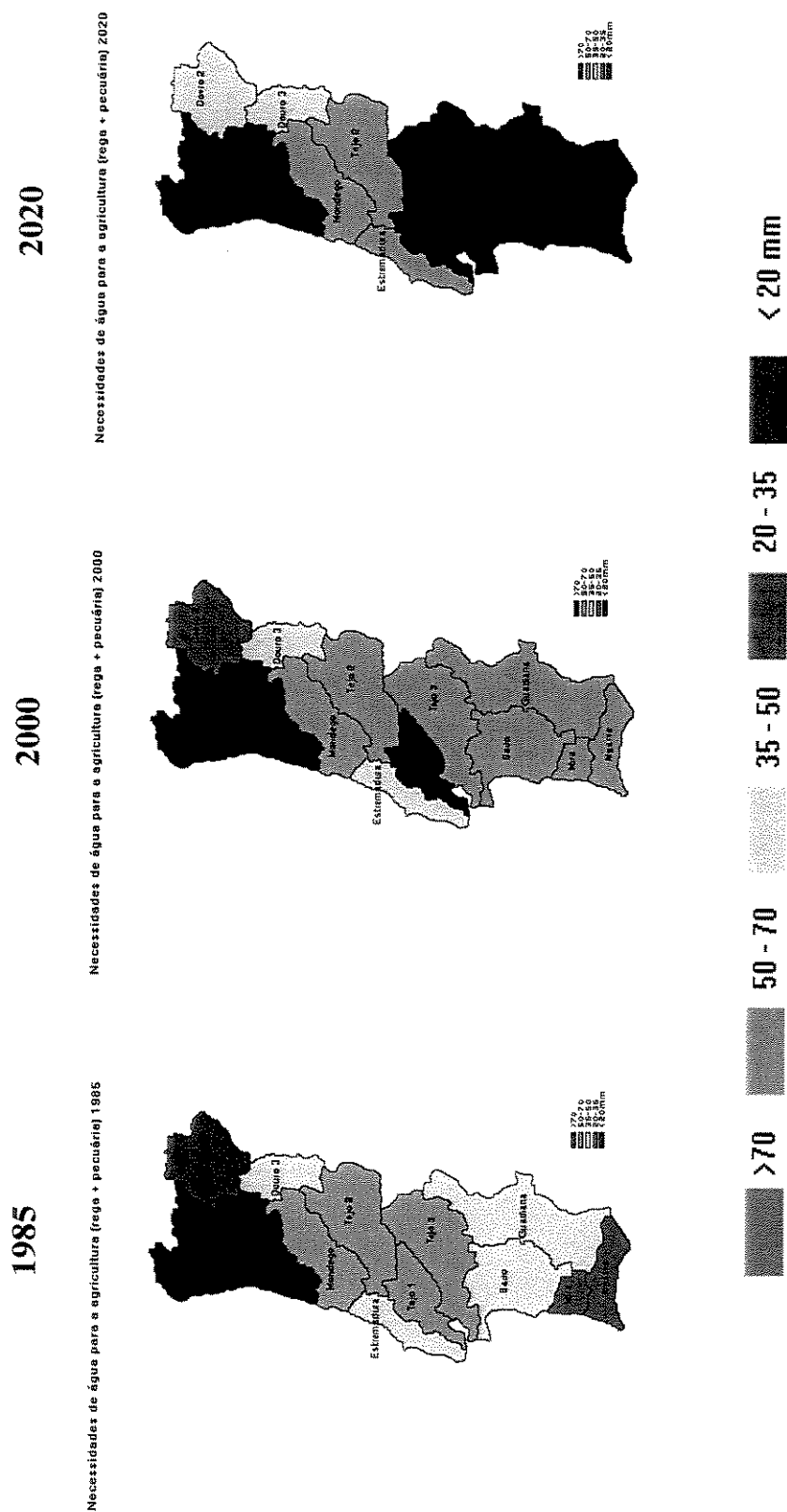


Figura 5.20 - Distribuição espacial das necessidades de água para a agricultura em Portugal - Fonte: (HENRIQUES, 1985)

Quadro 5.6 – Necessidades de água para os efetivos pecuários em ano médio

em 10⁶ m³

Região	hidrográfica	1985	2000	2020
Minho		3.9	4.8	6.2
Douro 1		4.3	4.4	4.6
Douro 2		1.3	1.4	1.5
Douro 3		0.7	0.6	0.6
Vouga		2.1	2.3	3.0
Mondego		2.1	2.2	3.1
Estremadura		1.7	3.4	5.7
Tejo 1		1.4	3.7	5.9
Tejo 2		2.2	3.0	4.7
Tejo 3		2.5	4.2	6.2
Sado		2.1	4.2	7.1
Mira		0.4	0.5	0.6
Guadiana		2.7	4.0	6.9
Algarve		0.7	0.7	1.0
Continente		28.2	39.6	57.2

* Fonte: (Henriques, 1985)

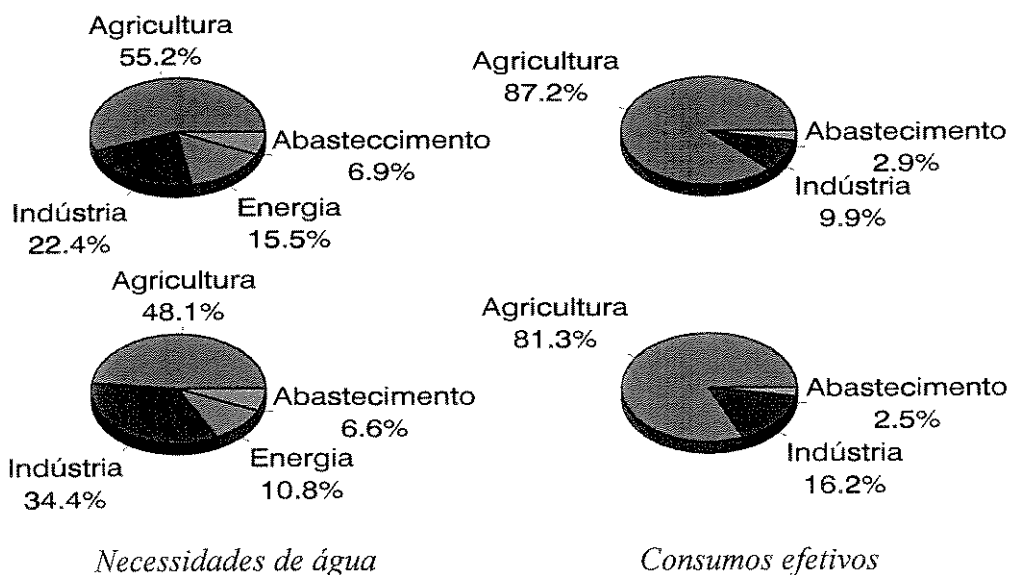


Figura 5.21 – Necessidades e consumos efetivos de água por setores em 2000 e 2020 - Fonte: (HENRIQUES,1985)

5.3.2.3 – Aproveitamentos hidroenergéticos na agricultura

Em Portugal, a área submetida a irrigação teria sido estabelecida, desde o final do século XVI e ao longo do século XVII, quando da introdução do milho irrigado que veio a substituir a tradicional cultura cerealífera de sequeiro e foi o suporte da explosão demográfica então registrada.

Os aproveitamentos hidroagrícolas estatais foram construídos a partir da década de 30, época em que se iniciou a primeira política hidroagrícola em Portugal e apesar do país ter uma tradição de irrigação muito antiga, utiliza apenas 10% da água na irrigação estatal contra os 90% de água usados pelos irrigantes privados, (DGRH, 1992).

Em termos de área irrigada, as pequenas irrigações abrangem atualmente cerca de 550.000 ha, sendo 44.100 ha a área abrangida pelos perímetros de irrigação do Estado. Existem cerca de 300.000 ha da superfície agrícola utilizada irrigável que ainda não estão irrigados. As irrigações privadas localizam-se nas regiões Norte e Centro, situando-se os aproveitamentos hidroagrícolas do Estado predominantemente na região do Alentejo, sendo estes aproveitamentos os que terão futura integração nos circuitos hidráulicos alimentados por Alqueva, são eles: Divor (1963/65), Roxo (1963/68), Monte da Rocha (1968/80), Odivelas (1968/80) e Vigia (1975/81). No seu conjunto, os reservatórios destes aproveitamentos têm uma capacidade útil de armazenamento de 432 milhões de m³ e dominam uma área irrigada de aproximadamente 17.500 ha, conforme demonstrado no quadro 5.7.

O aproveitamento de Alvito, peça importante do plano de irrigação com capacidade útil de 130 milhões de m³ não fornece ainda diretamente água a nenhum perímetro de irrigação.

Quadro 5.7 – Aproveitamentos hidroenergéticos em exploração na agricultura

Aproveitamentos	Superfície ha	Capacidade 10 ⁶ m ³	Área de Irrigação ha	Rede de irrigação km
Divor	265	119	448	17
Roxo	1 378	97	5 040	197
Monte da Rocha	1 100	103	3 816	183
Odivelas	973	96	6 381	284
Vigia	262	17	1 834	59

Fonte: (HENRIQUES,1985)

Por razões diversas, entre as quais se incluem as faltas de espírito associativas, de crédito agrícola e de formação profissional dos agricultores, em relação às técnicas de irrigação, à falta

de redes viárias, à eletrificação no meio rural, etc, fazem com que a área efetivamente irrigada pelos aproveitamentos hidroagrícolas listados no quadro 5.6 sejam inferiores ao seu potencial, estando algumas destas obras já no limite da sua vida útil. A Direção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola - (DGHEA) encarregaram-se em 1990 de um programa de reabilitação dos perímetros de irrigação em exploração com apoio da Comunidade Económica Europeia.

Atualmente os aproveitamentos são planeados para usos múltiplos numa ótica mais integrada dos recursos hídricos e não exclusivamente para fins agrícolas, como se sucedia em Portugal até meados da década de 50, embora é verdade que só os grandes aproveitamentos são objetos de planeamento. As finalidades de maior uso são, por ordem decrescente: irrigação, abastecimento de água para fins urbanos e industriais, a produção de energia elétrica, o controle de cheias e a navegabilidade.

Segundo MENDES 1990 verifica-se que mesmo nos casos em que existem estudos de planeamento, a disponibilização dos investimentos necessários à realização das obras não tem sido apoiado em argumentos técnicos ou na experiência de casos anteriores, sendo o “resultado de circunstâncias diversas e casuísticas”. Ainda segundo o autor, a tentativa de preencher a elevada dependência alimentar de Portugal relativamente às importações deve passar pelo aumento da área irrigada, indicando alguns pressupostos para a viabilização técnico-económica dos aproveitamentos hidroagrícolas, ou seja, as áreas beneficiadas devem ser as maiores possíveis, contemplando-se os usos múltiplos da água, avaliando-se a concentração dos investimentos, buscando-se um encurtamento dos prazos de investimento, analisando-se previamente a racionalização do uso da água, escolhendo-se adequadamente as culturas a serem irrigadas, promovendo-se as atividades em consórcios, aplicando-se metodologias preventivas da degradação da qualidade da água e dos solos, criando-se centros de dados e informação técnica.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

5.4 - Métodos de Irrigação

5.4.1 – Classificação dos métodos de irrigação

Existem diversos métodos de irrigação que podem ser aplicados de acordo com as circunstâncias locais devido às culturas envolvidas: topografia, características do terreno, etc.

Segundo RAPOSO (1990), os métodos de irrigação podem ser classificados pelo modo como a água é aplicada ao solo, podendo ser: superficiais (irrigação *epígea*); subterrâneos (irrigação *hipógea*) e aéreos (irrigação *hipérgea*).

Na irrigação superficial a água é aplicada no terreno por escoamento em superfície livre. A força motriz deste tipo de irrigação é a gravidade, o que levou à sua designação imprópria como irrigação à gravidade. Nos métodos de irrigação superficiais incluem-se os métodos de *escoamento, alagamento e infiltração*.

A irrigação *epígea* por escoamento pode revestir diversas modalidades: *escoamento livre, irrigação de nível* (método utilizado em terrenos muito acidentados), *faixas, planos inclinados*. As faixas constituem o método de irrigação por escoamento de maior interesse na atualidade por ser mais compatível com a mecanização das operações agrícolas.

Em Portugal a irrigação por alagamento é utilizada principalmente na cultura do arroz, embora ainda se aplique para outras culturas como o milho, hortícolas e outras culturas, sobretudo quando se trata de pequenas áreas.

A irrigação *epígea* por infiltração pode processar-se em sulcos e pela denominada *irrigação localizada* que tem registado enorme desenvolvimento em muitos países, principalmente aqueles que obrigados pela escassez de recursos hídricos procuram atingir a máxima eficiência na irrigação.

A infiltração por sulcos é usada quase exclusivamente nas culturas semeadas ou plantadas em linha, como é o caso da maior parte das hortícolas.

A irrigação localizada engloba o método designado por *gotejamento*, em que a água é aplicada através de emissores denominados gotejadores, às culturas semeadas ou plantadas em linha. Este método é bastante popular em Israel, EUA (principalmente na Califórnia), Austrália, África do Sul, estando em expansão por muitos países.

No método de irrigação hipógea a água é distribuída por tubulações enterradas, geralmente de plástico, podendo servir para irrigar no verão e drenar no inverno. Este método é conhecido por *infiltração ascendente*.

Na irrigação hipógea há de se considerar como fundamental a irrigação por aspersão, em que a água é pulverizada sobre as culturas, formando um “nevoeiro” sobre as plantas que modifica favoravelmente o clima que as envolve.

5.4.2 – Descrição de alguns métodos de irrigação

A fim de enquadrar o tipo do método de irrigação mais utilizado, descreve-se seguidamente os métodos mais utilizados.

5.4.2.1 – Irrigação por sulcos

A irrigação por sulcos é o mais usual dos métodos de irrigação superficial, a qual ocupa ainda a maior parte da área irrigada a nível mundial, com aproximadamente 90% dos 200 milhões irrigados, RAPOSO (1991). Na irrigação por sulcos a água é conduzida por pequenos canais abertos ao longo das linhas de cultura. A água é aplicada somente a uma parte do terreno, infiltrando-se vertical e horizontalmente.

A irrigação por sulcos é apropriada, sobretudo para solos de textura média e fina. Em terrenos grosseiros a infiltração dá-se, sobretudo na vertical, com pouca penetração horizontal, exigindo sulcos muito curtos e próximos, tempos de irrigação reduzidos e baixas dotações de irrigação, tornando-se um método de irrigação pouco rentável.

5.4.2.2 – Irrigação por faixas

Neste tipo de irrigação o terreno é dividido em faixas de comprimento geralmente compreendido entre 100 e 800 m de largura, variável entre 3 e 30 metros (largura máxima para terrenos arenosos), separadas por pequenos montes de terra. A água é lançada na cabeceira da faixa, escoando-se uniformemente em toda sua largura. A vazão descarregada na faixa deverá ser tal, que a água que se vai infiltrando a medida que a frente de irrigação avança, seja igual à demanda desejada. Quando a água chega ao extremo da faixa, termina a irrigação.

No método de irrigação por faixas conseguem-se eficiências de 80%, desde que o terreno seja corretamente nivelado. As necessidades de mão-de-obra são reduzidas, podendo ser automatizado de modo semelhante a irrigação por sulcos.

A irrigação por faixas adapta-se bem aos campos com áreas superiores a 4 ha com declives suaves, preferencialmente inferiores a 5% e a culturas semeadas a lanço ou em linhas muito próximas, como cereais e pastagens. Pode ser utilizada na maioria dos solos, embora os solos muito argilosos e os muito arenosos ofereçam maiores dificuldades de controle do volume de água aplicada.

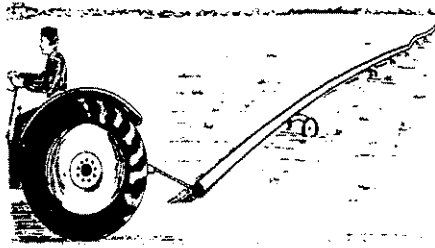
5.4.2.3 – Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão assemelha-se a chuva natural, pois a água distribuída por uma rede de tubulações sob pressão é lançada no solo em gotas originadas em bocais aspersores. A irrigação por aspersão constitui o método preferencial em muitos países, como os EUA (22%), França (70%), Alemanha (80%) e Israel (95%), embora a nível mundial ocupe apenas 8% dos 200 milhões de hectares irrigados, (ZIMMERMAN, 1966). A irrigação por aspersão adapta-se a quase todos os tipos de culturas, solos e topografias, com exceção dos terrenos muito inclinados. Trata-se de um método muito versátil, tanto no que diz respeito ao diâmetro dos aspersores e a pressão da água como sua disposição no terreno que pode ser fixa ou móvel (movimento de translação ou de rotação), conforme representado na figura 5.22.

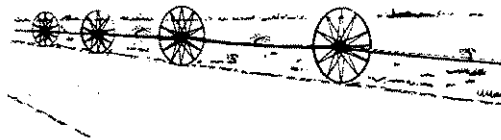
5.4.3.4 – Aspersão por gotejamento

A irrigação por gotejamento é o método de irrigação mais conhecido. A água é aplicada junto da planta por meio de gotejadores intercalados em tubos de polietileno, nos quais a água escoia a baixa pressão (da ordem de 1 atm); no gotejador a pressão anula-se e a água cai em gotas. A vazão debitada pelo gotejador é reduzida, variando entre 2 l/h e 8 l/h, sendo a irrigação feita praticamente todo o dia durante algum tempo mantendo o solo sempre úmido.

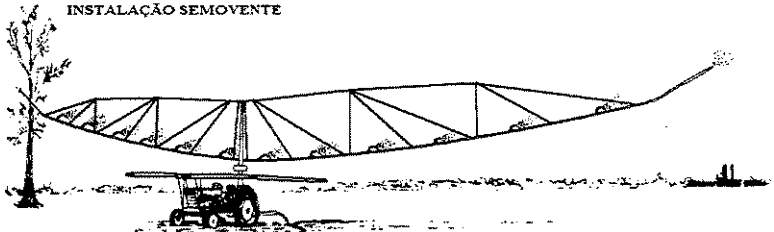
INSTALAÇÃO SEMI-FIXA



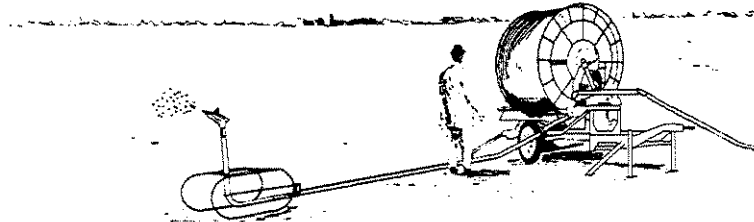
INSTALAÇÃO COM MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO



INSTALAÇÃO SEMOVENTE



CANHÃO AUTOMOTOR



RAMPA ROTATIVA

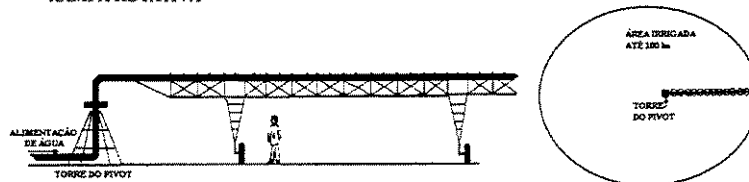


Figura 5.22 – Irrigação por aspersão - Fonte: (ILACO, 1981)

6 - DESCRIÇÃO DO MODELO.

6.1 – Introdução

A simulação computacional realizada neste estudo utiliza elementos fornecidos pela Empresa de Desenvolvimento e Infra-Estruturas de Alqueva, S.A. (EDIA). O sistema simulado inclui a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão e os rios Guadiana e Ardila.

Considera-se que o sistema teria de fornecer água para consumo urbano e industrial para irrigação, para o reforço de abastecimento ao Algarve, para a vazão ecológica e eventualmente ao sul da Espanha.

São utilizadas duas séries de escoamentos mensais afluentes, uma no reservatório de Alqueva no rio Guadiana e a outra no açude de Pedrogão no rio Ardila, ambas calculadas pela Direção de Planeamento do Sistema Produtor - DPSP (DPSP, 1997), onde incluem valores dos anos hidrológicos de 1952/53 a 1989/90.

É utilizado o modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation. A simulação utiliza um intervalo de cálculo diário, mas os valores diários de afluições, perdas e consumos de água são calculados a partir de valores mensais.

Com a utilização de dados reais do aproveitamento de Alqueva, é possível gerar vários cenários onde estão quantificados os dados de geração de energia, bem como os dados de consumo de água para irrigação e para outros fins, visando determinar o uso harmonioso destas finalidades que utilizam o bem comum ou seja o recurso “Água”.

O principal objetivo deste tópico é a descrição do modelo computacional para o estudo do conflito entre usos múltiplos. O modelo IRAS desenvolvido para simular sistemas de recursos hídricos é analisado e escolhido. É um modelo de ampla utilização na definição das regras de operações do sistema, o que permite sua boa aplicação no “sistema Alqueva”.

6.2 - O Modelo de Simulação - IRAS

O modelo de simulação IRAS - Interactive River-Aquifer Simulation, foi desenvolvido pela Resources Planning Associates, INC. e pela Universidade de Cornell, Ithaca, NY para apoiar o planeamento e a gestão de sistemas de recursos hídricos. Tem como função principal deste

estudo a de ser utilizado como ferramenta para o planejamento e a gerência do uso racional da água.

É um modelo genérico de ampla aplicação permitindo a simulação de sistemas de águas superficiais ou de sistemas interdependentes de águas superficiais e subterrâneas, que podem incluir reservatórios, canais ou condutas de derivação, estações elevatórias e estações de produção de energia, poços e diversos pontos de consumo.

As suas potencialidades tornam-no executáveis para as análises hidrológicas extensas de sistemas regionais de recursos hídricos de todo o tipo, desde sistemas de abastecimento de água para consumo urbano, para irrigação, para produção de energia ou sistemas de usos múltiplos. (LOUCKS, D. et al., 1995).

O modelo IRAS utiliza uma rede de nós e arcos para representar o sistema a ser estudado. Em cada nó ou arco pode-se representar um componente do sistema. Os nós representam reservatórios, lagos, aquíferos ou partes de um aquífero, poços de extração ou de injeção, estações de medição de vazão, pontos de consumo de água, descargas pontuais de poluentes, locais de tomada de água, etc. Os arcos podem representar a rede fluvial, canais ou condutas de desvio de água ou ligações desejadas entre várias regiões de um aquífero. As figuras 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam as diversas configurações de rede de nós e arcos possíveis de serem utilizadas neste estudo.

O modelo pode acompanhar a evolução dos volumes de água e cargas poluentes em jogo no sistema e calcular a vulnerabilidade para os diferentes usos dentro do sistema que podem ser definidos em termos de valores alvo de consumo de água, de escoamento na rede de drenagem, de volume armazenados em reservatórios ou aquíferos, de energia produzida ou consumida ou de níveis de concentração de cargas poluentes.

A entrada de dados, a operação do modelo, a leitura e análise dos resultados são feitas através de uma interface gráfica que facilita a tarefa do utilizador, permitindo a análise expedita das diversas alternativas em estudo.

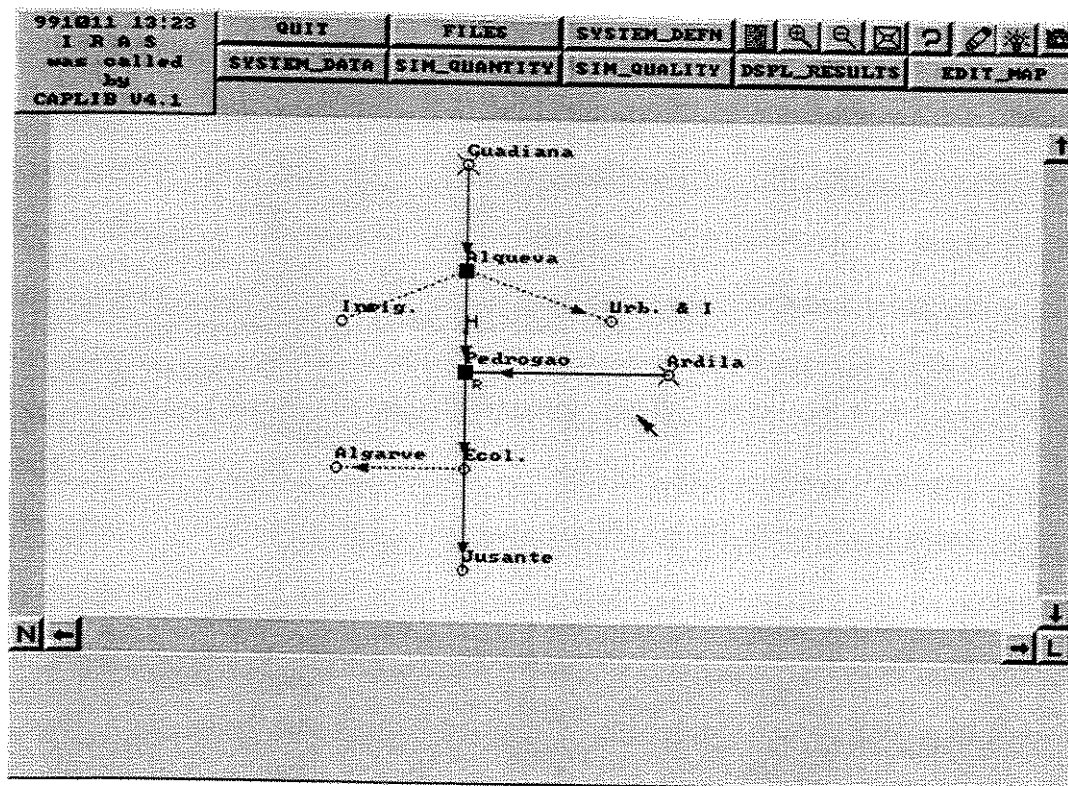


Figura 6.1 – Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo

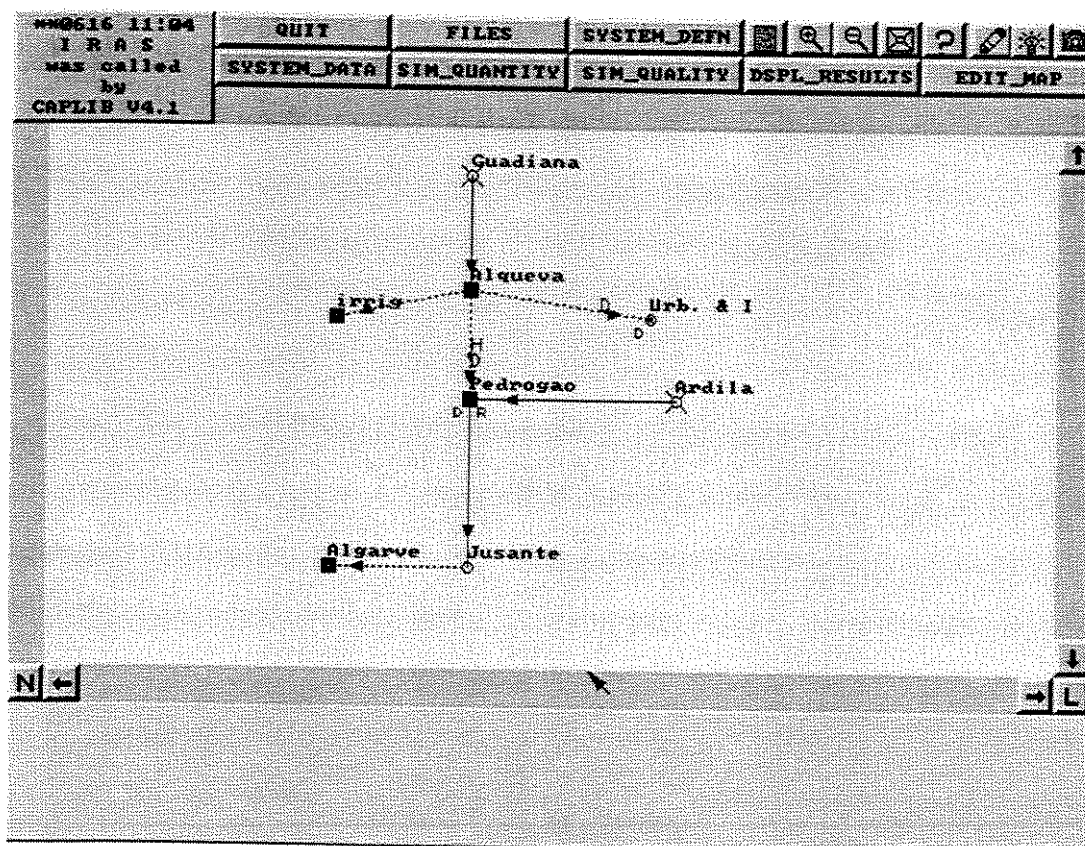


Figura 6.2 – Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo

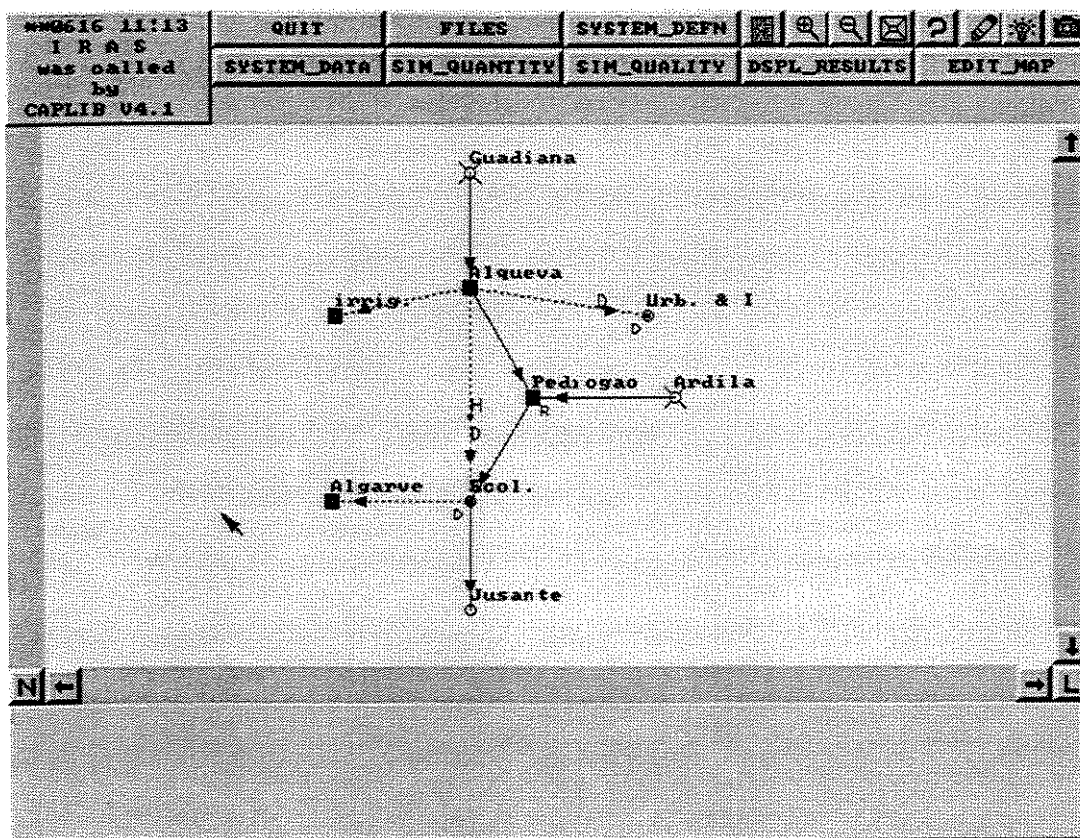


Figura 6.3 – Rede de nós e arcos do modelo IRAS utilizada no estudo

Os dados necessários para utilização do modelo IRAS dependem do sistema a ser simulado e dos objetivos da simulação. O programa permite que os vários componentes do sistema sejam simulados com diferentes graus de detalhe, o que facilita a sua utilização em diversos tipos de problemas, sem a exigência de grandes quantidades de dados.

O intervalo de cálculo utilizado pelo modelo é definido pelo usuário, podendo este realizar simulações com diferentes intervalos de cálculo, desde que possua os dados de afluências e consumos discriminados nos intervalos de tempo pretendidos. Neste estudo são utilizados dados mensais.

O modelo IRAS está baseado em balanços de massa de quantidades de água e de cargas poluentes, levando-se em conta fenômenos como a evaporação, a infiltração, o crescimento ou o decrescimento de cargas poluentes por transformações químicas e/ou biológicas, (CARMO, 1997).

Os elementos necessários para os estudos mais frequentes incluem valores de escoamento para as estações hidrométricas e valores de escoamento superficial ao longo das encostas da rede fluvial. Para cada reservatório são necessários definir a sua capacidade, a curva de área inundada e a curva de volume armazenado em função da cota do nível de água, a regra de operação do reservatório em função do volume armazenado, a curva de infiltração em função do volume armazenado e a taxa de evaporação em função da altura do ano. Podem também ser indicados valores de descargas mínimas que o programa tenta satisfazer e valores-alvo de volume armazenado que o programa tenta atingir em cada intervalo de simulação. Para cada ponto de consumo é necessário indicar os volumes de água a fornecer em cada intervalo de simulação, assim como as fontes de fornecimento de água são uma regra de prioridade de utilização das fontes de fornecimento. Para cada tomada de água é necessário definir uma função que estabeleça o escoamento a desviar em função do escoamento disponível. Para cada arco da rede pode também ser necessário definir o comprimento do trecho do sistema que o arco representa, a capacidade de escoamento do trecho em estudo, funções de perda de água por evaporação, infiltração e parâmetros do modelo de propagação de ondas de cheia, OLIVEIRA (1994).

Para cada etapa de cálculo do período de simulação, o modelo IRAS calcula os escoamentos superficiais e subterrâneos, os volumes armazenados, as concentrações de cargas poluentes e a energia produzida por geração ou utilizada por bombeamento para o cálculo da energia produzida ou utilizada que resultam da operação do sistema.

Para simular a produção de energia por geração ou o consumo de energia para bombeamento é necessário fornecer a capacidade das turbinas ou das bombas e as constantes de conversão para o cálculo da energia produzida ou utilizada.

Caso seja desejado simular a qualidade de água no sistema, devem ser fornecidos para além da carga poluente em cada ponto de descarga alguns parâmetros que permitem calcular o crescimento ou decrescimento da concentração de cada poluente. A simulação de aquíferos exige a definição de parâmetros que permitam o cálculo do escoamento entre vários nós da rede em função da altura piezométrica.

O modelo IRAS é de uso amplo em relação a definição de regras de operação do sistema. Esta operação é o resultado da definição de um amplo conjunto de funções e de valores, tais como as regras de operação de cada reservatório, os objetivos de volume armazenado e de descargas mínimas de cada reservatório, as funções de desvio de cada tomada de água, assim

como os objetivos de fornecimento de cada ponto de consumo e as regras de prioridades de utilização das fontes de fornecimento de cada ponto de consumo. O usuário tem liberdade total para conjugar todas estas funções e valores, de modo a estabelecer a melhor regra de operação que pretende.

Os resultados do modelo demonstram os valores que cada variável simulada assumiu ao longo da simulação. O programa pode calcular ainda os vários índices e funções que indicam o nível com que os objetivos da operação do sistema foram satisfeitos.

O usuário do programa pode ainda definir níveis de fornecimento de água, de volume armazenado, de vazão escoada, de energia produzida ou de concentração de cargas poluentes e para cada uma destas metas o programa calcula índices de garantia, assim como funções de probabilidade e de vulnerabilidade. Por exemplo, para cada ponto de consumo o programa calcula a percentagem de vezes em que os alvos de fornecimento foram satisfeitos e estima a probabilidade dos objetivos de fornecimento serem satisfeitos num intervalo de simulação que suceda uma falha de fornecimento.

O programa estima também uma função de probabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de seqüências de falhas de fornecimento com várias durações, e uma função de probabilidade de vulnerabilidade que indica a probabilidade de ocorrência de falhas de fornecimento com várias magnitudes.

6.3 – Descrição do Sistema Utilizado

6.3.1 - Estruturas

A Figura 6.4 apresenta o esquema do sistema simulado. Estão representados dois cursos de água, o rio Guadiana e o rio Ardila e duas estruturas de armazenamento, a barragem de Alqueva e um açude a jusante desta em Pedrogão.

Considera-se que a tomada de água para abastecimento urbano, industrial e para irrigação é efetuado no reservatório de Alqueva e que a tomada de água para o reforço do abastecimento ao Algarve e a Espanha é realizada a partir do açude de Pedrogão. Assim, o açude de Pedrogão tem de todos os meses descarregar os volumes de água necessários para reforçar o abastecimento ao Algarve e a Espanha e para manter a vazão ecológica mínima.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SECÃO CIRCULANT

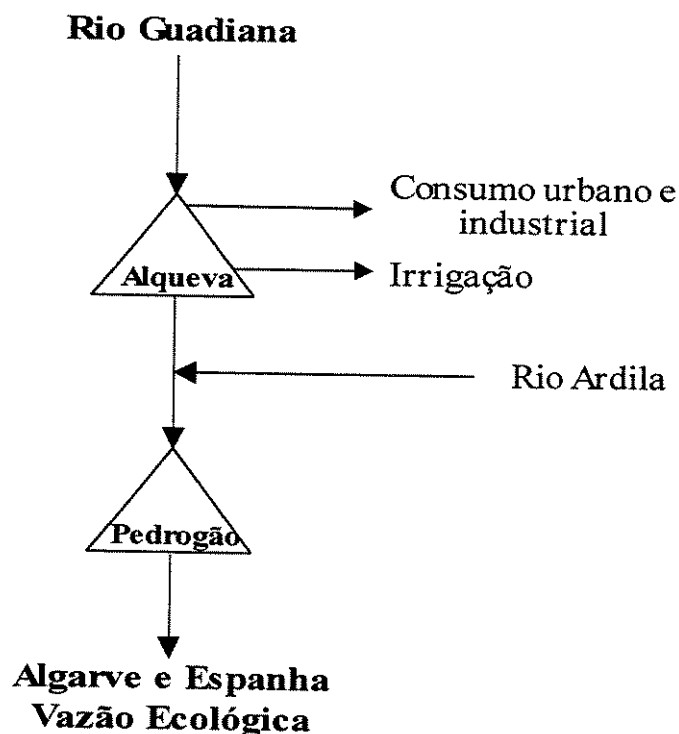
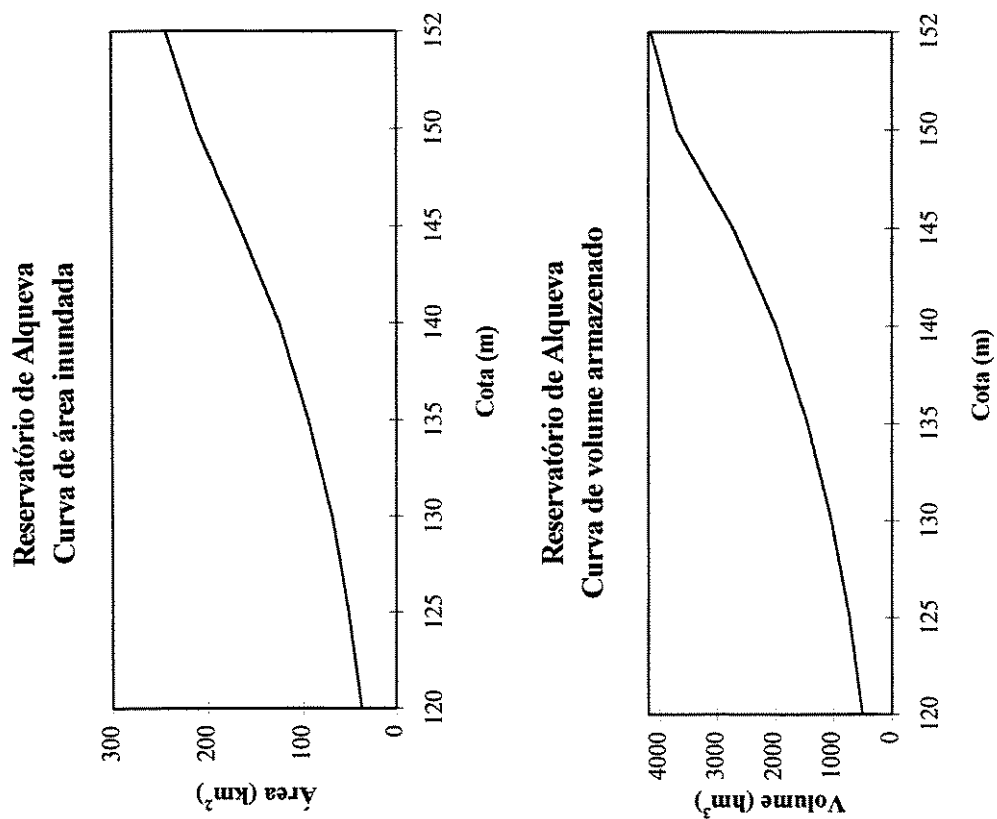


Figura 6.4 – Esquema do Empreendimento de Alqueva simulado

As características principais dos reservatórios da barragem de Alqueva e do açude de Pedrogão estão resumidas no quadro 6.1. As curvas de volume armazenado e de área inundada utilizadas na simulação são apresentadas nas Figuras 6.5 e 6.6. Os valores destas curvas não são corrigidos para poder considerar a redução da capacidade de armazenamento devido à acumulação de sedimentos que segundo ROCHA & FERREIRA (1980) pode atingir os 7 % no reservatório de Alqueva ao fim de 100 anos.

Quadro 6.1 - Características dos reservatórios de Alqueva e Pedrogão

	Cap. (10^6 m^3)	Vol. útil (10^6 m^3)	NPA (m)	NME (m)
Alqueva	4150	3117	152.0	130.0
Pedrogão	106	54	84.8	80.0



**Curva de área inundada
e de volume armazenado**

Cota (m)	Área (km ²)	Vol. armazenado (hm ³)
120	37,71	506,39
125	51,75	730,04
130	69,29	1032,66
135	94,68	1442,59
140	125,82	1993,84
145	167,42	2727,09
150	212,30	3699,05
152	245,20	4150,00

Figura 6.5 - Curva de área inundada e de volume armazenado no reservatório de Alqueva

**Curva de áreas inundadas
e de volumes armazenados**

Cota (m)	Área (km ²)	Vol. armazenado (hm ³)
80	8,1	52,8
90	15,6	171,3
100	27,4	333,9

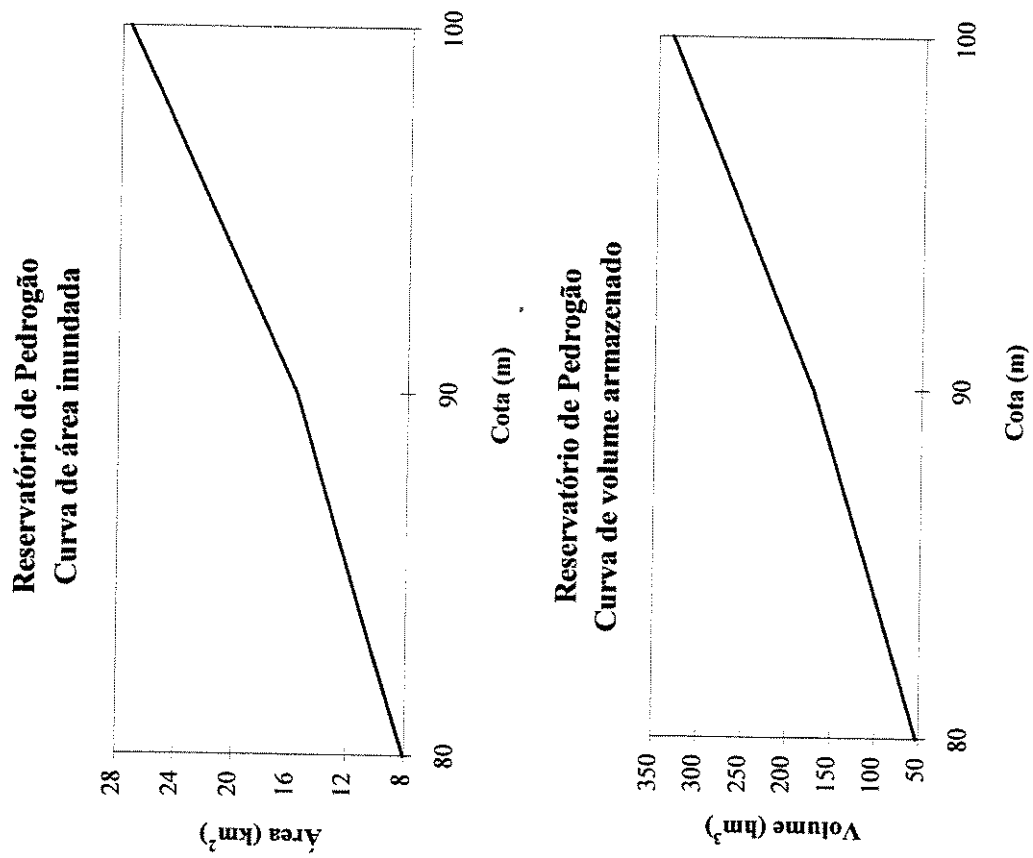


Figura 6.6 - Curva de área inundada e de volume armazenado do reservatório de Pedrogão

6.3.2 - Afluências

Considera-se que a água entra no sistema através do rio Guadiana e do rio Ardila. Utiliza-se a série de escoamentos do rio Guadiana e Ardila calculada pela DPSP (1997). As séries incluem 38 anos de dados correspondentes ao período de 1952/53 a 1989/90. As principais características destas séries são apresentadas no quadro 6.2.

Quadro 6.2 - Características estatísticas das séries de escoamentos utilizadas

Rio	Esc. médio anual (10^6 m^3)	Desvio padrão do esc. anual (10^6 m^3)
Guadiana	2208	2770
Ardila	510	420

6.4 - Consumos de água

O empreendimento de Alqueva tem como objetivo o fornecimento de água para consumo urbano e industrial para irrigação de uma área de 112.681 ha no Baixo Alentejo, para o reforço da capacidade de abastecimento de água ao Algarve e eventualmente ao sul de Espanha, para o consumo ecológico e para a produção de energia. As estimativas das quantidades de água necessárias para satisfazer estes objetivos são fornecidas pela HIDROTÉCNICA PORTUQUESA (1992).

6.4.1 Consumos urbano e industrial

Segundo as estimativas mais atualizadas da Comissão Instaladora do Empreendimento de Alqueva, o consumo anual urbano e industrial no horizonte de projeto é cerca de 100 hm^3 distribuído de forma uniforme ao longo do ano. Considera-se que este volume de água é retirado diretamente do reservatório de Alqueva.

Assim o volume anual a satisfazer para o consumo urbano é de aproximadamente 6 hm^3 e cerca de 82 hm^3 para o consumo industrial, o que perfaz um consumo total de 88 hm^3 . Para elaboração do dimensionamento do circuito, procede-se a distribuição dos consumos urbanos e

industriais pelas diversas barragens que estão descritas no quadro 6.3, A figura 6.7 e 6.8 mostram as entradas dos dados de consumos urbano e industrial para as situações previstas no quadro 6.3.

Quadro 6.3 – Volumes anuais para consumo urbano e industrial

Reservatório	Conselhos	Cons. (hm ³)	Coef. Abast (*)	C. Urb.	C. Indust.	Totais (hm ³ /ano)
ALVITO	Viana do Alentejo	0,648	0,3	1,068	(1)	6,631
	Alcacer do Sal	1,460			5,250 (a)	
	Alvito	0,274			+ 0,313	
	Cuba	0,548				
	Vidigueira	0,730				
ODIVELAS	F. do Alentejo	1,095	0,5	0,548	(2) 5,563	6,111
ROXO	Aljustrel	1,096	1,0	3,832	(3)	75,217
	Beja	2,737			70.0 (a) + 1,385	
LOUREIRO	Portel	0,730	0,5	0,385		0,385
			TOTAIS	5,833	80.813 (a) + 1,698	88,344

Obs: É estimado um valor de 11 milhões m³ (que deve ser somado aos 88 milhões de m³) para as necessidades de consumos futuros em agroindústrias

(1) – Valor correspondente a 50 % do valor estimado para agroindústria

(2) – Valor correspondente a 50 % do valor estimado para agroindústria e evolução dos consumos atuais

(3) – Valor correspondente aos consumos previstos para a região de Sines.

(*) - Este coeficiente pretende traduzir as percentagens dos volumes previstos para o consumo urbano que servirão de complemento aos recursos locais.

(a) - Valor do consumo atualmente existente.

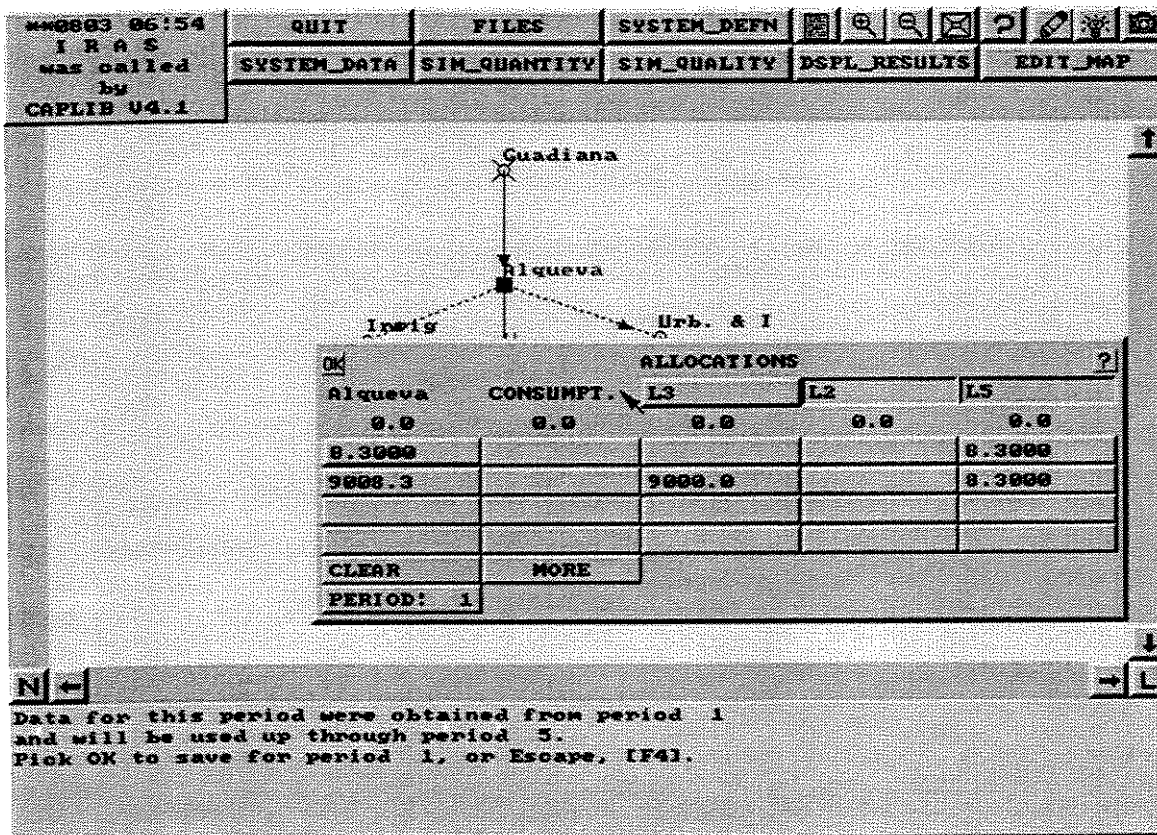


Figura 6.7 – Alocação dos consumos urbano e industrial no modelo IRAS

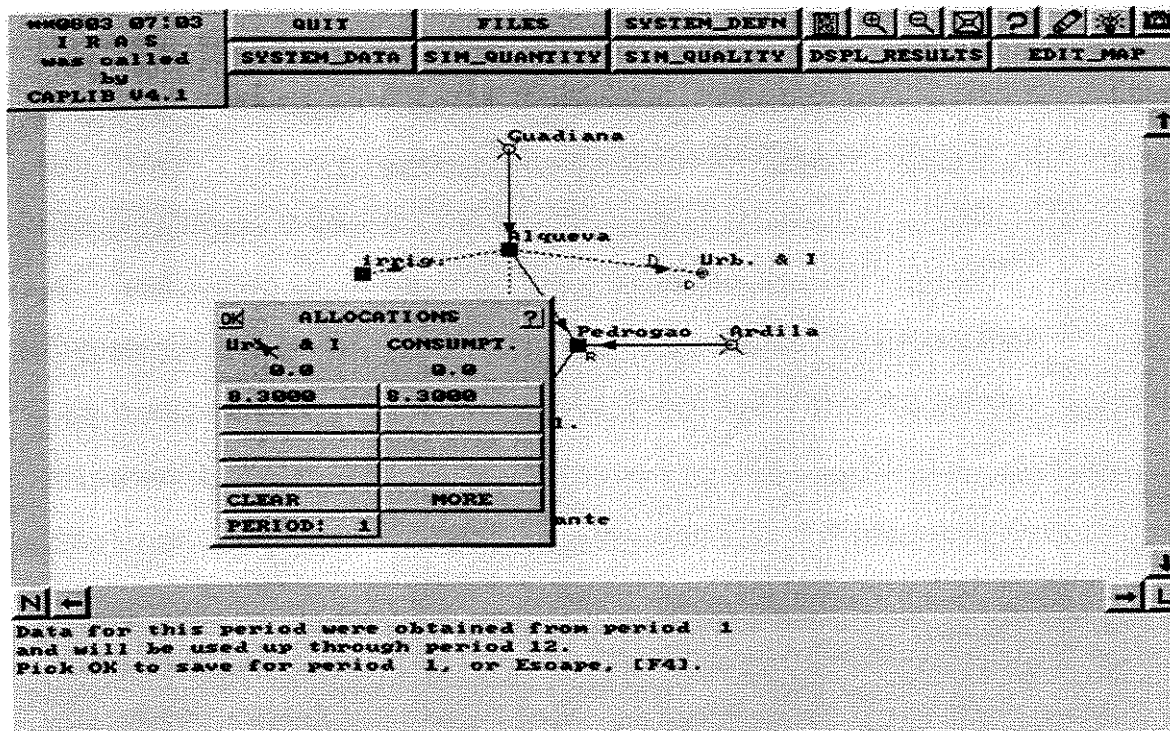


Figura 6.8 – Alocação dos consumos urbano e industrial no modelo IRAS

6.4.2 Consumo de irrigação

A Comissão Instaladora do Empreendimento de Alqueva – CIEA estima o consumo anual para irrigação em cerca de 990 milhões de m³. De acordo com os estudos efetuados, no que diz respeito ao método de irrigação considerado, verifica-se que cerca de 85% da área total é irrigada por aspersão e os restantes 15% por gravidade. No quadro 6.4 são apresentadas as áreas irrigadas por aspersão e gravidade.

Quadro 6.4 – Sistema Baixo Alentejo

Sistema	Áreas (ha)				
	Aspersão	%	Gravidade	%	Total
Baixo Alentejo	96 543	85	16 138	15	112 681

Os dois tipos de necessidades para irrigação existentes são: irrigação direta das novas áreas a irrigar, irrigação de áreas de estudos autónomos em complemento dos recursos de aproveitamentos já existentes. São apresentados nos quadros 6.5 e 6.6.

Quadro 6.5 – Volume anual para irrigação direta exigida pelos reservatórios

Reservatórios (10 ⁶ m ³)	Ano seco	Ano médio	Ano úmido
ALVITO	476.988	397.49	357.741
ODIVELAS	31.716	26.43	23.787
BARRAS	18.6	15.5	13.95
ALFUNDÃO	66.468	55.39	49.851
ROXO	41.472	34.56	31.104
PISAO	159.372	132.81	119.529
PENEDRAO	83.988	69.99	62.991
TOTAIS	878.604	732.170	658.953

Quadro 6.6- Volumes anuais para complemento de perímetros autônomos

Reservatórios (10 ⁶ m ³)	Ano seco	Ano médio	Ano úmido
ODIVELAS	31.716	26.43	23.787
MONTE DA ROCHA	42.948	35.79	32.211
ROXO	41.472	34.58	31.104
TOTAIS	116.136	96.78	87.102

Em relação às necessidades de água para irrigação, estes apresentam volumes anuais para irrigação de áreas integradas em aproveitamentos autônomos que totalizam aproximadamente em um ano médio 97 milhões de m³, enquanto que os volumes para irrigação direta totalizam 732 milhões de m³.

Em consequência, o valor dos volumes totais para irrigação (autônoma e direta) em um ano médio é de cerca de 829 milhões de m³. Este volume varia razoavelmente com as condições meteorológicas do ano agrícola. Assim em um ano seco as necessidades são de 994 milhões de m³ e em um ano úmido de 746 milhões de m³.

Pelo fato de não se possuir dados sobre a distribuição deste valor ao longo do ano, são simuladas três distribuições mensais dos consumos para irrigação para verificar a sensibilidade dos resultados a esta distribuição. O quadro 6.7 apresenta as distribuições consideradas. Admitiu-se que estes volumes de água são retirados diretamente do reservatório de Alqueva. A figura 6.9, 6.10 e 6.11 apresentam as várias formas de entradas de dados para a irrigação no modelo IRAS.

Quadro 6.7 - Distribuição mensal dos consumos

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Ano
	10 ⁶ m ³												
Urb. e Ind.	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	100
I1: Irrig 1	-	-	-	-	-	165	165	165	165	165	165	-	990
I2: Irrig 2	-	-	-	-	-	100	100	100	230	230	230	-	990
I3: Irrig 3	-	-	-	-	-	-	-	-	330	330	330	-	990
A1: Alg. 1	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	400
A2: Alg. 2	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	200
A3: Alg. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E1: Ecol. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E2: Ecol. 2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	60

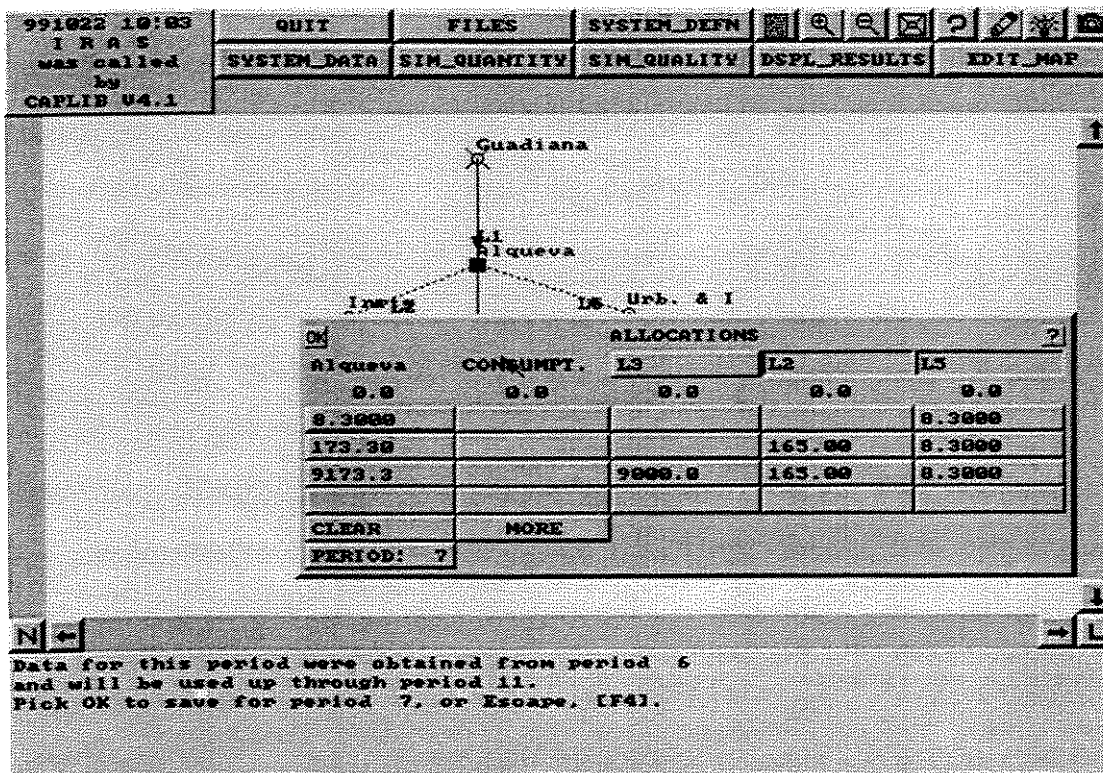


Figura 6.9 – Alocação do consumo de irrigação no modelo IRAS

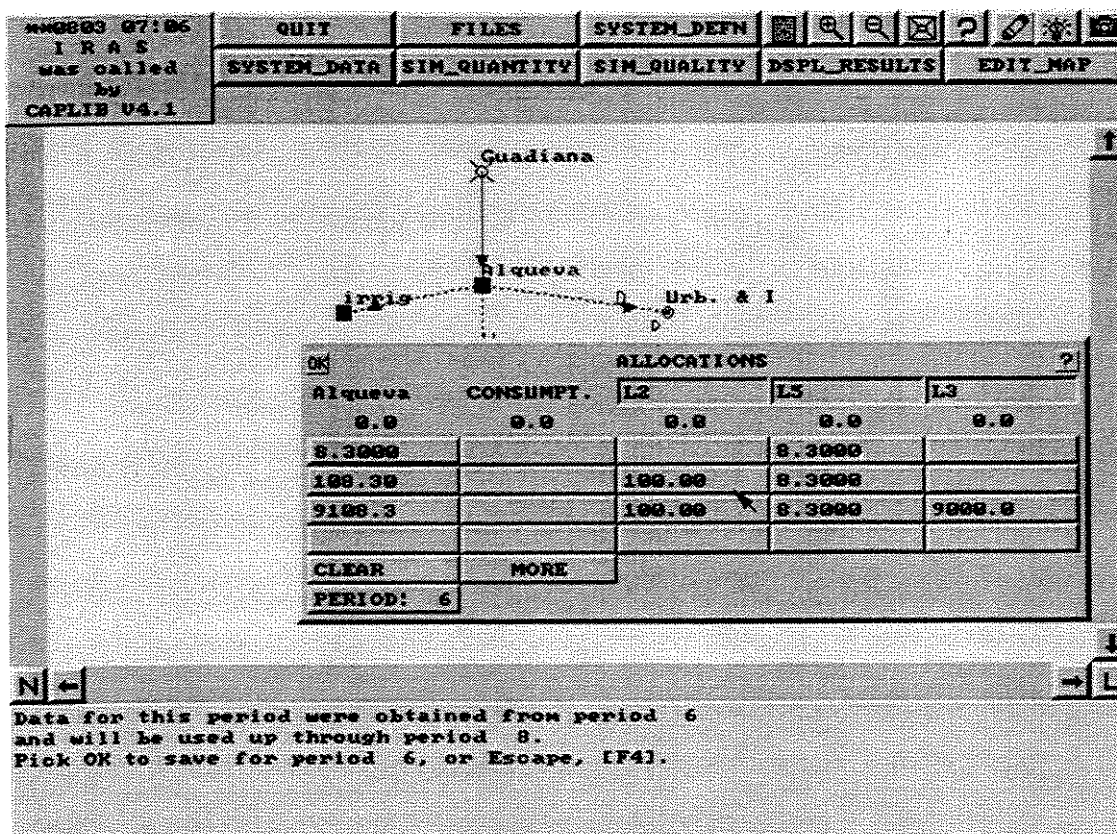


Figura 6.10 – Alocação do consumo de irrigação no modelo IRAS

água para irrigação são abastecidas com um nível de garantia sensivelmente semelhante ao valor obtido para a totalidade das necessidades. O consumo no Algarve e na Espanha esta estabelecida nas figuras 6.12 e 6.13

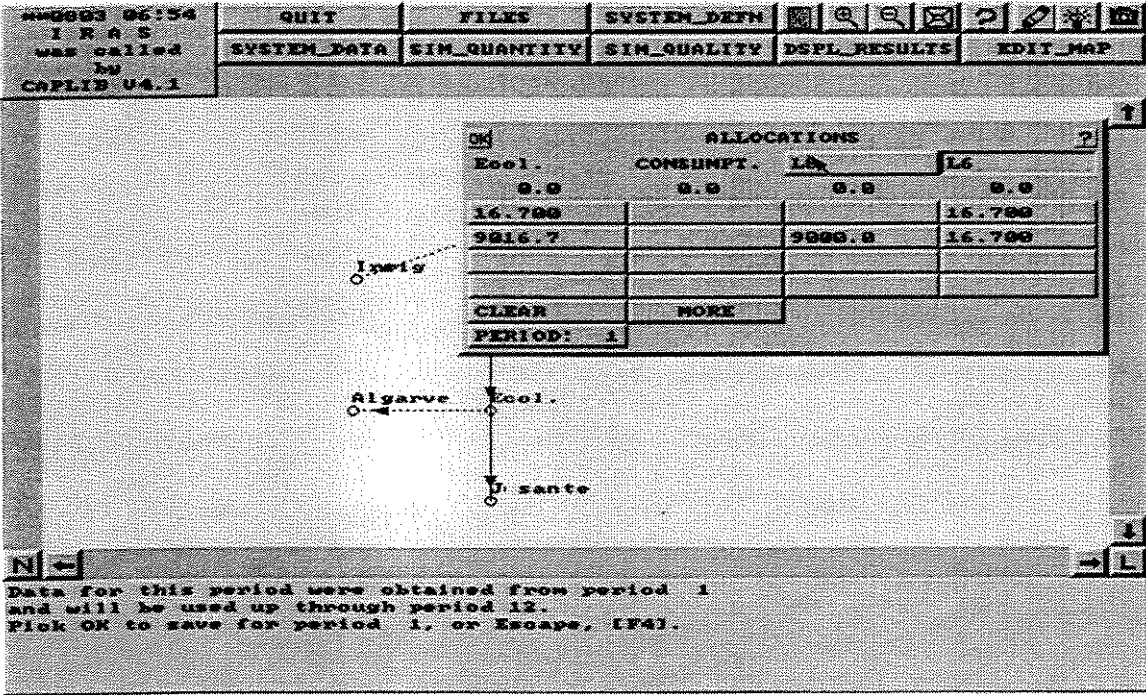


Figura 6.12 – Consumo no Algarve

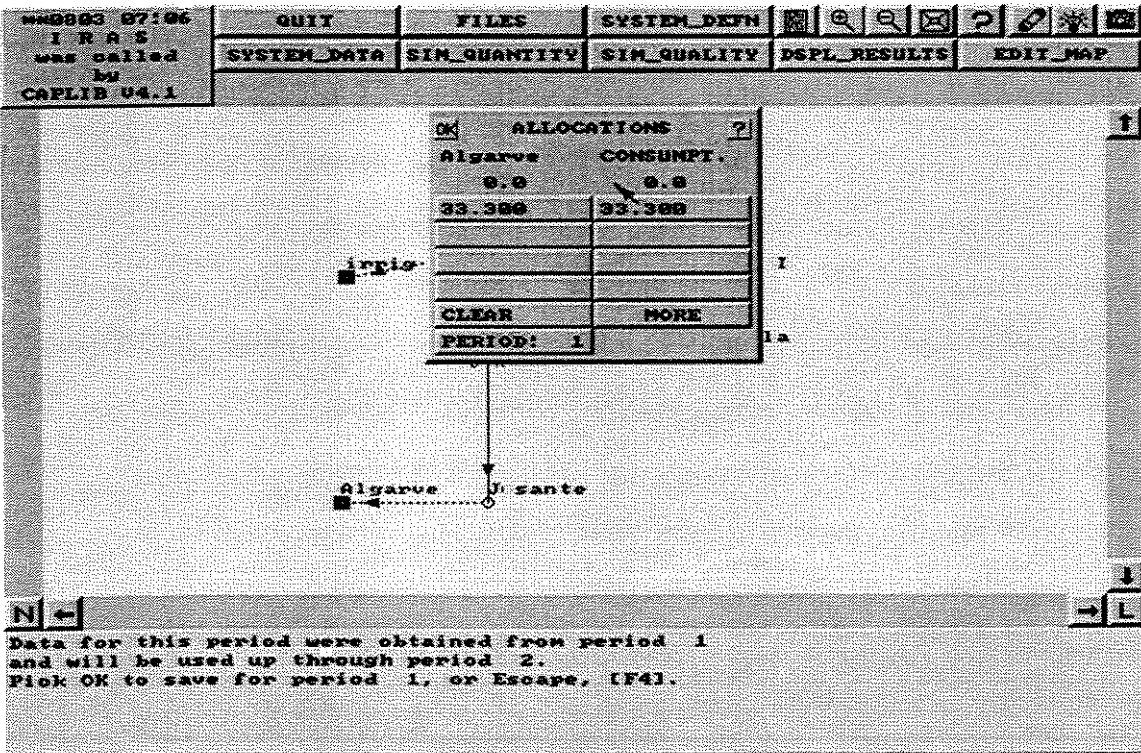


Figura 6.13 – Consumo no Algarve e na Espanha

6.4.4 Consumo de água na produção de energia elétrica

Em relação às necessidades de água para a produção de energia elétrica considera-se que quando o nível de armazenamento do reservatório de Alqueva é inferior a 151,3 m, todas as vazões turbinadas em Alqueva são posteriormente bombeadas de Pedrogão. Quando o nível de água do reservatório de Alqueva é superior a 151,3 m, podem ser turbinadas as vazões sem serem posteriormente bombeadas. Assim, o volume de água armazenado entre as cotas 151,3 m e 152,0 m que corresponde a 150 milhões de m³ não serão utilizados para abastecer o consumo urbano e o perímetro de irrigação do Baixo Alentejo.

Para a produção de energia elétrica somente para geração devem ser considerados os anos hidrológicos de média elevada ou por ocasiões de anos úmidos.

Em contra partida, na ocasião de uma sucessão de anos secos ou de médias afluências, a produção de energia resulta aleatória e o consumo de água para irrigação a partir do ano 2015 deve reduzir a produção de energia elétrica.

O bombeamento a ser feito para o reservatório de Alqueva vai possibilitar uma maior reserva de água a ser utilizada nos horários de ponta, bem como servirá para a otimização dos recursos para o aumento da implantação dos sistemas de irrigação na fase secundária e terciária do Plano de irrigação a ser implantado.

A produção de energia no aproveitamento de Alqueva para as atuais metas da área a ser irrigada, ou seja, aproximadamente 110.000 ha estão demonstradas no quadro 6.8 a seguir:

Quadro 6.8- Produções anuais médias em GWh,

Ano	2001	2002	2005	2010	2015	2020
Alqueva	-	240.0	220.9	211.7	182.8	164.9

Fonte: Hidrotécnica Portuguesa (1992)

Os resultados do quadro 6.7 demonstram uma diminuição progressiva das contribuições de energia devido ao aumento das necessidades de água para irrigação.

A produção de energia em Alqueva diminui consideravelmente de junho a outubro, sendo os meses de junho a agosto responsáveis pelo maior consumo de água para irrigação.

A água a ser recebida no reservatório de Alqueva, por bombeamento a partir do ano de 2005, deve resultar em uma política de gestão, gerando alternativas quanto a sua utilização que deve estar previsto na regra de operação do reservatório.

Tendo em conta a possibilidade de substituição “produção de ponta – produção fora de ponta”, capacidade de bombeamento e de geração, volume do reservatório e vazão afluente, mostra-se económico limitar a 260 hm³ o volume a ser bombeado de Pedrogão para o Alqueva (HIDROTÉCNICA PORTUQUESA, 1992).

Os dados necessários para a simulação da geração de energia elétrica no aproveitamento de Alqueva para as três hipóteses consideradas estão exemplificadas na figura 6.14

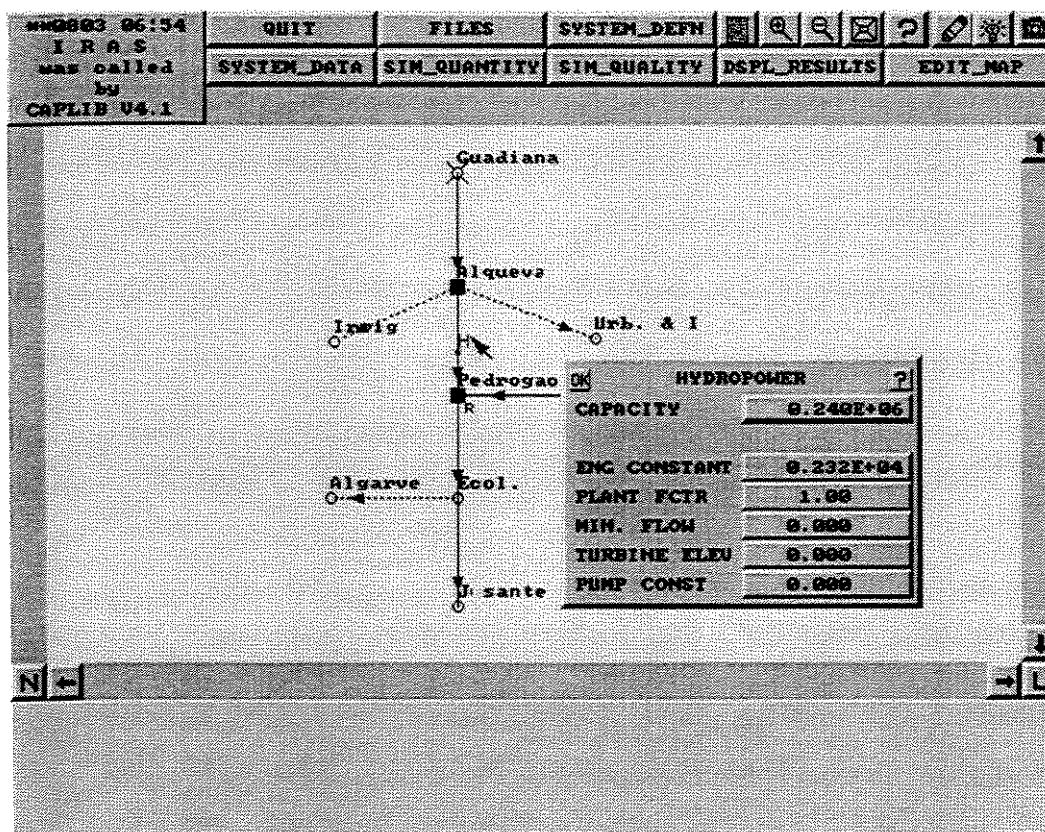


Figura 6.14 – Entrada de dados para geração de energia elétrica

As constantes da produção de energia podem ser derivadas da equação da potência:

$$\text{Potência (kW)} = 9,81 \times \text{Fluxo (m}^3/\text{s)} \times \text{Altura útil (m)} \times \eta \text{ (eficiência)}$$

Se o fluxo e a altura útil forem mantidos para o número de horas em uma etapa do tempo de simulação, então o valor da energia produzida nesta etapa de tempo expressa em kilowatt-horas é a potência multiplicada pelas horas na etapa de tempo da simulação.

$$\text{Energia (kWh)} = \text{Potência (kW)} \times \text{horas na etapa de tempo da simulação}$$

Então:

Energia (kWh) = 9,81 x Fluxo (m³/s) x Altura útil (m) x η (eficiência) x numero de horas no respectivo intervalo de tempo.

Usando a constante de conversão do armazenamento que converte as unidades definidas do fluxo em relação ao volume armazenado por dia e multiplicando então pelo número dos dias de cada etapa do tempo da simulação, define o fluxo em unidades de volume do armazenamento pela etapa de tempo da simulação.

Assim, se os fluxos forem expressos na unidade (m^3/s) e as unidades do volume do armazenamento estiverem em 1000 (m^3), o modelo converte as unidades do fluxo a 1000 (m^3) pela etapa do tempo da simulação.

As unidades em (m^3/s) começam então a serem substituídas pelo fluxo em 1000 (m^3) da etapa do tempo, dividindo-se pelo número de horas da etapa de tempo multiplica pelo número de segundos.

Constante da Conversão do Armazenamento = Unidades desejadas do Volume de Armazenamento por dia / Unidades desejadas do Fluxo

Constante da Conversão do Fluxo = Unidades desejadas do Fluxo / Unidades do Fluxo do Arquivo do Fluxo.

Então:

Fluxo (m^3/s) = 1000 x (1000 m^3 pela etapa tempo) / {horas da etapa de tempo x 3600 seg/h}

Combinando as duas equações anteriores:

Energia (kWh) = 9,81 x Fluxo (1000 m^3 / etapa de tempo) x Altura útil (m) x 1000 x η (eficiência) / (3600 seg / horas).

Simplificando:

= 2.725 x Fluxo (1000 m^3 / pela etapa tempo) x Altura útil x η (eficiência).

Nesta simulação a unidade do volume armazenada (pelo escoamento afluente em cada intervalo de tempo) está expresso em milhões de m^3 (hm^3) usando a constante de conversão do armazenamento de 0,0333 para converter as unidades de fluxo desejadas na simulação para as unidades de volume armazenado por dia e a energia a ser produzida, estando expressa em (MWh) significa que a constante de produção para energia é a mesma.

Neste caso foram utilizadas as seguintes unidades na produção de energia:

Capacidade: 240 MW

Constante da produção de energia: 2.725 x (eficiência) neste caso 0,85 = 2.316

Fator de Capacidade: 1.0 (Fração do tempo em que pode ser produzida energia)

Fluxo mínimo: 0

Elevação da turbina: 0

Constante de bombeamento: 0

A capacidade do fluxo limitará a quantidade de água que pode ser disponibilizada para a geração de energia, o que na realidade é uma limitação na capacidade de geração de energia elétrica.

6.4.5 Consumo da Vazão Ecológica

A proposta apresentada pelo Estudo Integrado de Impacto Ambiental SEIA (1995) considera os valores da vazão ecológica como aqueles obtidos através do Método do Perímetro Molhado.

Sendo assim, a vazão ecológica é o valor mais alto de um conjunto de vazões mínimas que garantam a preservação das populações piscícolas existentes.

Para a vazão de limpeza que deve ser feita nos meses de janeiro a março, a documentação propõe uma vazão instantânea superior a 300 m³/s seguidas de vazões superiores a 25 m³/s. (SEIA, 1994).

No caso de um ano seco, a vazão ecológica deve ter um volume anual de 163 milhões de m³/ano, na qual esta garantida em 100% dos anos, (HENRIQUES, 1993).

O estudo sobre a disponibilidade de água em condições hidrológicas extremas na bacia internacional do Guadiana, realizado para a comissão Européia pela Montgomery Watson, consultoria internacional, calcula vazões ecológicas para Alqueva, este estudo recomenda que sejam adotados os seguintes valores das vazões ecológicas do Guadiana, conforme demonstradas no quadro 6.9:

Quadro 6.9 – Vazão Ecológica recomendada para o Guadiana

Característica da vazão	CAIA	ALQUEVA	ESTUARIO
Afluência média anual	1093	1357	1825
Afluência média anual	35	43	58
Afluência instantânea	950	1150	1575
Afluência mínima	4,2	5,0	7,2

10⁶ m³

que o erro cometido por esta hipótese é compensado pelos acréscimos de afluências por precipitação direta sobre os reservatórios e por escoamento superficial ao longo das encostas dos vales da rede fluvial. A entrada de dados para evaporação no modelo IRAS é exemplificada na figura 6.16.

Quadro 6.10 - Distribuição mensal da evaporação (mm)

Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
97	50	26	33	44	87	116	168	204	167	244	164

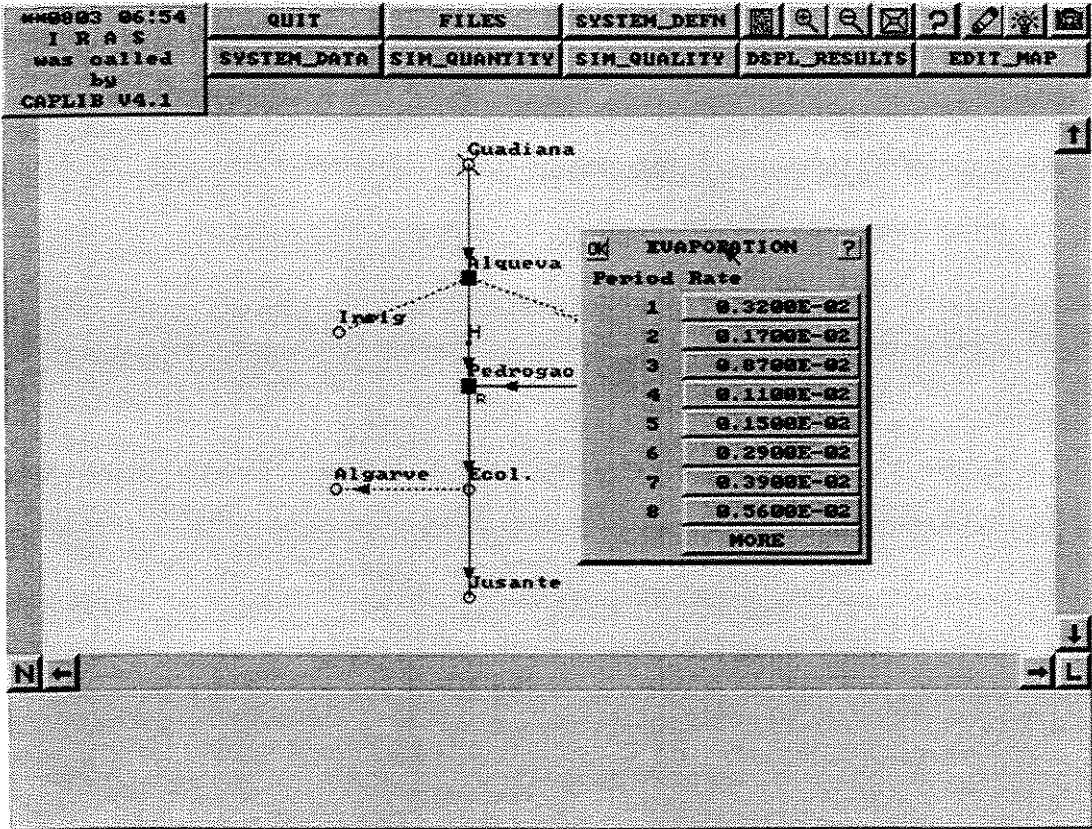


Figura 6.16 – Dados de evaporação utilizados no modelo Iras

6.5 - Definição das Regras de Operação do Sistema

Como já foi mencionado, o modelo IRAS é flexível no que respeita a definição da regra de operação do sistema. Esta operação é o resultado da definição de um vasto conjunto de funções e de valores, tais como as regras de operação de cada reservatório, as demandas de volume armazenado e de descargas mínimas de cada reservatório, as funções de desvio de cada

tomada de água, assim como os objetivos de fornecimento de cada ponto de consumo e as regras de prioridades de utilização das fontes de fornecimento de cada ponto de consumo. O usuário do modelo tem liberdade total para combinar todas estas funções e valores de modo a estabelecer a regra de operação que pretende.

Em relação às prioridades para o abastecimento, deve-se adotar a política definida para a operação dos reservatórios. Nos anos úmidos, a satisfação das várias necessidades não ocasiona quaisquer problemas; já para os anos secos, quando é necessário proceder-se restrições, deve-se respeitar as prioridades definidas em relação à alocação da água disponível entre os diferentes consumidores.

O sistema foi operado tendo como principal preocupação a satisfação do consumo urbano e industrial com um nível de garantia de 100 %. Assim, a regra de operação utilizada dá prioridade ao consumo urbano e industrial, sendo os perímetros de irrigação, o Algarve e o sul de Espanha abastecidos apenas após o consumo urbano ter sido satisfeito. Se tiverem de ser garantidas as vazões ecológicas mínimas, este objetivo tem prioridade sobre o fornecimento de água para irrigação. Não existe conflito entre o abastecimento do Algarve e do sul de Espanha e a manutenção das vazões ecológica mínimas, pois se assume que a água descarregada de Pedrogão por razões ecológicas pode vir a ajudar no abastecimento do Algarve e Espanha.

A regra de operação do reservatório de Alqueva estabelece uma reserva de água abaixo de um certo nível N^* (a que corresponde um volume V^*) que apenas é utilizada para abastecer o consumo urbano e industrial e para manter as vazões ecológicas mínimas. O volume V^* é definido de modo a garantir estes objetivos a 100% e depende das hipóteses de consumo consideradas e da série de escoamentos utilizada.

Para cada cenário de consumos considerado e para cada série de escoamentos utilizada, o volume V^* é estimado por tentativa e erro de acordo com as necessidades dos diversos consumos, demonstrados no quadro 6.7.

Através do algoritmo proposto no anexo é feita a simulação do balanço hidrológico, detectando-se os volumes de abastecimento para os diversos consumos estabelecidos. Caso o consumo requerido não seja suprido, diz-se que ocorrerá uma falha de abastecimento. O número de falhas ocorridas no período simulado, dividido pela quantidade de meses do período simulado, possibilita apresentar os níveis de garantia de abastecimento e satisfação do consumo.

Note-se que as regras de operação que reservam um grande volume de água para garantir a totalidade do consumo urbano e industrial, mesmo nos anos mais secos, conduzem em princípio

a níveis de garantia mais baixos para os outros usos de água e implicam frequentemente algum desperdício de água.

Se a cota do nível de água se situar entre N^* e os 151,3 m pode ser fornecida água para irrigação e caso o volume armazenado no açude de Pedrogão e as afluências do rio Ardila não forem suficientes para abastecer o Algarve e o sul de Espanha, podem também ser realizadas descargas para cobrir este déficit de água.

Se o nível do reservatório se situar entre estes dois níveis, qualquer vazão turbinada para produção de energia tem que ser posteriormente bombeada.

Finalmente, os volumes de água armazenados acima da cota 151,3 m são exclusivamente utilizados para a produção de energia. A Figura 6.18 descreve genericamente a regra de operação do reservatório de Alqueva utilizada.

Nota-se que esta regra de operação implica que é fornecida uma quantidade de água para irrigação que satisfaz integralmente os objetivos de consumo ou não é fornecida nenhuma água.

A regra de operação empregada considera que o açude de Pedrogão pode ser utilizado para armazenar água que é posteriormente descarregada em meses de escoamento reduzido para abastecer o Algarve e o sul da Espanha e para manter as vazões ecológicas. Esta hipótese pode não ser completamente compatível com a função de uma futura reserva de água necessária ao ciclo de bombeamento reversível do sistema. No entanto, dada a reduzida capacidade de armazenamento do açude de Pedrogão, os resultados não se alteram significativamente, dado que esta capacidade não pode ser utilizada para regularizar os escoamentos do rio Ardila.

A grande vantagem da regra de operação utilizada é que a produção de energia pode ser ignorada no cálculo dos níveis de garantia de abastecimento dos diversos consumos. Basta para isso considerar que a capacidade do reservatório é de 4000 milhões de m^3 , dado que os 150 milhões de m^3 de água armazenados entre as cotas 151,3 m e 152,0 m são exclusivamente destinados à produção de energia. É claro que este volume de água aflui ao reservatório de Pedrogão e poderá ser utilizado para o abastecimento do Algarve e do sul da Espanha.

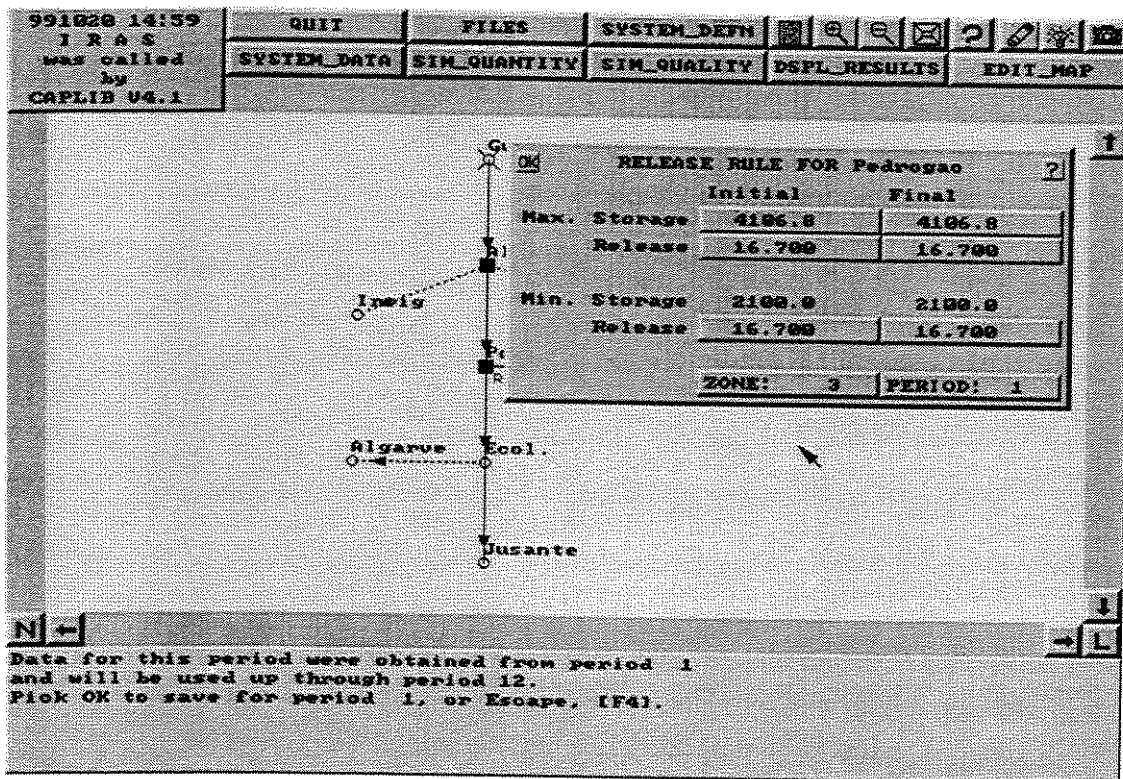


Figura 6.17 – Entrada de dados da regra de liberação do reservatório de Pedrogão

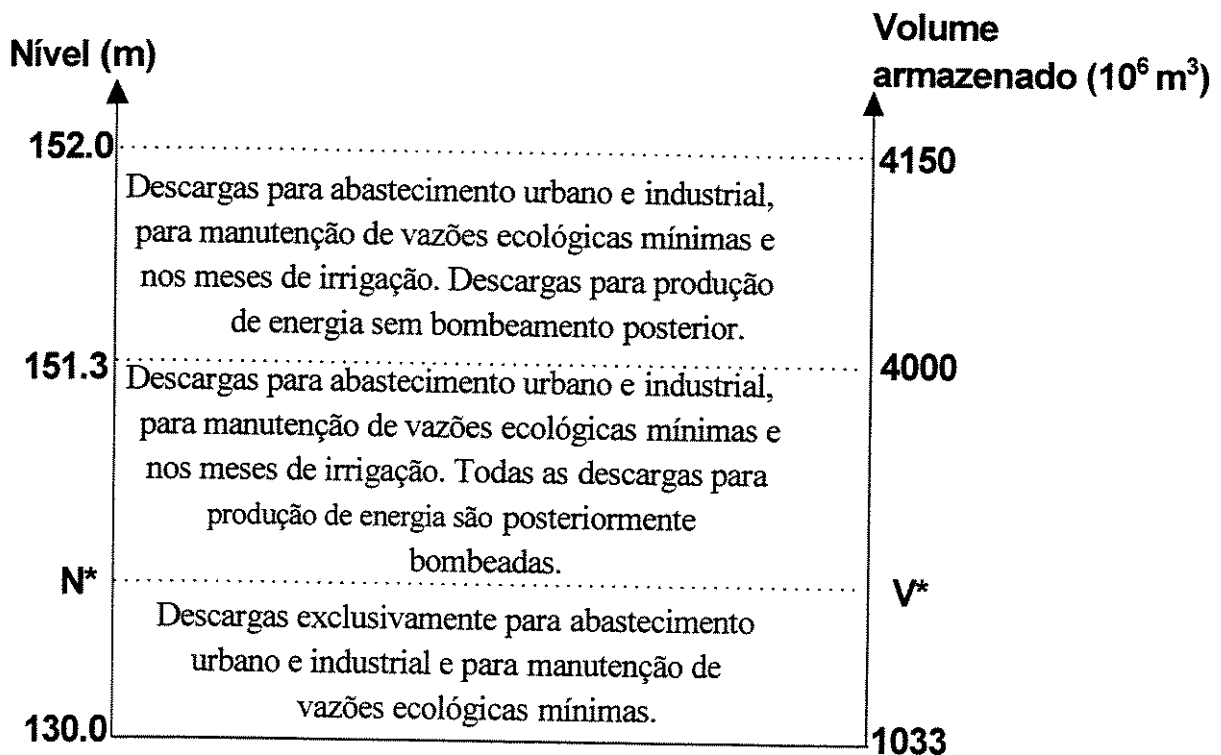


Figura 6.18 - Regra de Operação do Sistema Alqueva

6.6 – Dados limites utilizados no modelo IRAS

Um dos mecanismos usados por IRAS para ajudar a identificar quando e onde as variáveis do sistema podem estar em um estado ou em uma escala não satisfatória, envolve o uso de valores de limites iniciais. Para cada variável simulada podem ser atribuídos dois valores de limites iniciais. Estes dois valores dividem os valores possíveis da variável em três seções ou zonas. A cada uma destas zonas pode ser atribuída uma cor verde (satisfatório), amarelo (advertência) ou vermelho (insatisfatório). Há seis combinações possíveis de atribuições da cor ou zona alternativa. Os dois limites iniciais associados com cada variável da simulação não afetam os resultados da simulação; entretanto muitas das características estatísticas e outras do indicador do desempenho disponíveis em IRAS empregam estes valores de limites iniciais e zonas coloridas de valores variáveis.

As seis combinações possíveis que podem ser escolhidas para as três escalas de valores para cada variável estão demonstradas na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Combinações alternativas de cor associadas com as zonas de valores variáveis.

Alternativa	1	2	3	4	5	6
Zona Elevada	Amarelo	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Amarelo
Zona Média	Verde	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde
Zona Baixa	Vermelho	Vermelho	Verde	Amarelo	Vermelho	Amarelo

As variáveis do volume de armazenamento do aquífero, do lago e do reservatório optam pela alternativa 1, na suposição que os volumes do armazenamento em uma escala média são melhores representados do que em casos extremos. Todas as variáveis de afluições e de efluências, incluindo o consumo do reservatório, optam pela alternativa 2.

Nesta simulação, a zona mais baixa de cada variável é definida como falha ou escala "vermelha". Para tudo, com exceção das variáveis do armazenamento, a escala superior é a escala satisfatória ou "verde". A zona média entre as escalas vermelha e verde pode ser chamada uma escala do aviso ou de "amarelo". Esta é a alternativa 2 da tabela 6.1. Para variáveis do armazenamento a escala média está definida como escala "verde" satisfatória e a escala superior como a escala "amarela" de advertência. Esta é a alternativa 1 da tabela 6.1.

Definido os limites iniciais e executando-se o indicador dinâmico de resultados da simulação, pode-se observar a cor que cada nó e ligação assumem em cada período de tempo

anual. Todos os nós ou ligações vermelhas ou amarelas indicam onde e em que períodos uma análise mais detalhada dos resultados deve ser feita. A definição dos limites iniciais possibilita também a computação de estatísticas do desempenho do sistema e da distribuição da probabilidade de extensões vermelhas e amarelas bem como de durações de desvio da zona. A figura 6.19 mostra a definição das variáveis escolhidas na simulação. A figura 6.20 demonstra a entrada de dados de valores do ponto inicial para cada período do ano para uma ou mais simulações variáveis. O programa permite definir e modificar esses valores iniciais depois de uma simulação ter sido executada.

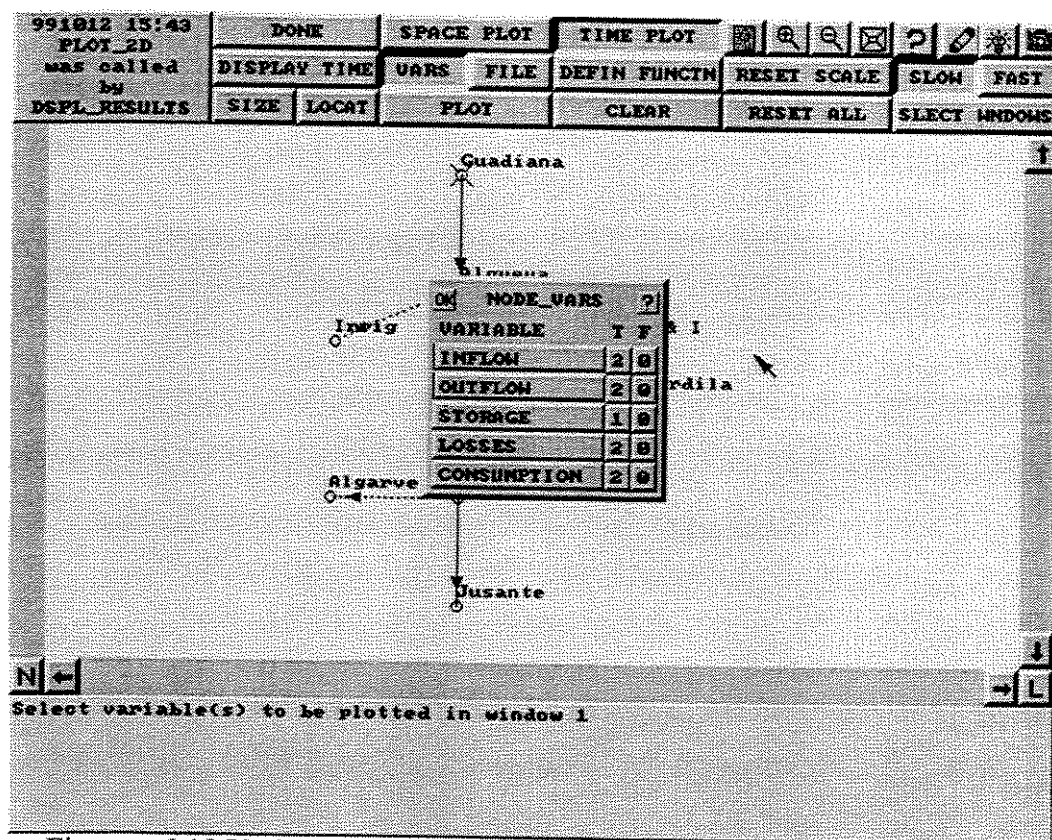


Figura – 6.19 Variáveis simuladas em nós e nas ligações selecionados.

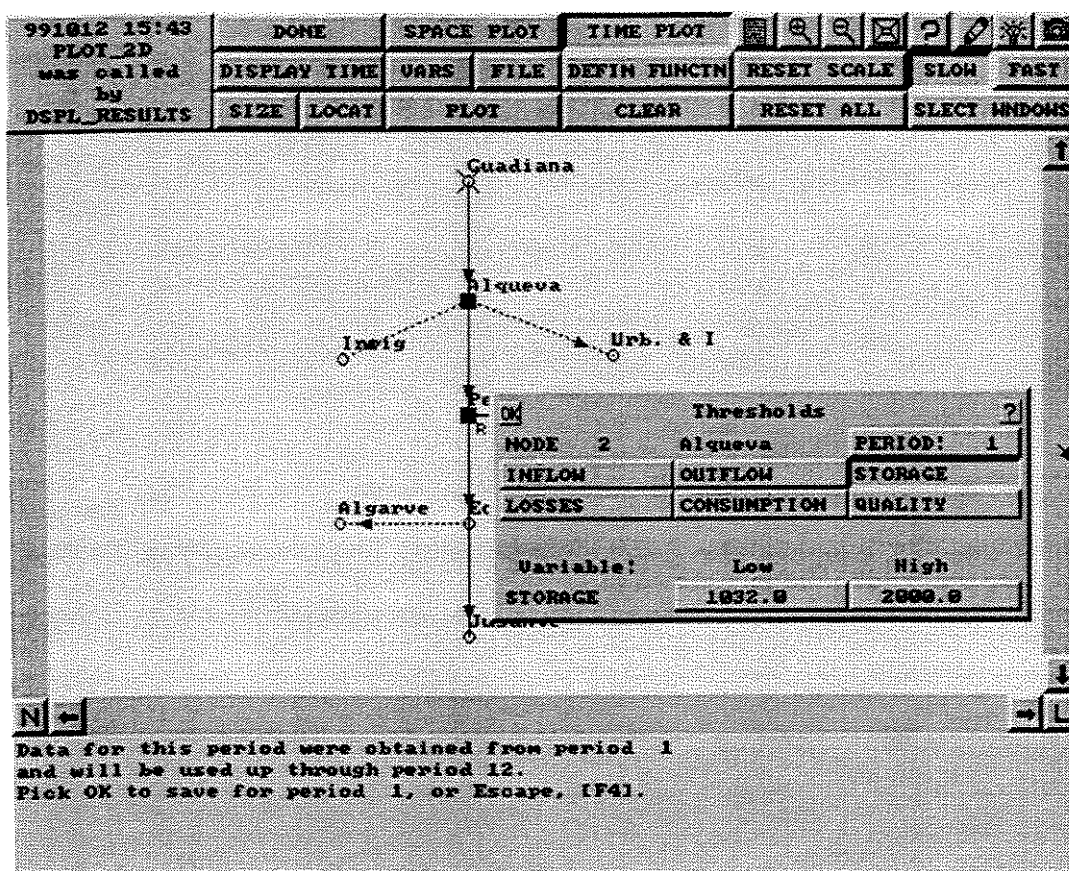


Figura 6.20 – Valores de pontos iniciais para o aproveitamento de Alqueva

6.7 - Definição espacial e temporal

O programa IRAS permite a especificação e controle das definições espacial e temporal da simulação desejada. O programa é capaz de simular sistemas de recursos de água sobre períodos de tempo múltiplos intranuais sobre uma sucessão de anos. O controle sobre o número (até 60) e durações (um dia ou períodos maiores) dos períodos de intrano e do número (ao menos 12) das etapas do tempo da simulação que ocorrem durante cada período intranual. O programa simula os fluxos, volumes do armazenamento, energia e os componentes da qualidade de água durante todo o sistema em cada hora da etapa de simulação. Todos os dados de entrada e de saída pertencem às condições iniciais, médias ou finais para cada período intranual. Os resultados de saída do programa IRAS incluem os volumes iniciais e finais do armazenamento e as condições médias do fluxo, da qualidade, da energia e da potência para cada um dos períodos definidos pelo usuário em cada ano da simulação.

A apresentação dos dados e os procedimentos da análise estatística incorporadas no programa IRAS são importantes parâmetros de ajuda para identificar e compreender os resultados da simulação. Estas potencialidades incluem simulações de série-tempo e série-espaço de variáveis simuladas de medidas, de desempenho do sistema. Os indicadores estatísticos incluem: confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e também as distribuições incondicionais e condicionais da probabilidade destas medidas nos locais selecionados.

6.8 – Impressão das séries de tempo ou de espaço

O programa apresenta opções para indicar alguns ou todos os valores variáveis simulados que ocorrerão sobre o tempo em todo o nó ou ligação. Estão incluídos os ensaios da simulação da série de tempo, ensaios da simulação espacial das variáveis e as tabelas de dados. Até quatro impressões de únicas ou variáveis múltiplas simuladas podem ser indicados de uma vez.

As corridas de séries-tempo podem ser de variáveis únicas ou de variáveis múltiplas no mesmo monitor. Se uma única variável for indicada, as simulações mostrarão na sequência cada valor de fluxo e suas réplicas. Os ensaios da série-espaço sobre uma sequência conectada de ligações ou de nós mostrarão as ligações ou os nós que estão sendo plotados na linha central horizontal e os valores do nó ou da ligação de cada período de intranual que serão traçados sequencialmente.

Desta sequência de simulações em um único gráfico, pode-se analisar a propagação e probabilidade dos valores que um valor variável pode ter em um ponto particular no espaço e no tempo.

6.9 - Indicadores Dinâmicos

Após os valores limites iniciais terem sido definidos, pode-se escolher e ver uma sucessão dinâmica dos indicadores que mostram escalas de valores variáveis sobre o tempo. Cada indicador mostrará cada nó ou ligação (ou sua representação geográfica) no verde, no amarelo ou em cor vermelha. Cada indicador será associado com uma sequência de fluxo particular.

Desde que as variáveis múltiplas são simuladas, alguma prioridade do indicador de cor tem que ser estabelecida. Se alguns dos valores das variáveis simulados estiverem em sua zona vermelha em um nó ou ligação, então esse nó ou ligação será indicado no vermelho. O vermelho

tem a prioridade sobre o amarelo ou o verde. Se nenhum valor variável estiver em sua zona vermelha, o amarelo aparecerá, a menos que todas as variáveis simuladas nesse nó ou ligação estiverem em sua escala satisfatória ou verde. O amarelo tem a prioridade sobre o verde. Uma vez determinado os valores limites iniciais que separam estas três escalas de valores para cada uma das variáveis, deve ser escolhida a alternativa da cor da zona entre as seis opções mostradas na tabela 6.1. Os valores limites iniciais não atribuídos às variáveis são supostos sempre para estarem em sua escala verde.

Depois que o indicador de resultados da simulação está terminado, pode-se verificar o local que apresenta pontos amarelos ou os vermelhos e examinar os valores das variáveis nesse local. Desta maneira é possível detectar a causa do problema e analisar as possíveis soluções.

6.10 - Indicadores Estatísticos

Além dos indicadores dinâmicos, a informação estatística pode também ser indicada para toda variável simulada que tenha os limites iniciais definidos. Estes indicadores estatísticos incluem medidas da confiabilidade e da resiliência.

A confiabilidade de uma variável especificada é a probabilidade de que seu valor esteja na zona (verde) satisfatória ou na zona (amarela) de advertência. Daqui há " uma "confiabilidade verde" e uma "confiabilidade amarela". Ambas são baseadas nos valores médios de cada um dos períodos intranual simulados.

Quanto a confiabilidade verde, esta é geralmente menor do que a confiabilidade amarela. Se forem iguais isto significa que não há nenhum evento "amarelo", ou seja, somente "verde" e possivelmente eventos " vermelhos " se a zona vermelha for junto à zona verde.

A resiliência é uma medida de como rapidamente uma variável tendo um valor em suas zonas vermelhas ou amarelas, obterá um valor em etapas sucessivas de tempo da simulação que esteja em suas zonas amarelas ou verdes respectivamente, ou seja, é a probabilidade que na etapa seguinte do tempo da simulação seu valor entrará em uma zona mais satisfatória.

Se não houver nenhum valor da variável simulada na zona vermelha, então a confiabilidade será amarela e a resiliência vermelha não é definida. Se não houver nenhum valor na zona amarela, então a confiabilidade verde se igualará à confiabilidade amarela e a resiliência amarela não será definida.

Quando os valores de ponto inicial não forem identificados para uma variável particular, as medidas de confiabilidade e da resiliência do desempenho não podem ser definidas para essa variável.

6.11- Distribuições da Probabilidade

O programa IRAS indica as distribuições da probabilidade de indicadores do desempenho da resiliência e da vulnerabilidade. As distribuições da probabilidade de resiliência indicam a probabilidade de várias seqüências contínuas de valores insatisfatórios (na zona vermelha ou zona amarela). As distribuições da probabilidade de vulnerabilidade indicam as probabilidades de vários valores insatisfatórios, ou seja, desvios de valores do ponto inicial verde (para a zona vermelha ou zona amarela) que ocorreram. A resiliência e a vulnerabilidade podem ser indicadas como distribuições incondicionais ou condicionais da probabilidade (histogramas).

As distribuições da probabilidade da resiliência indicam as probabilidades de durações diferentes em uma zona amarela ou vermelha. A duração (número de períodos no ano) de uma seqüência de valores da zona vermelha começa quando as seqüências dos valores entram na zona vermelha após estar em uma das extremidades (zona verde ou zona amarela) e termina quando a seqüência de valores sai da zona vermelha e entra na zona amarela ou verde. Em casos onde a zona vermelha é adjacente à zona amarela, a duração de uma seqüência de valores da zona amarela começa quando a seqüência sai primeiro da zona verde e entra em uma das extremidades, ou seja, na zona vermelha ou amarela e termina quando essa seqüência de valores que pode estar na zona amarela ou vermelha entrar na zona verde. As seqüências de valores da zona amarela incluem qualquer (toda) parte que estiver na zona vermelha (junto a zona amarela) antes de entrar na zona verde.

As distribuições da probabilidade de vulnerabilidade indicam as probabilidades de extensões (magnitudes) diferentes de valores insatisfatórios (zona amarela ou vermelha). As distribuições de probabilidade de vulnerabilidades amarelas mostram as probabilidades de diferenças absolutas entre valores variáveis na zona amarela e na zona vermelha adjacente, se aplicável e valores do limite mais próxima (valor do ponto inicial) que separa a zona verde e amarela. As distribuições da probabilidade de vulnerabilidade vermelhas mostram as probabilidades de diferenças absolutas entre valores da zona vermelha e valores dos limites mais

próximos (valor de ponto inicial) que separa a zona vermelha da zona amarela e verde.

Ambas as distribuições da resiliência e da vulnerabilidade podem ser indicadas como distribuição de probabilidade incondicional ou condicional (histogramas).

A distribuição incondicional trabalha com a média de valores do período intranual, enquanto que a distribuição condicional trabalha somente com valores que estão em uma zona amarela ou vermelha. As durações não satisfatórias de valores para resiliência e os valores não satisfatórios das magnitudes para vulnerabilidade podem ser divididas em 10 escalas discretas.

7 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do modelo incluem os valores que cada variável simulada assume ao longo da simulação e podem ser visualizados através de uma listagem de valores ou através de vários gráficos. O programa calcula ainda os vários índices e funções que indicam o nível com que os objetivos da operação do sistema foram satisfeitos. Definidos os níveis de fornecimento de água, de volume armazenado, de vazão escoada, de energia produzida ou de concentração de cargas poluentes e, para cada um destes objetivos o programa calcula índices de confiabilidade e de resiliência, assim como funções de probabilidade de resiliência e de vulnerabilidade.

O índice de confiabilidade ou garantia é calculado a partir do número de vezes simulados que os objetivos foram satisfeitos. Caso não seja satisfeito, o objetivo de operação do sistema diz-se que ocorreu uma falha.

$$\text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\text{nº de valores simulados na zona insatisfatória}}{\text{nº de períodos simulados}} \quad (7.1)$$

A resiliência é uma medida da variável se encontrar no próximo período de tempo numa zona mais satisfatória, estando neste período de tempo numa zona insatisfatória ou de alerta. Esta estatística tenta medir a capacidade do sistema de recuperar-se de uma situação não satisfatória em que se encontra.

Deste modo são construídas as seguintes estatísticas (amarelo e vermelha) para os resultados da simulação:

$$\text{resiliência}'' = \frac{\text{nº de vezes que um valor na zona insatisfatória foi seguido de um valor na zona satisfatória}}{\text{nº de valores simulados na zona insatisfatória}} \quad (7.2)$$

Após a escolha das opções da tabela 6.1 do capítulo seis, que neste caso particular é a opção 1 para o armazenamento e 2 para os demais parâmetros, é feita a simulação para as opções descritas no quadro 6.7 do capítulo 6, com as configurações do sistema simulado conforme mostradas nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3 do capítulo 6, as opções em relação às distribuições mensais

dos consumos para a simulação ficaram assim feitas; na figura 6.1 a distribuição dos consumos mensais são: Irrigação I1 (165 milhões de m³), Algarve A2 (16,7 milhões de m³) e ecológico E2 (5,0 milhões de m³); para a figura 6.2 os consumos são: Irrigação I2 (100 e 230 milhões de m³), Algarve e Espanha A1 (33,3 milhões de m³) e Ecológico E1; finalmente a figura 6.3 tem a seguinte distribuição: Irrigação I3, (330 milhões de m³) Algarve e Espanha A3 e Ecológico E2 (5 milhões de m³); o abastecimento urbano e industrial é o mesmo para as três simulações feitas. O melhor desempenho apresentado foi para a configuração e dados utilizados na figura 6.1 e o indicador de resultados detecta pontos vermelhos nos seguintes locais: reservatório de Alqueva, local do consumo de irrigação, Algarve e da vazão ecológica; o único ponto amarelo foi no local do consumo urbano e industrial.

Sendo assim é feita a apresentação da estatística em relação à confiabilidade e resiliência destes locais.

A confiabilidade amarela do reservatório de Alqueva foi de 98%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em somente 2% dos 38 anos simulados, sendo esta a zona amarela da alternativa 1, ou seja, a zona superior, caracterizando-se assim uma confiabilidade bastante boa em relação ao aproveitamento hidrelétrico de Alqueva

A confiabilidade verde do reservatório de Alqueva é de 23% em relação a zona média da opção 1 escolhida.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 1 para a zona verde ou intermediária é de 28% ou seja, uma percentagem pequena. Em relação à recuperação do sistema da zona verde para a zona amarela da resiliência é de 0,29%, ou seja praticamente desprezível. A Figura 7.1 mostra os índices de confiabilidade e de resiliência no reservatório de Alqueva; a figura 7.2 indica o volume armazenado em Alqueva para os limites e zonas escolhidos; a figura 7.3 apresenta o escoamento afluente do reservatório de Alqueva e a figura 7.4 ilustra o escoamento efluente do reservatório de Alqueva para a regra de operações escolhida no capítulo 6.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

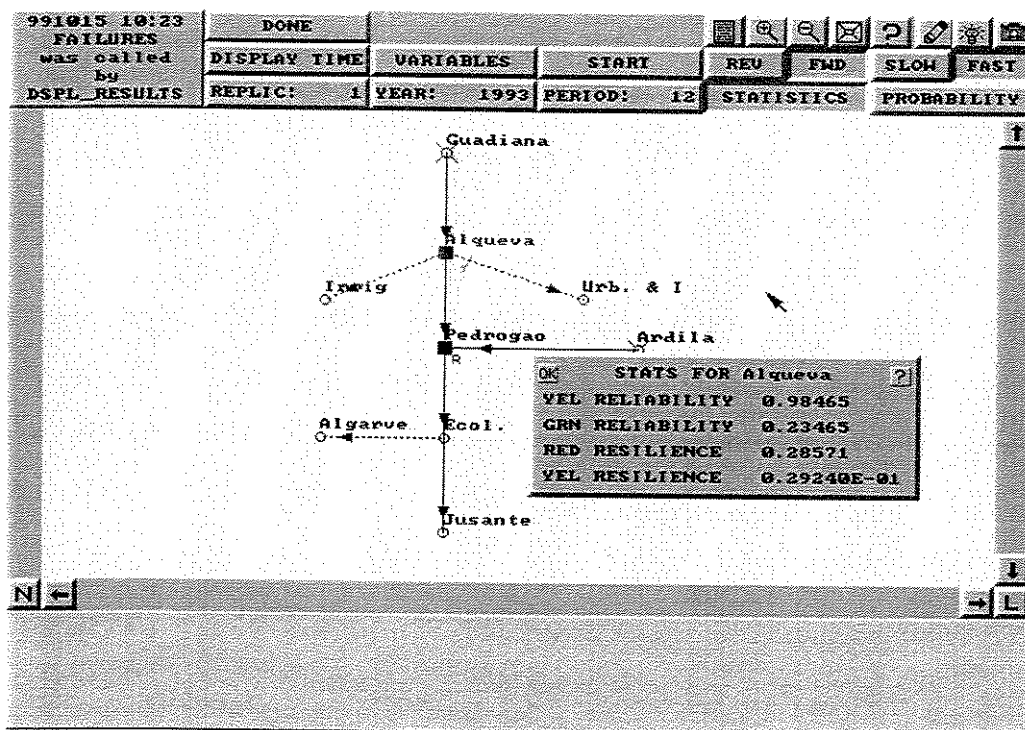


Figura 7.1 – Índices de confiabilidade e resiliência em Alqueva

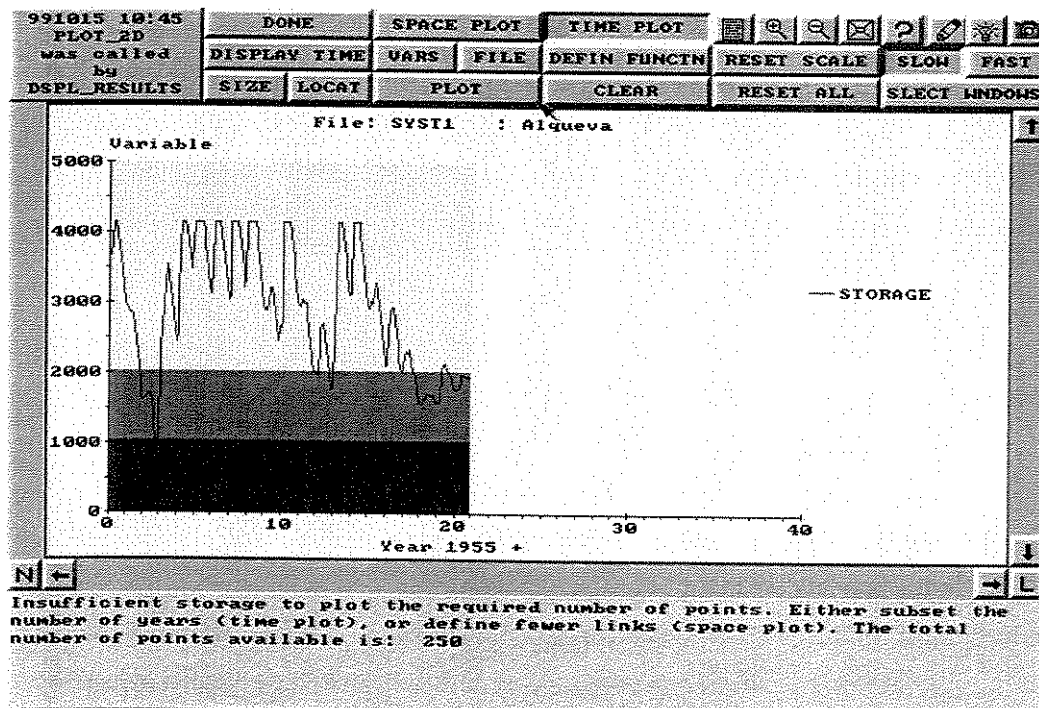


Figura 7.2 – Volume armazenado em Alqueva

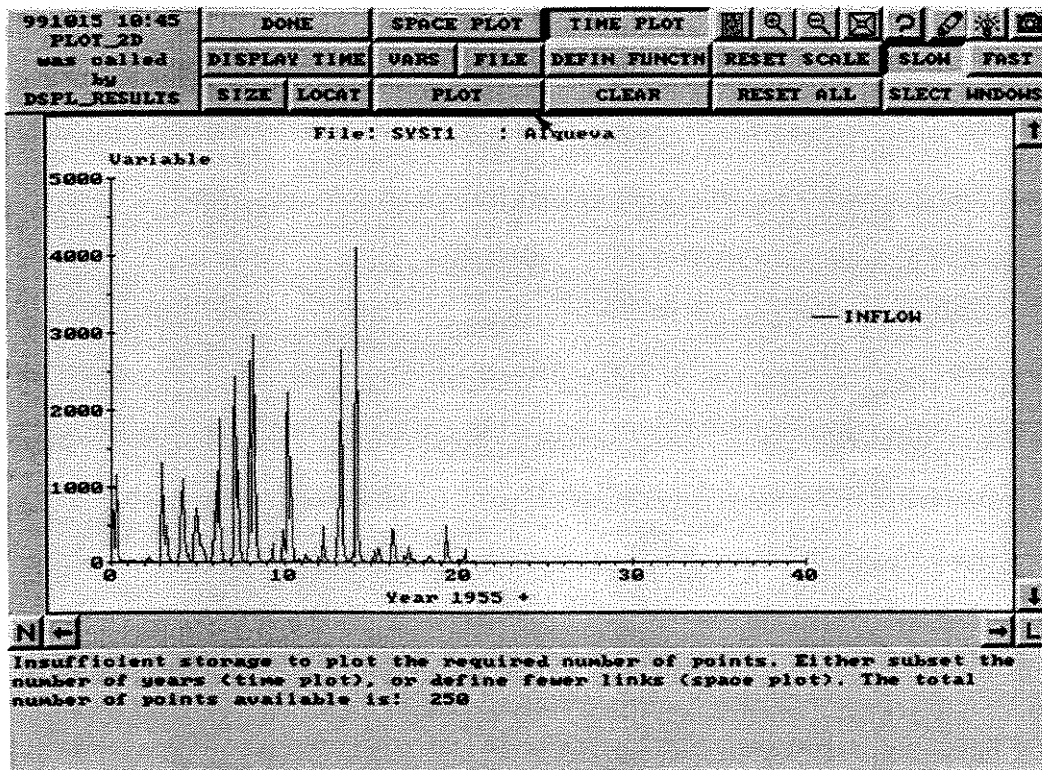


Figura 7.3 – Escoamento afluente no reservatório de Alqueva

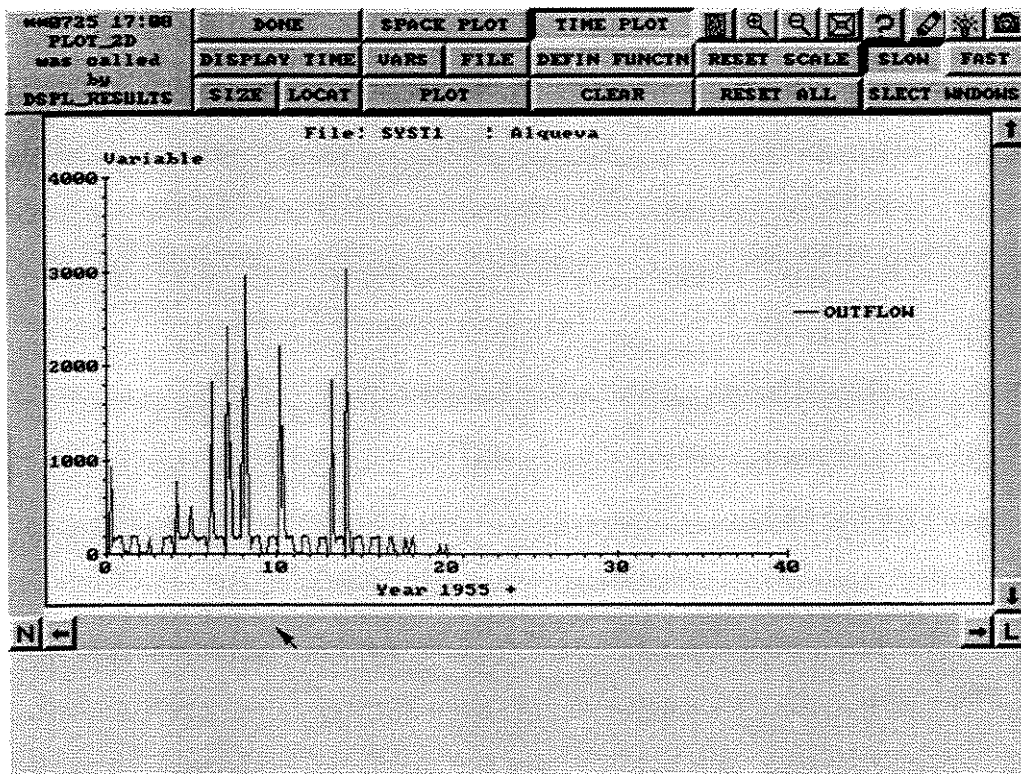


Figura 7.4 – Escoamento efluente do reservatório de Alqueva

A confiabilidade amarela do reservatório de Pedrogão foi de 73%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 27% dos 38 anos simulados, sendo esta a zona amarela da alternativa 1 ou seja a zona superior, caracterizando-se assim uma confiabilidade razoável em relação ao reservatório de Pedrogão.

A confiabilidade verde do reservatório de Pedrogão é de 28% em relação a zona média da opção 1 escolhida.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 1 para a zona verde ou intermediária é também de 28% ou seja, uma percentagem pequena. Em relação à recuperação do sistema da zona verde para a zona amarela da resiliência é de 16%. A Figura 7.5 mostra os índices de confiabilidade e de resiliência no reservatório de Pedrogão; a figura 7.6 indica o volume armazenado em Pedrogão para os limites e zonas escolhidos; a figura 7.7 apresenta o escoamento afluente do reservatório de Pedrogão e a figura 7.8 ilustra o escoamento efluente do reservatório de Pedrogão para a regra de operações escolhida no capítulo 6.

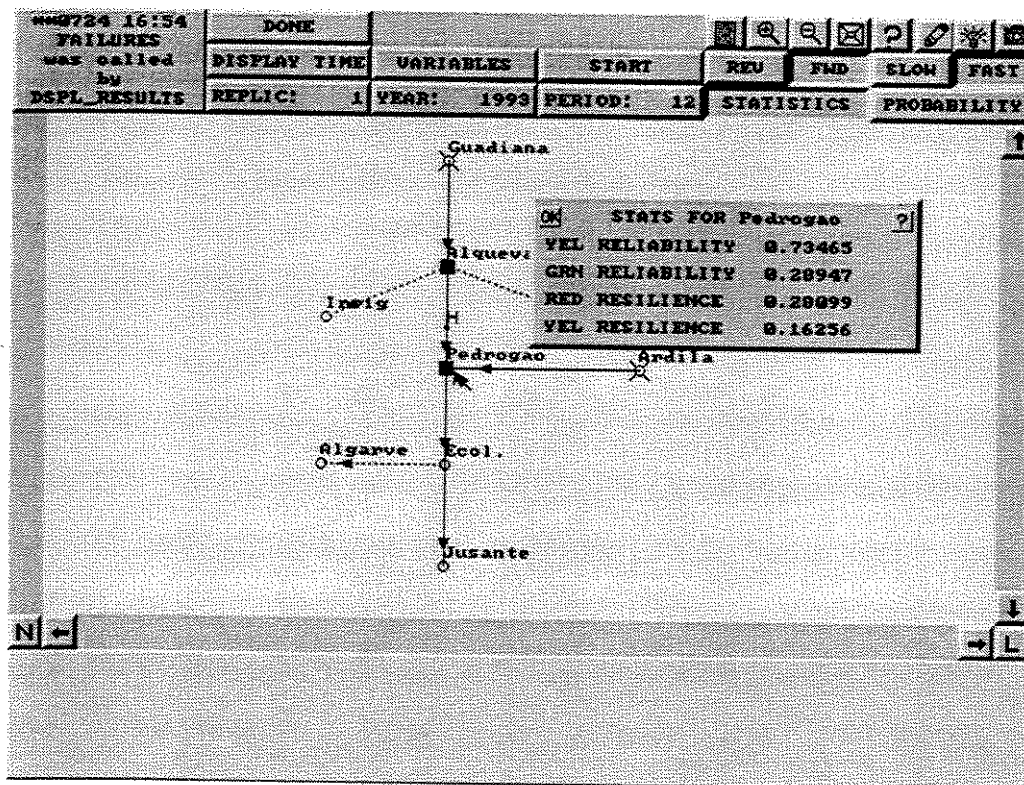


Figura 7.5 – Índices de confiabilidade e resiliência em Pedrogão

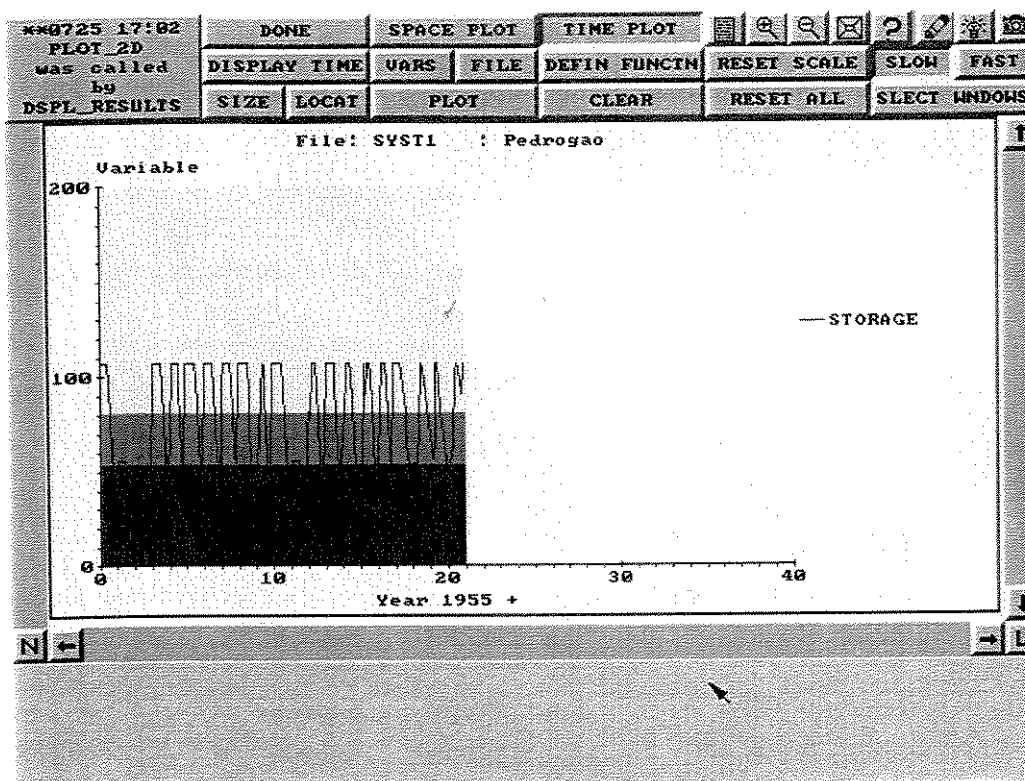


Figura 7.6 – Volume armazenado em Pedrogão

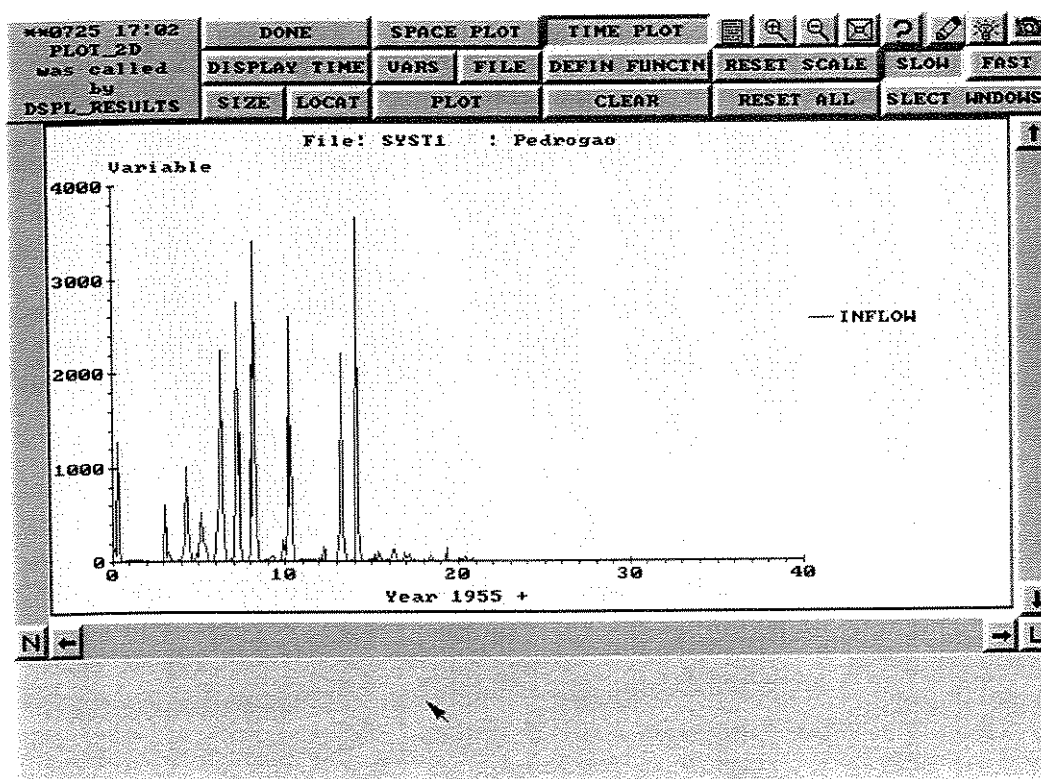


Figura 7.7 – Escoamento afluente no reservatório de Pedrogão

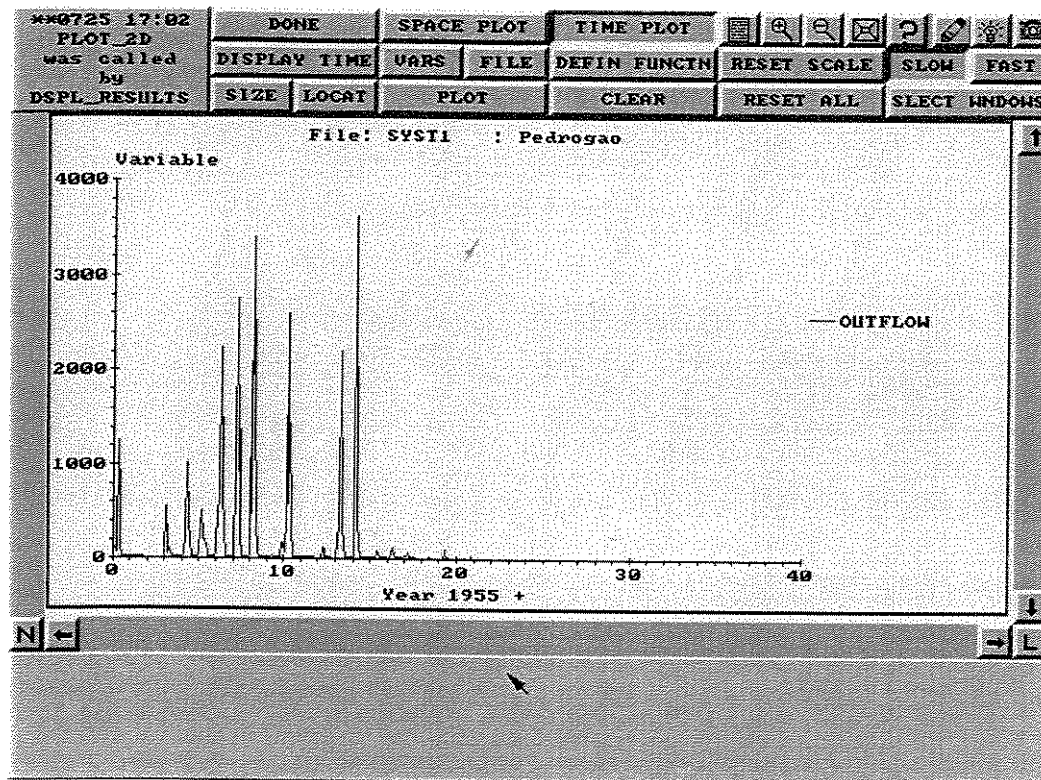


Figura 7.8 – Escoamento efluente no reservatório de Pedrogão

Em relação ao consumo de irrigação no “sistema” de Alqueva este apresenta uma confiabilidade amarela de 81%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 19% dos 38 anos simulados na zona amarela, ou seja, a zona intermediária.

A confiabilidade verde do consumo para irrigação é de 80% em relação a zona superior da opção 2 escolhida da tabela 6.1 do capítulo 6.

Os dois valores registrados, ou seja, 80% para a zona superior e 81% para a zona intermediária estão compatíveis com os valores definidos por Vaz (1984), para os valores de consumo para irrigação.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 2 para a zona amarela ou intermediária é de 47% ou seja, uma porcentagem média. Em relação à recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde da resiliência é de 40%, mantendo uma recuperação um pouco abaixo da média em relação ao consumo de irrigação. A Figura 7.9 mostra os índices de confiabilidade e de resiliência para o consumo de irrigação no “sistema” Alqueva.

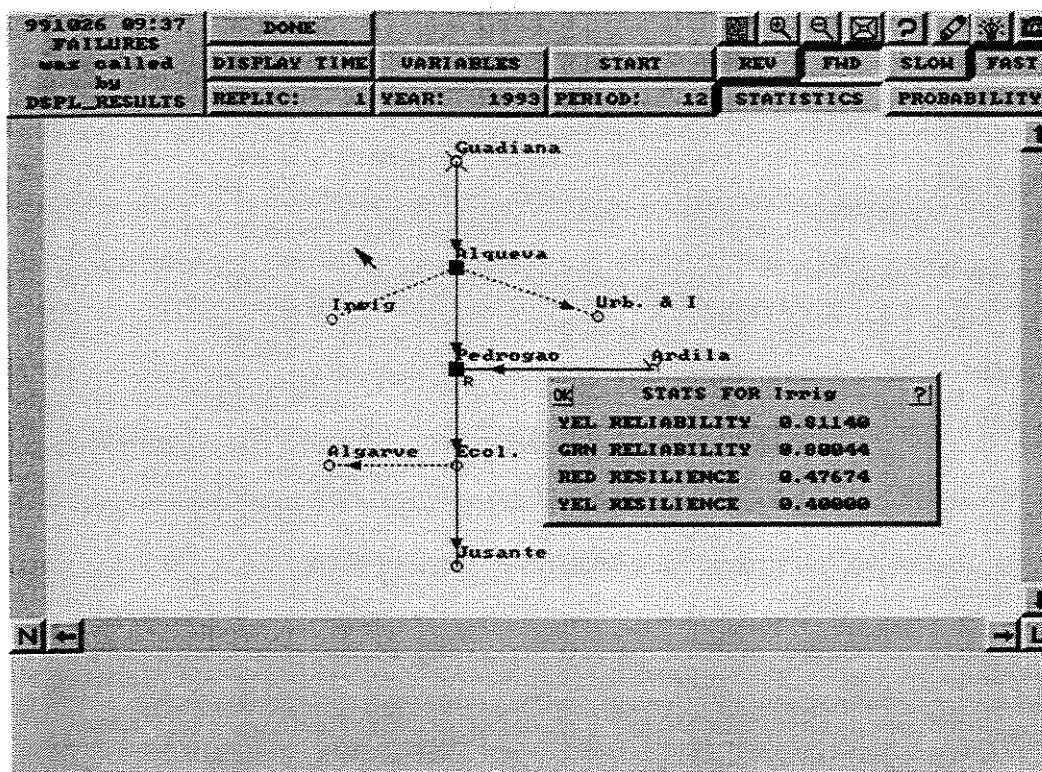


Figura 7.9 - Índices estatísticos para o consumo de irrigação

Em relação ao volume descarregado para o consumo no Algarve, este apresenta uma confiabilidade amarela de 34%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 66% dos 38 anos simulados na zona amarela, ou seja, a zona intermediária.

A confiabilidade verde para o Algarve é de 33% em relação a zona superior da opção 2 escolhida da tabela 1 do capítulo 5.

Os dois valores registrados, ou seja, 34% para a zona superior e 31% para a zona intermediária estão muito aquém dos objetivos a serem atingidos.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 2 para a zona amarela ou intermediária é de 11% apresentando uma percentagem pequena. Em relação à recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde da resiliência é de 66%, mantendo uma recuperação acima da média em relação ao consumo no Algarve e eventualmente ao sul de Espanha. A Figura 7.10 demonstra os índices de confiabilidade e de resiliência para o consumo no Algarve.

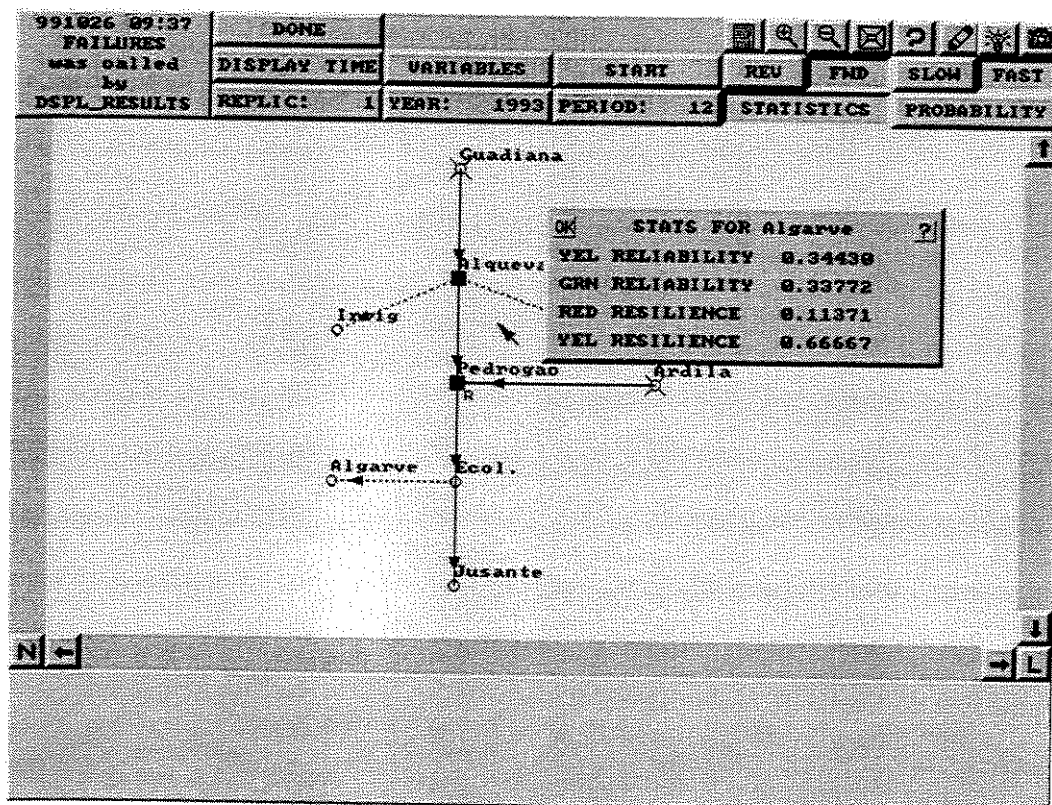


Figura 7.10 – Confiabilidade e resiliência para o consumo no Algarve

Em relação à vazão ecológica, esta apresenta uma confiabilidade amarela de 98%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 2% dos 38 anos simulados na zona amarela, ou seja, a zona intermediária.

A confiabilidade verde para a vazão ecológica é de 86% em relação a zona superior da opção 2 escolhida da tabela 6.1 do capítulo 6.

Os dois valores registrados, ou seja, 86% para a zona superior e 98% para a zona intermediária, são considerados muito satisfatórios em relação aos objetivos a serem atingidos.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 2 para a zona amarela ou intermediária é de 25%, ou seja, uma porcentagem pequena. Em relação a recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde da resiliência é de 18%, mantendo uma recuperação baixa da resiliência nestas duas zonas. A Figura 7.11 indica os índices de confiabilidade e de resiliência para a vazão ecológica.

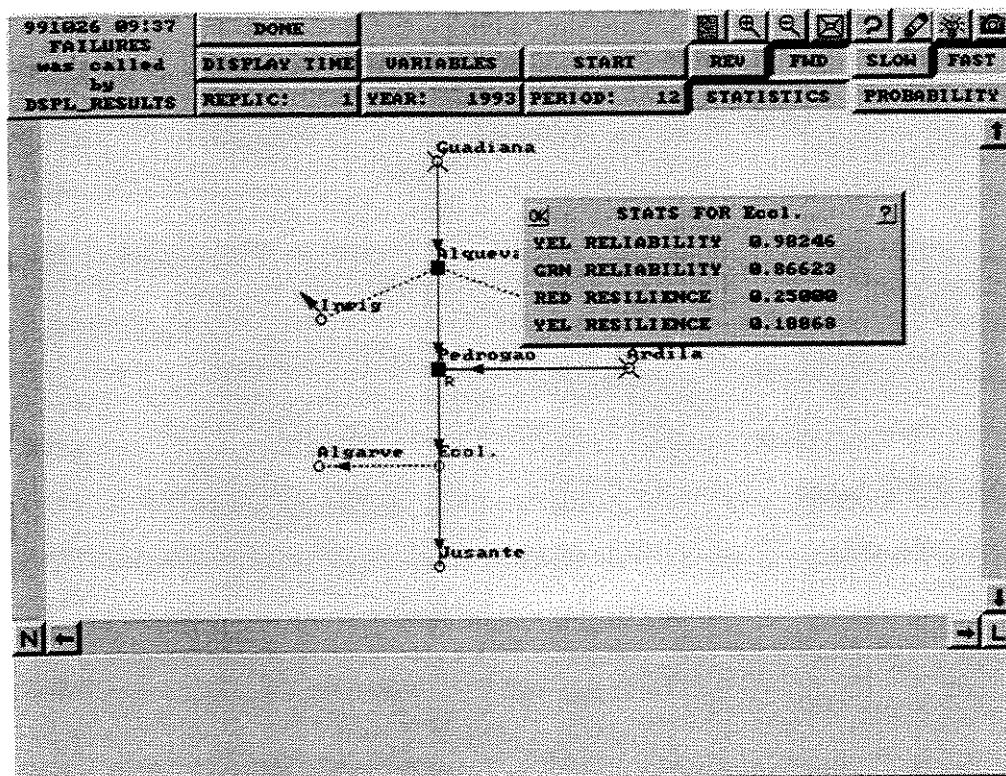


Figura 7.11 – Índices estatísticos para a vazão ecológica

Em relação à geração de energia elétrica, esta apresenta uma confiabilidade amarela de 44%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 56% dos 38 anos simulados na zona amarela ou seja a zona intermediária.

A confiabilidade verde para a geração de energia é de 43% em relação a zona superior da opção 2 escolhida da tabela 6.1 do capítulo 6.

Os dois valores registrados, ou seja, 44% para a zona superior e 43% para a zona intermediária são considerados resultados médios em relação aos objetivos a serem atingidos.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 2 para a zona amarela ou intermediária é de 18%, ou seja, uma porcentagem pequena. Em relação a recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde da resiliência é de 6%, mantendo uma recuperação muito pequena da resiliência nestas duas zonas. A Figura 7.12 indica os índices de confiabilidade e de resiliência para a geração de energia elétrica em Alqueva.

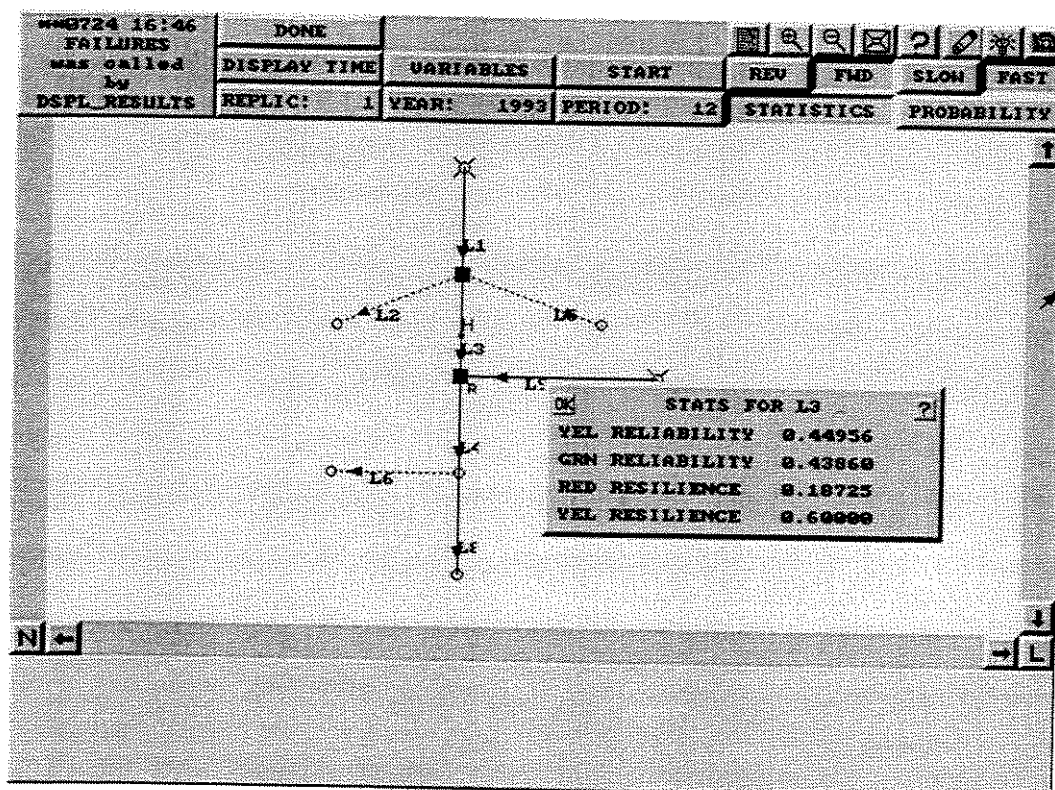


Figura 7.12 – Índices estatísticos da geração de energia elétrica em Alqueva

Em relação ao consumo urbano e industrial, único ponto amarelo detectado na simulação, apresenta uma confiabilidade amarela de 91%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não foram atingidos em 9% dos 38 anos simulados na zona amarela ou seja a zona intermediária.

A confiabilidade verde para o consumo urbano e industrial foi de 91% em relação a zona superior da opção 2 escolhida da tabela 6.1 do capítulo 6.

Os dois valores registrados, ou seja, 91% para a zona superior e para a zona intermediária são considerados resultados altamente satisfatórios em relação aos objetivos a serem atingidos.

A resiliência para a recuperação do sistema quando este se encontra na zona vermelha ou zona baixa da opção 2 para a zona amarela ou intermediária é de 97%, ou seja, uma porcentagem muito boa. Em relação à recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde da resiliência não se justifica pelas altas porcentagens apresentadas, sendo este o motivo deste ponto ter ficado na zona amarela. A Figura 7.13 indica os índices de confiabilidade e de resiliência para o consumo urbano e industrial.

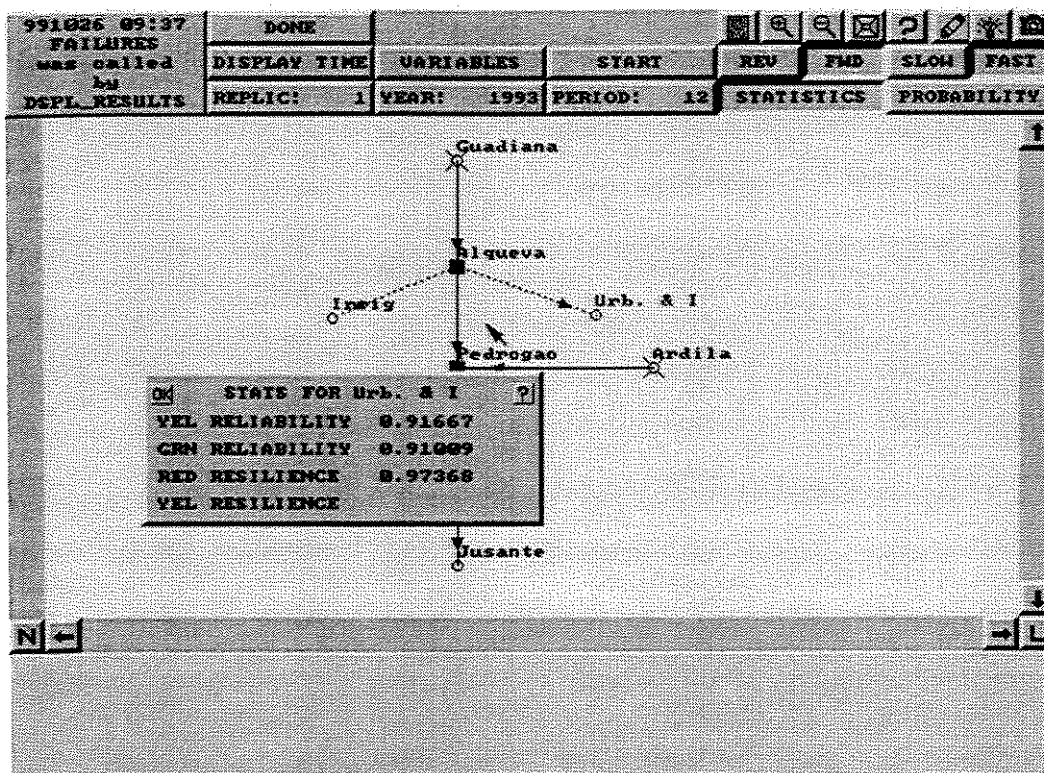


Figura 7.13 – Estatística do consumo urbano e industrial

7.1 – Vulnerabilidade

A vulnerabilidade do “sistema” Alqueva pode ser descrita como uma medida da dimensão da falha de um dado objetivo e é definida pela diferença entre o objetivo e o nível atingido.

Ainda é possível estimar uma função de frequência de vulnerabilidade que indica a frequência de ocorrência de seqüências de falhas sucessivas de fornecimento com várias durações. Uma seqüência de falhas começa no período de tempo em que o valor da variável entra na zona insatisfatória depois de ter estado na zona satisfatória e termina quando a seqüência de valores abandona a zona insatisfatória e entra novamente na satisfatória. A duração de uma seqüência deste tipo é o número de períodos que constitui a seqüência.

Quando se estima uma função de frequência de vulnerabilidade, isto indica a frequência de ocorrência de falhas de fornecimento com várias magnitudes. A distribuição de frequências de vulnerabilidade indica a frequência do valor absoluto da diferença entre o valor da variável na zona insatisfatória e o valor limiar que separa a zona insatisfatória da zona satisfatória.

O modelo IRAS calcula índices e curvas de vulnerabilidade e de resiliência para os diversos usos de água que completam a descrição do comportamento do sistema. A Figura 7.14 apresenta o armazenamento em Alqueva na forma de gráficos para o reservatório de Alqueva. Na Figura 7.14 pode-se definir como “Advertência ou Warning”, uma falha de abastecimento de menos de 25 % do objetivo do consumo definido e também quando mais de 75 % do volume requerido é satisfeito; e como “Falha ou Failure”, uma falha de mais de 25 % do objetivo de consumo. Em relação ao armazenamento no reservatório de Alqueva a figura mostra que no canto superior esquerdo apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência, indicando a probabilidade de ocorrência de falhas de advertência com uma duração máxima de 70% para um período de aproximadamente 100 (meses). No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de advertência de vulnerabilidade com diversas magnitudes do armazenamento, com probabilidade máxima de 15% correspondente à magnitude de 1200 e ocorreu advertência e falha para a magnitude de 400 com advertência máxima de 12%. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de falha e advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 45% correspondente a magnitude de aproximadamente $1,6 \times 10^5$. No canto inferior direito apresenta-se a probabilidade condicionada de falha de advertência de resiliência com probabilidade máxima de 90% para o período de aproximadamente 100. Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para o armazenamento do reservatório de Alqueva.

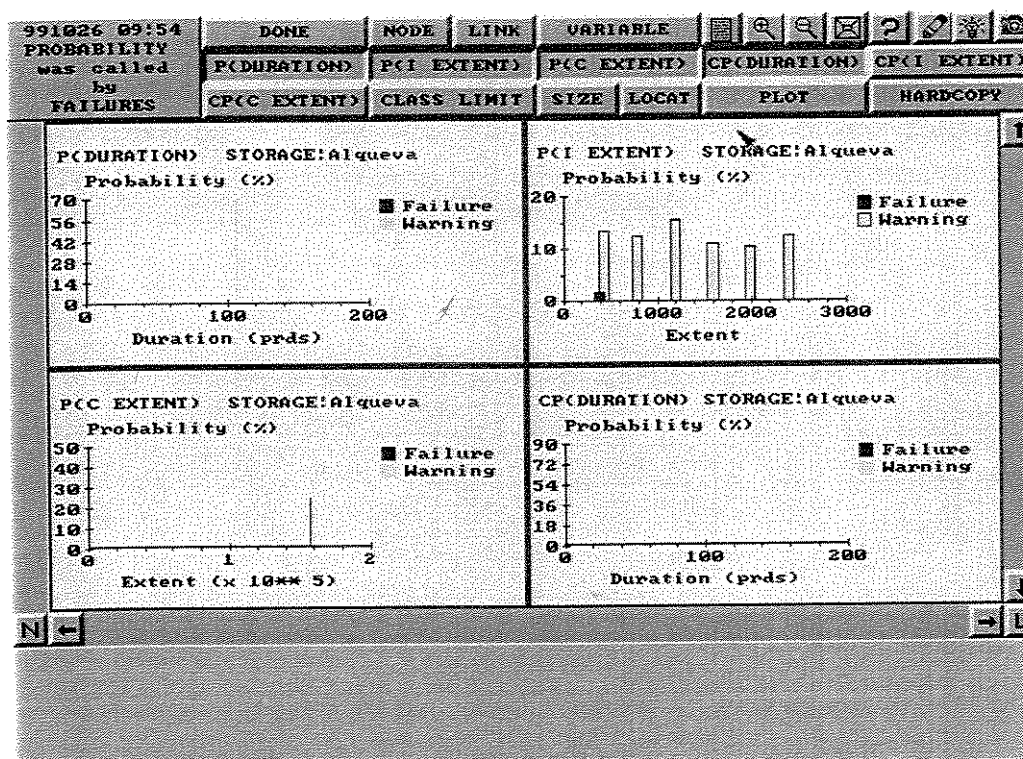


Figura 7.14 – Probabilidade em relação ao armazenamento de Alqueva

Em relação ao armazenamento no reservatório de Pedrogão a figura 7.15 mostra que no canto superior esquerdo apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de falhas e advertências com diversas durações em até dezenove períodos (meses). Para os períodos de 1 a 6 ocorreram advertências e falhas máximas de 5% e 9% respectivamente. Os períodos de 7 a 9 apresentam advertências com probabilidade máxima de 12%. No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade com diversas magnitudes para o armazenamento, com probabilidade máxima de 31% correspondente à magnitude de 30 e ocorreu advertência e falha para a magnitude de 6 com advertência máxima de 25%. No canto inferior esquerdo indica-se as probabilidades de ocorrência de falha de vulnerabilidade consecutivas que no seu conjunto totalizam para diversas magnitudes com probabilidade máxima de 20% correspondente a magnitude de 200. No canto inferior direito, apresenta-se a probabilidade condicionada de falhas de resiliência para diversas durações com probabilidade máxima de advertência de 18% para o período 9. Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para o armazenamento do reservatório de Pedrogão.

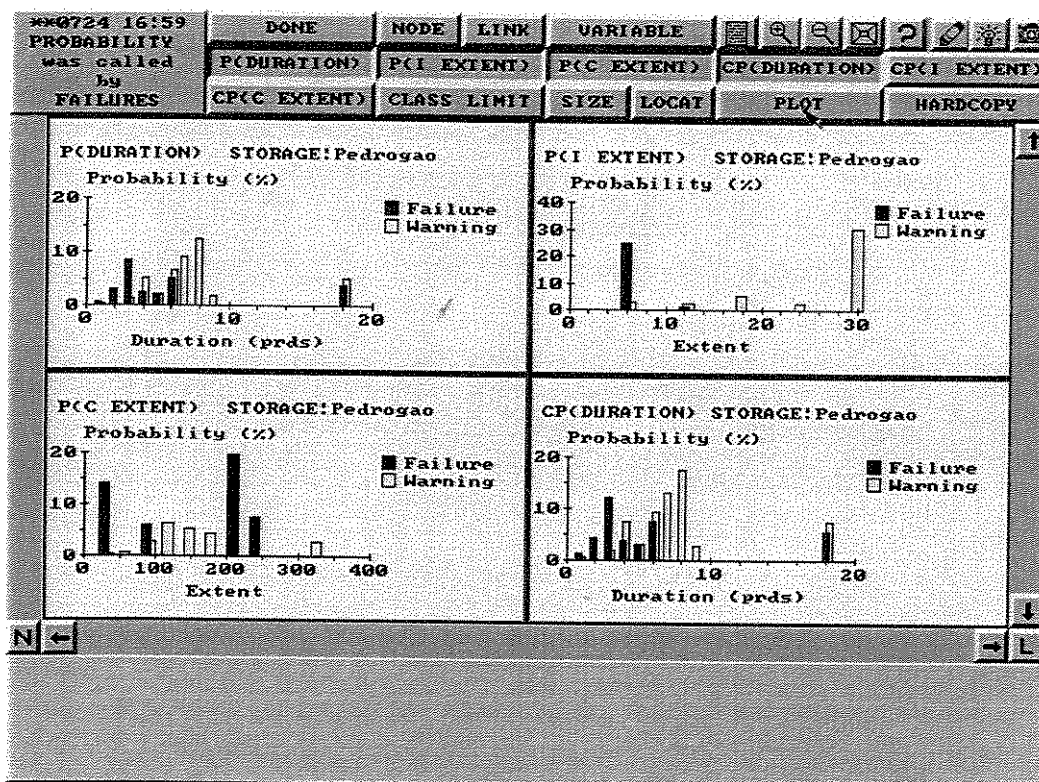


Figura 7.15 – Probabilidade em relação ao armazenamento de Pedrogão

Em relação a afluência para a irrigação a figura 7.16 mostra que no canto superior esquerdo da figura apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de falhas com diversas durações em cinco períodos (meses). Para o primeiro período ocorreu advertência e falha de 0,5 e 5% respectivamente. Os períodos de 2, 4 e 7 apresentam falhas com probabilidades variadas, sendo a probabilidade máxima de 7% correspondente ao período 7. No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade para diversas magnitudes do fluxo, com probabilidade máxima de 15% correspondente à magnitude de 180. No canto inferior esquerdo apresentam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade consecutivas que no seu conjunto totalizam para diversas magnitudes com probabilidade máxima de 9% correspondente à magnitude de aproximadamente 1200. No canto inferior direito, apresenta-se a probabilidade condicionada de falhas de resiliência para diversas durações com probabilidade máxima de aproximadamente 32% para o período 7.

Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para a afluência na irrigação considerada.

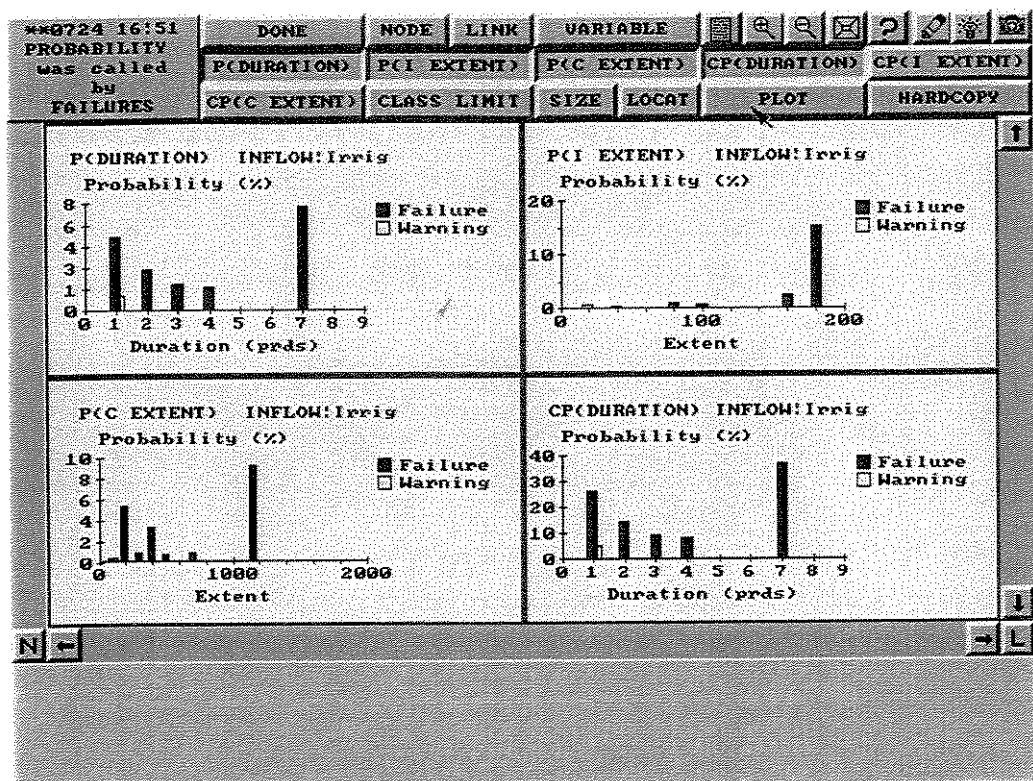


Figura 7.16 – Probabilidade de afluências no sistema de irrigação

Em relação a afluência para o Algarve e Espanha a figura 7.17 mostra que no canto superior esquerdo da figura apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de falhas com diversas durações em vinte períodos (meses). Para períodos de 1 a 9 ocorreram advertências e falhas máximas de 0,5 e 0,6% respectivamente. O vigésimo período apresenta falha com probabilidade máxima de 16%. No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade para diversas magnitudes do fluxo, com probabilidade máxima de 20% correspondente à magnitude de 12. No canto inferior esquerdo, apresentam-se as probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade consecutivas que no seu conjunto totalizam para diversas magnitudes, com probabilidade máxima de 22% correspondente à magnitude de aproximadamente 220. No canto inferior direito, apresenta-se a probabilidade condicionada de falhas de resiliência para diversas durações, com probabilidade máxima de aproximadamente 47% para o período 20.

Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para a afluência no Algarve e Espanha.

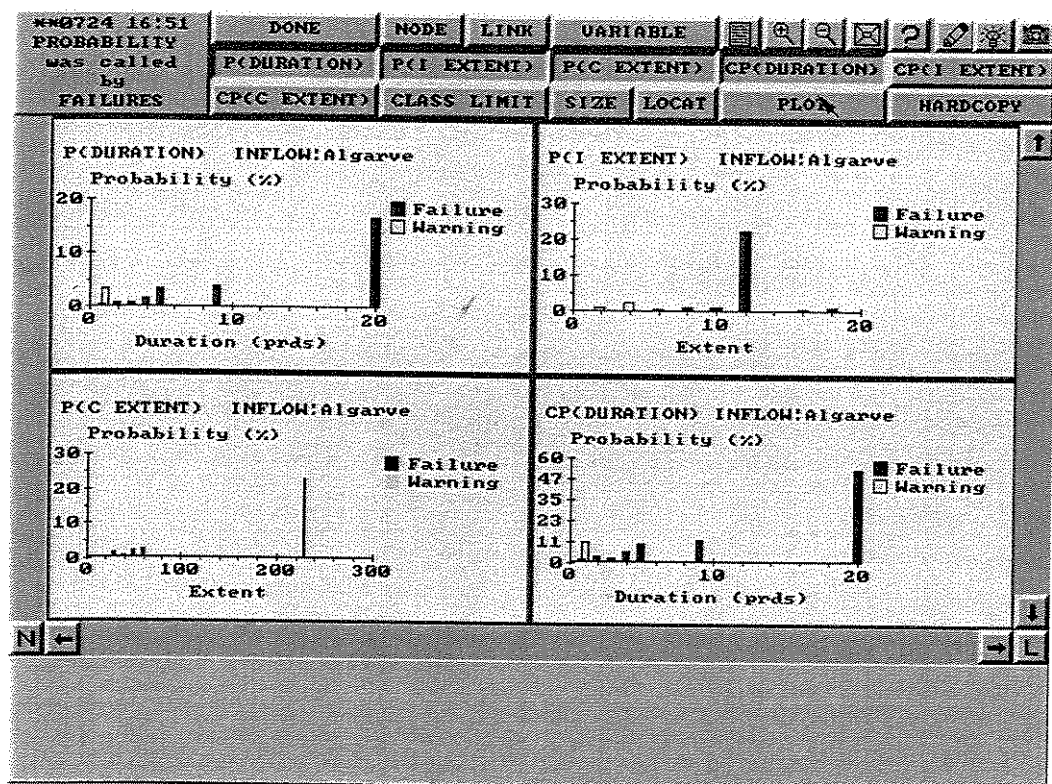


Figura 7.17 – Probabilidade das afluências em Algarve e Espanha

Em relação a afluência do volume ecológico, a figura 7.18 mostra que no canto superior esquerdo da figura apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências e falhas com diversas durações em doze períodos (meses). Para períodos de 1 a 7 ocorreram advertências e falhas máximas de 2,5 e 1% respectivamente. O período 12 apresenta advertência com probabilidade máxima de 9%. No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de advertência de vulnerabilidade para magnitudes do fluxo com probabilidade máxima de 14% correspondente à magnitude de 0,5. No canto inferior esquerdo apresentam-se as probabilidades de ocorrência de falhas e advertências de vulnerabilidade consecutivas que no seu conjunto totalizam para diversas magnitudes com probabilidade máxima de 7% correspondente à magnitude de aproximadamente 3. No canto inferior direito, apresentam-se a probabilidade condicionada de falhas e advertências de resiliência para diversas durações, com probabilidade máxima de aproximadamente 42% para o período 12.

Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para a afluência no volume ecológico.

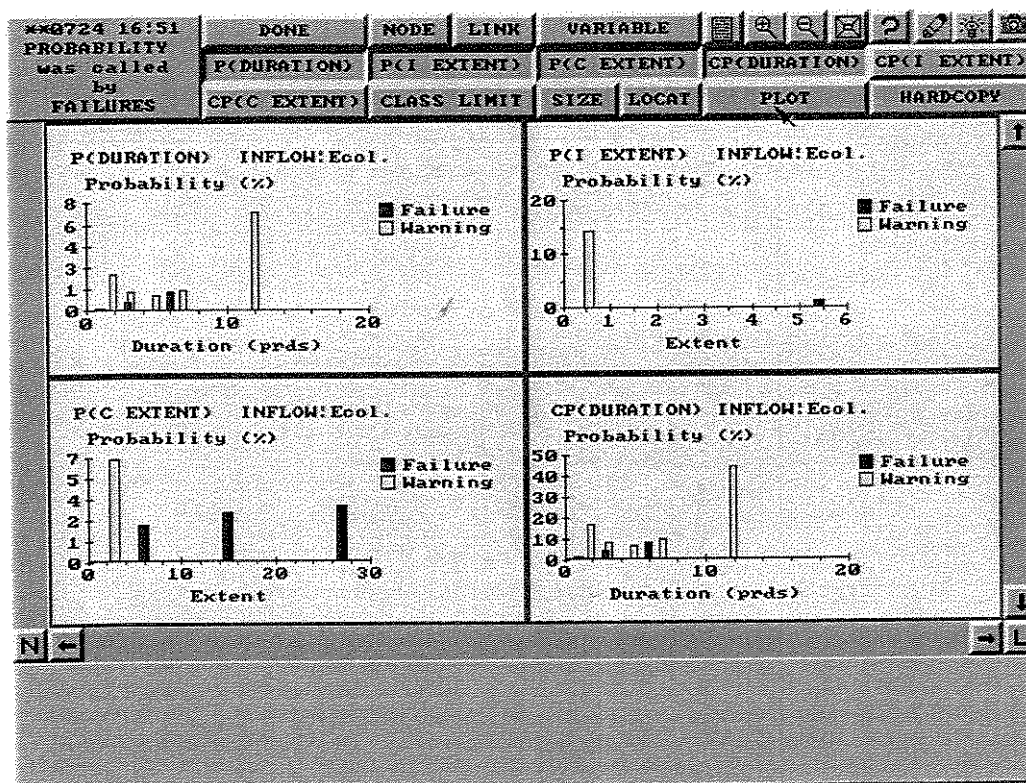


Figura 7.18 – probabilidade das afluições em relação ao volume ecológico

Em relação a afluição para o abastecimento urbano e industrial a figura 7.19 mostra que no canto superior esquerdo da figura apresenta-se a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências com durações em dois períodos (meses). Para período 2, ocorreu advertência de 0,42% e no período 3 ocorreu advertência de 0,62%. No canto superior direito, indicam-se as probabilidades de ocorrência de advertência de vulnerabilidade para magnitudes do fluxo com probabilidade máxima de 0,62% correspondente à magnitude de 0,4. No canto inferior esquerdo, apresenta-se a probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade consecutivas que apresenta magnitude com probabilidade de 1% correspondente à magnitude de aproximadamente 1. No canto inferior direito, apresenta-se a probabilidade condicionada de advertências de resiliência para diversas durações, com probabilidade máxima de aproximadamente 56% para o período 3.

Este gráfico indica qual a probabilidade de ocorrer uma falha de abastecimento com uma dada duração com a ocorrência de uma falha para a afluição no abastecimento urbano e industrial considerado neste estudo.

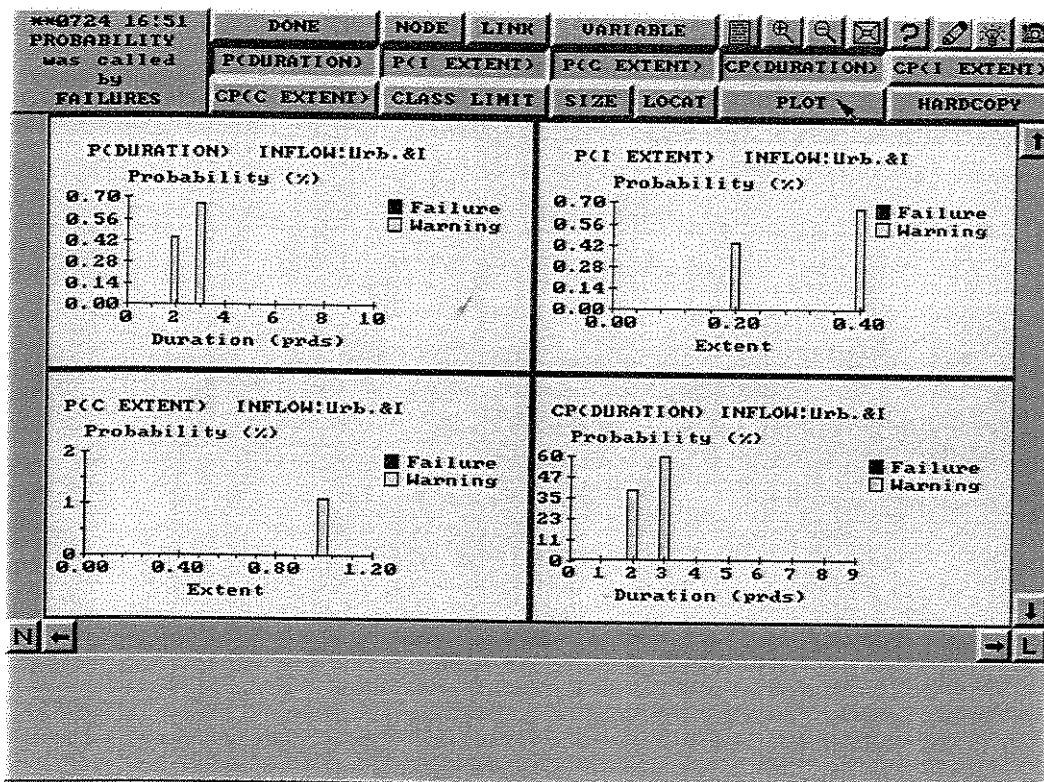


Figura 7.19 - Probabilidade das afluências em relação ao volume urbano e industrial

7.2 – Resultados do Balanço Hidrológico Proposto no Algoritmo

As tabelas 7.1 a 7.18 no Apêndice, apresentam os níveis de garantia de abastecimento obtidos para os diversos cenários considerados (figura 6.7) e para as duas séries de escoamento. Entende-se como nível de garantia, o número de meses (em porcentagem) em que os objetivos de fornecimento são cumpridos. É por satisfação de consumo, o volume de água fornecido durante todo o período de simulação em porcentagem dos objetivos de fornecimento. As tabelas do anexo indicam também o volume V^* a que corresponde o nível N^* , abaixo do qual só são efetuadas descargas para abastecer o consumo urbano e industrial e para garantir as vazões ecológicas mínimas.

As tabelas do apêndice apresentam simulações com valores de V^* que garantem o abastecimento urbano e industrial com um nível de garantia e uma porcentagem de satisfação de 100 %. O valor de V^* varia entre $1324 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $1522 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De acordo com as simulações realizadas, a percentagem de satisfação da irrigação varia entre 84 % e 92 % para a série de 1952/53 a 1989/90 e entre 68 % e 83 % para a série de 1980/81 a 1989/90 se o consumo urbano e industrial for garantido a 100 %.

A percentagem de satisfação do consumo da irrigação reduz-se a medida que se concentra o abastecimento em poucos meses, mas este decréscimo não é muito significativo enquanto esta concentração não for excessiva. As percentagens de satisfação da irrigação mais baixas ocorrem para a hipótese pessimista “Irrigação 3”, na qual os consumos são concentrados em 3 meses consecutivos, sendo as percentagens de satisfação mais altas são para as hipóteses “Irrigação 1” e “Irrigação 2”. Se for eliminado o caso extremo da hipótese “Irrigação 3”, as percentagens de satisfação do consumo para irrigação são sempre superiores a 84 % para a série de 1952/53 a 1989/90, e a 68 % para a série de 1980/81 a 1989/90.

No que diz respeito às percentagens de satisfação do consumo no Algarve e em Espanha, estas não variam significativamente com as diversas hipóteses consideradas sobre a distribuição de irrigação. Estas percentagens de satisfação dependem essencialmente dos níveis de consumo no Algarve e em Espanha. O nível de satisfação é em média 86 % para um consumo de 400×10^6 m³ e cerca de 91 % para um consumo de 200×10^6 m³ para a série 1952/53-1989/90, sendo que estes valores são de 76 % para um consumo em Algarve e Espanha de 400×10^6 m³ e 83 % para um consumo de 200×10^6 m³ para a série 1980/81-1989/90. Estas percentagens são ligeiramente superiores se for garantida uma vazão mínima ecológica de 5×10^6 m³ ao mês, assumindo-se que as descargas realizadas por razões ecológicas podem ser utilizadas a jusante para abastecer o Algarve e o sul de Espanha.

Eliminando-se a hipótese “Irrigação 3”, nota-se que as percentagens de satisfação do consumo urbano e industrial e do consumo para irrigação são semelhantes para as hipóteses “Algarve 2” e “Algarve 3”. Só se a hipótese “Algarve 1” for considerada é que estes valores baixam um pouco. Isto indica que o rio Ardila tem afluências suficientes para garantir 200×10^6 m³ de água ao Algarve por ano, sem que o reservatório de Alqueva tenha de fornecer grandes quantidades de água. Só se for necessário fornecer 400×10^6 m³ de água é que o reservatório de Alqueva terá de fornecer grandes quantidades de água, o que afeta a sua capacidade para garantir outros usos de água.

Finalmente, a exigência de uma vazão ecológica mínima de 5×10^6 m³ ao mês não parece afetar significativamente a capacidade de fornecimento de água para os outros consumos, o que é

explicado pelo fato que na maioria dos meses a vazão mínima ecológica é satisfeita pelas descargas realizadas para abastecer o Algarve e o sul de Espanha.

Para o cenário mais provável, ou seja, E2-I1-A2 que admite um consumo urbano e industrial anual de $100 \times 10^6 \text{ m}^3$, um consumo anual para irrigação de $990 \times 10^6 \text{ m}^3$ distribuídos uniformemente por 6 meses consecutivos, um consumo anual no Algarve de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ e uma vazão ecológica mínima de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao mês, observa-se que os resultados obtidos praticamente não variam para o cenário E2-I2-A2. Se o consumo anual no Algarve for de $400 \times 10^6 \text{ m}^3$, os resultados podem ser significativamente diferentes. A garantia da vazão ecológica não afeta os resultados da simulação.

8 - CONCLUSÕES

O estudo de simulação computacional apresentado neste trabalho considerou duas séries de afluições ao sistema e diversas hipóteses sobre os valores de consumo de água para diversos fins e sobre a sua distribuição ao longo do ano. Analisando os resultados concluiu-se que os níveis de garantia (percentagem de meses em que os objetivos de consumo foram satisfeitos) e as percentagens de satisfação (percentagem de volume fornecido relativamente ao volume requerido) das diversas utilizações de água não são significativamente diferentes para muitas das hipóteses consideradas.

Mais especificamente, os resultados obtidos não variam muito com a distribuição ao longo do ano do consumo para irrigação, se não ocorrer uma concentração exagerada do consumo anual de irrigação (irrigar em apenas 3 meses).

Os resultados também não variam com o valor do consumo no Algarve e na Espanha, enquanto este não for superior a cerca de 200 milhões de m^3/ano . Finalmente, a exigência de uma vazão ecológica mínima de 5 milhões de $\text{m}^3/\text{mês}$ a jusante do açude do Pedrogão não afetou os resultados obtidos.

Para o cenário mais provável que considera um consumo anual urbano e industrial de 100 milhões de m^3 (8,3 milhões de m^3 por mês), um consumo anual de irrigação de 990 milhões de m^3 (165 milhões de m^3 de maio a outubro), um reforço anual do abastecimento do Algarve de 200 milhões de m^3 (16,6 milhões de m^3 por mês) e uma vazão ambiental mínima de 5 milhões de $\text{m}^3/\text{mês}$, os resultados deste estudo de simulação indicam que a confiabilidade, tal como já foi descrita anteriormente, ou seja, à medida que nos fornece em termos estatísticos a capacidade do sistema para satisfazer os objetivos físicos sem falhas, verificou-se que o parâmetro para o qual este critério se põe com mais acuidade é o da disponibilidade de água para a satisfação das necessidades.

As obras de construção civil são dificilmente faseáveis, sem que tal implique sobrecustos importantes. Assim, prevê-se que as obras de construção civil sejam dimensionadas para sua situação de pleno funcionamento. A realização das redes de distribuição será logicamente faseada.

Assim, até a sua plena utilização (o que deverá ocorrer somente em 2026), todo o sistema estará relativamente sobredimensionado e conseqüentemente não se verificará com a total acuidade a confiabilidade de seu funcionamento.

Nas situações da exploração do reservatório de Alqueva foram consideradas, sobretudo as variantes sem produção energética, de modo a estabelecer para cada uma delas qual o menor valor de Nível Pleno de Armazenamento - NPA que assegura a satisfação das necessidades projetadas.

No que diz respeito à produção de energia, a garantia da possibilidade de utilização da potência instalada, face às características do sistema, pode-se considerar que estará assegurada para a probabilidade considerada para a utilização em períodos de ponta.

Os resultados apresentam índices de confiabilidade de 44% e 43% ao funcionamento do sistema de geração de energia; estes resultados suprem as necessidades de geração em períodos de ponta. A resiliência para a recuperação do sistema é baixa, 18% e de 6%, apresentando uma recuperação da resiliência muito pequena.

Os resultados deste estudo indicam também que a produção de energia se fará, sobretudo, através da turbinagem das descargas para reforço das afluências do rio Ardila que abastecem o Algarve e mantêm a vazão ecológica mínima e através da geração de energia com posterior bombeamento de volumes de água armazenados para o reservatório de Alqueva. Para as séries de afluências utilizadas foram raros os anos em que o volume armazenado no reservatório de Alqueva foi suficientemente elevado (superior a 151.3 m), de modo a permitir a geração de energia exclusivamente para produção de energia.

A passagem de sequeiro, a irrigação irá implicar uma alteração estrutural das culturas agrícolas na região do Alentejo; difícil é, porém, determinar quais as culturas que irão ser instaladas, dado o longo horizonte do projeto e as incertezas associadas à evolução do mercado mundial e europeu de produtos agrícolas; certo é que as culturas que serão instaladas ao longo do tempo dependerão sobretudo das condições de mercado então existentes, das suas adaptações às condições edafo-climáticas da região e das melhores tecnologias que possam ser introduzidas.

Nesta indefinição, apenas se pode prever que os impactos negativos dependerão fortemente da utilização de maior ou menor percentagem de solos menos aptos à irrigação e de adoção de sistemas culturais e de técnicas agrícolas inapropriadas; a irrigação requer aptidões especiais na lavoura dos solos irrigados para que o grande aumento do potencial de produção se cumpra e se mantenha.

Num quadro dos possíveis impactos climáticos do aproveitamento de Alqueva, racionalmente organizado do ponto de vista da sua natureza física, recorrendo a resultados bem estabelecidos das teorias relevantes (camada limite atmosférica, meteorologia de mesoscala,), é

possível distinguir três categorias: i) impactos positivos, incluindo em particular a redução da frequência das geadas, a limitação de variações bruscas de temperatura e uma certa redução da variabilidade interanual; ii) impactos negativos, limitando à redução da visibilidade devido ao aumento da frequência de nevoeiros; iii) impactos de sinal incerto, devido à existência de possíveis mecanismos de compensação ou a processos mal compreendidos que incluem em particular os efeitos no balanço energético do aumento do vapor de água e possivelmente de água líquida na atmosfera e a existência de alterações em nível de circulações em mesoscalas.

Assim, embora haja diferenças do ponto de vista climático, relativamente à dimensão da área irrigada e entre as dimensões da zona alagada pelo reservatório de Alqueva, não se vislumbram razões impeditivas do ponto de vista climatológico.

Importante será garantir a viabilidade hídrica do empreendimento, face a grande variabilidade interanual dos afluentes, como condição essencial para evitar impactos negativos a prazo no clima da região, resultantes da insustentabilidade de modificações irreversíveis causados pela ocupação do solo.

Os resultados de confiabilidade e resiliência para irrigação foram de 81% e 80%, estes são resultados compatíveis de confiabilidade para os valores de consumo para irrigação. A resiliência para a recuperação do sistema é média, 47% e 40%, mantendo uma recuperação um pouco abaixo da média em relação ao consumo para a irrigação.

Em relação ao consumo de água no Algarve e Espanha, podem ser considerados três cenários: i) não ser possível captar água no trecho internacional do Guadiana (sistema Alqueva); ser possível captar água no trecho internacional do Guadiana, mas não existe a barragem de Alqueva; iii) ser possível captar água no trecho internacional do Guadiana com a barragem de Alqueva que possibilita a regularização das afluências de acordo com a lei de consumos prevista.

O primeiro cenário corresponde ao não cumprimento de acordo firmado com Espanha para a implantação de qualquer estrutura de captação no trecho internacional do Guadiana; seria assim necessário construir em território português infra-estruturas hidráulicas.

Os cálculos preliminares levaram a admitir que este esquema geral conduziria a custos proibitivos, ficando por satisfazer parte importante das necessidades de água para irrigação.

No segundo cenário seria necessário a construção de uma estrutura hidráulica no Guadiana (para obter as condições necessárias à captação da água ali disponível), a barragem de Fontana teria de ser construída (NPA=90) para funcionar exclusivamente para armazenamento dos escoamentos provenientes do Guadiana, além de ser necessário uma estação elevatória junto

a barragem de Fontana com capacidade suficiente para nos meses de maior escoamento bombear para este reservatório a totalidade das vazões necessárias anuais, (volume médio de 200 milhões de m³/ano).

Para finalizar o terceiro cenário, admite-se a construção do aproveitamento de Alqueva com o açude de Pedrogão a jusante deste, pode elevar a vazão média necessária à manutenção do Algarve e eventualmente para a Espanha.

O primeiro cenário é pouco plausível, dado o interesse que as autoridades espanholas têm manifestado no aproveitamento deste trecho do Guadiana.

O segundo cenário fica inviabilizado por não abastecer a Espanha, os cálculos indicam que o volume a ser fornecido para a Espanha são da mesma ordem de grandeza da do Algarve.

Finalmente no terceiro cenário, com a construção do “sistema Alqueva” fica previsto o volume médio de 400 milhões de m³/ano necessários para satisfazer as necessidades do Algarve e Espanha.

Os resultados, para o consumo no Algarve e Espanha apresentam confiabilidade de 34% e 33%, estes são resultados muito aquém dos objetivos a serem atingidos, porém para o abastecimento do consumo, somente em Portugal o sistema mostrou-se com uma eficiência de 100%. A resiliência para a recuperação do sistema é de 11% e 66%, mantendo uma recuperação acima da média em relação ao consumo para o Algarve e Espanha.

O abastecimento de água para o consumo urbano e industrial na região do Alentejo foi estimado em aproximadamente 100 milhões de m³/ano.

Os recursos hídricos gerados na região e armazenados nos reservatórios em operação destinados essencialmente a irrigação, têm em termos globais capacidade para satisfazer as necessidades urbano-industriais do Alentejo, desde que se desvie água dos sistemas hidroagrícolas.

Na realidade, face ao adiamento da execução do empreendimento de Alqueva, os diversos conselhos têm sido obrigados a promover a execução de um conjunto de infra-estruturas hidráulicas para atender a demanda de água atual; também se recorre à águas subterrâneas, apesar de apresentarem problemas em relação a sua qualidade.

O aproveitamento de Alqueva vai em grande parte suprir as novas áreas a serem irrigadas, bem como irá contribuir de forma significativa para atenuar o abastecimento urbano e industrial da região alentejana.

Os índices de confiabilidade para o consumo urbano e industrial foram de 91%, estes são resultados muito satisfatórios em relação aos objetivos a serem atingidos. A resiliência para a recuperação do sistema é de 97%, sendo este o motivo deste ponto ser o único amarelo na simulação realizada.

Num sentido mais restrito, a vazão ecológica pode ser considerada unicamente para atender os recursos piscícolas, assumindo-se no entanto que esta vazão permitirá a manutenção e conservação dos ecossistemas.

A principal dificuldade na definição de valores para a vazão ecológica, consiste na decisão dos níveis de alteração do regime hidrológico natural que se consideram aceitáveis, face aos impactos nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos que essa alteração induzirá.

Neste estudo foram consideradas duas hipóteses para a determinação da vazão ecológica. A primeira não condiciona a regra de operação do sistema à manutenção de vazões ecológicas mínimas, devido ao escoamento a jusante de Pedrogão ser sempre superior ao valor estipulado para a vazão ecológica mínima. A segunda hipótese respeita o resultado do estudo sobre a disponibilidade de água em condições extremas na bacia internacional do Guadiana, este estudo recomenda uma vazão ecológica de 60 milhões de m³/ano utilizada nesta simulação.

Os resultados de confiabilidade para a vazão ecológica, foram de 98% e 86%, estes são resultados muito positivos em relação a vazão ecológica. A resiliência para a recuperação do sistema é pequena, 25% e 18%, mantendo uma recuperação pequena em relação a vazão ecológica, em função destes valores serem utilizados em condições hidrológicas extremas.

O sistema de Alqueva, tal como concebido, apresenta uma vulnerabilidade relativamente baixa, se qualquer dos seus componentes apresentar alguma falha, o sistema possui volumes de água que permite que o sistema funcione por um período de tempo em geral concentrâneo, com o prazo necessário para a intervenção e recuperação da avaria.

Outros fatores contribuem ainda para esse baixo nível de vulnerabilidade: o sistema adutor dispõe de aproximadamente dois meses por ano para operações de conservação e manutenção; com a aplicação das regras estabelecidas para exploração do sistema adutor. Verifica-se que só em ano seco se torna necessário o seu funcionamento em contínuo durante os seis meses de irrigação; o sistema adutor e as redes de irrigação por razões de segurança, foram dimensionados para a irrigação da totalidade das áreas a serem irrigadas, porém, estima-se que no horizonte do projeto, somente 85% dessas áreas serão efetivamente irrigadas, apresentando portanto uma folga de 15%.

Assim, o sistema apresenta uma resiliência associada à vulnerabilidade baixa, mas o seu valor depende muito da componente que está sendo analisada.

No que diz respeito à disponibilidade de água na barragem de Alqueva, em relação ao tempo que os volumes armazenados levam para se recuperar de uma situação de falha, correspondente a um ano ou a um ciclo de anos secos, depende em muito das características hidrológicas do ciclo de anos que a sucedem e da regularização do reservatório.

Na exploração do sistema para o período de aflúências (38 anos) no reservatório de Alqueva, o número de falhas que se registram é uma medida da sua confiabilidade; a severidade das falhas em percentagem do volume das necessidades que são efetivamente satisfeitas é uma medida da sua vulnerabilidade; assim como a duração destas falhas uma medida da sua resiliência.

Em relação ao armazenamento no reservatório de Alqueva, a distribuição de probabilidade de resiliência indica a probabilidade de ocorrência de falhas de advertência com uma duração máxima de 70% para um período de aproximadamente 100 (meses) considerado baixo. As probabilidades de ocorrência de falhas de advertência de vulnerabilidade com diversas magnitudes do armazenamento, com probabilidade máxima de 15% correspondente à magnitude de 1200 e ocorreu advertência e falha para a magnitude de 400 com advertência máxima de 12%, mantendo a baixa vulnerabilidade do sistema. A probabilidade de ocorrência de falha e advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 45% correspondente à magnitude de aproximadamente $1,6 \times 10^5$ muito alta. A probabilidade condicionada de falha de advertência de resiliência com probabilidade máxima de 90% para o período de aproximadamente 100 é considerada pequena, se levada em consideração o número total de meses (456).

Em relação ao armazenamento no reservatório de Pedrogão, este apresenta a distribuição de probabilidade de resiliência baixa com diversas durações em até dezenove períodos (meses). Existem probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade com diversas magnitudes para o armazenamento de Pedrogão, estas foram de no máximo 31%. As probabilidades de ocorrência de falha de vulnerabilidade consecutivas atingem no máximo a 20%. A probabilidade condicionada de falhas de resiliência é de 18%. De uma forma geral, a vulnerabilidade e resiliência no reservatório de Pedrogão é baixa, isto se deve, sobretudo a ser este reservatório de pequenas dimensões, além de receber as aflúências do rio Ardila.

Em relação à afluência para a irrigação, esta apresenta a distribuição de probabilidade de resiliência, indicando a probabilidade de ocorrência de falhas com diversas durações em cinco períodos (meses) com probabilidades variadas, sendo a probabilidade máxima de 7%. As probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade apresentam probabilidade máxima de 15%. As probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade consecutivas atingem probabilidade máxima de 9%. A probabilidade condicionada de falhas de resiliência tem probabilidade máxima de 32%.

De uma forma geral a vulnerabilidade e resiliência em relação às afluências utilizadas no sistema de irrigação de Alqueva são baixas, isto se dá principalmente em função do sistema de irrigação estar com uma folga de 15%.

Em relação à afluência para o Algarve e Espanha, a distribuição de probabilidade de resiliência indica a probabilidade de ocorrência de falhas com diversas durações em vinte períodos (meses) com probabilidade de falha máxima de 16%. As probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade são de no máximo 15%. As probabilidades de ocorrência de falhas de vulnerabilidade consecutivas são de no máximo 22%. A probabilidade condicionada de falhas de resiliência indica diversas durações com probabilidade máxima de aproximadamente 47%.

De maneira geral, a vulnerabilidade para o abastecimento do Algarve é baixa, a resiliência para a recuperação do sistema para este consumo é média, caso se considere o valor de abastecimento para a Espanha, o sistema teria de ser refeito de modo a suprir este déficit.

A afluência do volume ecológico apresenta a distribuição de probabilidade de resiliência com probabilidade máxima de 8%. As probabilidades de ocorrência de advertência de vulnerabilidade são de 14%. As probabilidades de ocorrência de falhas e advertências de vulnerabilidade consecutivas apresentam probabilidade máxima de 7%. A probabilidade condicionada de falhas e advertências de resiliência para diversas durações tem probabilidade máxima de aproximadamente 42%.

A vulnerabilidade em relação ao volume ecológico é bastante baixa, isto se verifica em função da disponibilidade de água ser quase sempre superior ao volume mínimo necessário para suprir este déficit, a resiliência é de média recuperação, mas não deve ser fator de preocupação, pois somente em anos extremamente secos é que se verifica a necessidade de manter esta vazão ecológica.

A afluência para o abastecimento urbano e industrial apresenta a distribuição de probabilidade de resiliência, indicando a ocorrência de advertências com durações em dois

períodos (meses). Estas advertências são de: 0,42% e 0,62%. A probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade tem probabilidade máxima de 0,60%. A probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade consecutiva apresenta probabilidade de 1%. A probabilidade condicionada de advertências de resiliência tem probabilidade máxima de aproximadamente 56%.

A vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano e industrial é muito baixa, praticamente insignificante, isto se deve devido ao sistema estar distribuído através de outros reservatórios que abastecem a região do Alentejo. Esta é a razão do volume do abastecimento urbano e industrial ser tão baixa em relação ao volume do reservatório, a resiliência para a recuperação é média, mas os períodos de falhas são pequenos.

O balanço hidrológico realizado através do algoritmo proposto no Apêndice, considerou duas séries de aflúências ao sistema e diversas hipóteses sobre os valores de consumo de água para diversos fins e sobre a sua distribuição ao longo do ano. Analisando os resultados, concluiu-se que os níveis de garantia (porcentagem de meses em que os objetivos de consumo foram satisfeitos) e as porcentagens de satisfação (porcentagem de volume fornecido relativamente ao volume requerido) das diversas utilizações de água não são significativamente diferentes para muitas das hipóteses consideradas. Mas, especificamente os resultados obtidos não variam muito com a distribuição ao longo do ano para o consumo para irrigação se não ocorrer uma concentração exagerada do consumo anual de irrigação (irrigar em apenas 3 meses). Os resultados também não variam com o valor do consumo no Algarve e em Espanha enquanto este não for superior a cerca de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao ano. Finalmente, a exigência de uma vazão ecológica mínima de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao mês a jusante do açude do Pedrogão não afeta os resultados obtidos.

Para o cenário mais provável que considera um consumo anual urbano e industrial de $100 \times 10^6 \text{ m}^3$, um consumo anual de irrigação de $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$, um reforço anual do abastecimento do Algarve de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ e uma vazão ecológica mínima de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao mês, os resultados da simulação indicam que porcentagens de satisfação do consumo para irrigação entre 80 % a 90 %, conforme a série utilizada. Para este mesmo cenário as porcentagens de satisfação do consumo no Algarve variam entre 85 % e 93 %. A vazão ecológica mínima é de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao mês, é satisfeita a 100 %.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, A.R. & Terry, L.A. (1974). Operação de sistema hidrotérmico usando programação dinâmica determinística. *Rev. Bras. Energia Elétrica*, n. 29, p. 44-45, Jul/Dez.
- Barbosa, P.S.F. (1986). *Planejamento da operação de um sistema de reservatórios múltiplos para geração hidroelétrica*. Dissertação de Mestrado apresentada à EPUSP. São Paulo: 127 p.
- Becker, L. & Yeh, W. W.G. (1974). Optimization of Real Time Operation of a Multiple Reservoir System. *Water Resources Research*, v. 10, n. 6, p. 1107-1112, Dec.
- Bellman, R.E. (1957). *Dynamic programming*. New Jersey: Princeton University Press.
- Bettencourt, M.L. *Frequência de ocorrência de anos secos e chuvosos em Portugal*. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1975.
- Brites, S. M. (1995). *Conservação da água e do solo no sul de Portugal. Contribuição para o ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado, IST, UTL, Lisboa.
- Carmo, M. B. (1997). *Optimização e Simulação do Sistema Hidroelétrico do Alto Cunene*. Dissertação de Mestrado, IST, UTL, Lisboa.
- Carvalho, R. & Machado, S. (1976). *Contribuição para o conhecimento de regiões climáticas de Portugal continental*. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- Claghrhaa. (1987). *Os recursos hídricos no sul de Portugal - primeiro diagnóstico*. Vol. II, SEARN, Lisboa.

- Costa J. R.; V. Fonseca; H. Jesus. (1994), O sistema de informação do Guadiana: perspectivas de aplicação ao planeamento ambiental na bacia. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.
- Costa, A. (1986). *Recursos halêuticos. Relatório interno no âmbito dos Estudos do Impacto Ambiental do Empreendimento Alqueva*. DRENA, EGF.
- Costa, J. P.; J. R. Costa ; R. Rodrigues ; M. A. Santos. (1993). *Bacia portuguesa do Guadiana: caracterização hidrológica sumária*. Relatório do Projeto COVEPLAM/MEDSPA, Lisboa.
- Costa, J. R.; J. P. Costa ; V. Fonseca ; F. Rocha. (1992), *Rio Guadiana: reconhecimento e caracterização geral*. Relatório do Projeto COVEPLAM/MEDSPA, Lisboa.
- Direção Geral dos Recursos Naturais (1992). *Utilização da água em Portugal*. Lisboa, Direção Geral dos Recursos Naturais, MARN.
- FITCH, W.N. Et. Al. (1970). The optimization of the operations of a multipurpose water resources system. *Water Resources Bul.*, v. 6, n. 4, p. 498-518.
- Fontoura, P. ; R. Capela. (1986). *Macroinvertebrados e insectos. Relatório interno no âmbito dos Estudos do Impacto Ambiental do Empreendimento do Alqueva*. DRENA, EGF.
- Goulter, I. C. & Castensson, R. (1988). Multiobjective allocation of water shortage in the Svarta river, Sweden. *Water Resources Bulletin*. v.24, n.4, p.761-773, Dec.
- Hall, W.A. Et. Al. (1969). *Optimum firm power output from a two reservoir system by incremental dynamic programming*. Los Angeles: University of California, (Contribution, 130).

- Henriques, A. G. (1985). *Avaliação dos recursos hídricos de Portugal continental. Contribuição para o Ordenamento do Território*. Caderno 9, Lisboa, Instituto de Estudos para o Desenvolvimento, 1985.
- Hermann, R.M. (1970). *Stochastic linear models for multi-reservoir systems*. Ph.D. Dissertation. Massachusetts: MIT.
- Hermann, R.M. (1971). *Dimensionamento e operação de sistemas com reservatórios múltiplos*. Tese de Livre Docência apresentada à EPUSP. São Paulo: 105 p.
- Ilaco, B.V. (1981). *Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- INAG. (1992). *A exploração das principais albufeiras de Portugal continental*. Instituto da Água/DSRH, Lisboa.
- INAG. (1995). *Recursos hídricos do rio Guadiana e sua utilização*. Instituto da Água, Lisboa.
- INAG. (1996). *A utilização dos recursos hídricos nos rios fronteiriços. Caracterização sumária do estado atual na bacia do Guadiana - Documento de Trabalho*. Instituto da Água/DSRH, Lisboa.
- INMG. (1987). *O clima de Portugal. Caracterização climática da região agrícola do Alentejo*. Fascículo XXXIV, Lisboa.
- Instituto Nacional de Estatística – *Estatísticas Agrícolas – 1990*. Lisboa, INE, 1991.
- Jamieson, D.G. & Wilkinson, J.C. (1972). A short term control strategy for multipurpose reservoir systems. *Water Resources Research*, v. 8, n. 4, P. 911-920.

- Lall, U. (1995). An yield model for screening surface and ground water development. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.1, n.2, p. 9-22. May.
- Larson, R.E. (1968) *State incremental dynamic programming*. New York: American Elsevier Pub.
- Little, J.D.C. (1955). The use of storage water in hydroelectric system. *Operation Research*, v. 3, n. 2, p. 187-197.
- Liu, C-S & Tedrow, L.A. (1973). Multilake river system operation rules. *J. Hydr. Div.*, ASCE, v. 99, n. 9, ser. HY, p. 1369-1381, sept.
- Loucks, D. P. & Dorfman, P.J. (1975). An evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation. *Water Resources Reasearch*, v.11, n.6, p.777-782. Dec.
- Loucks, D.P. & Falkson, L.M.A. (1970). Comparison of some dynamic, linear and policy interation methods for reservoir operation, *Water Resources Bul.*, v. 6, n. 3, p. 384-400, May/Jun.
- Loucks, D.P. & Sigvaldason, O.T. (1982). *Multiple reservoir operation in North America*. In: Kaczbarck, Z. & Kindler, J., ed. *The Operation of Multiple Reservoir System Luxemburg*: IIASA.
- Loucks, D.P. & Taylor, M.R. & French, P.N. (1985). Interactive data management for resource planning and analysis. *Water Resources Research*, v. 21, n. 2, p. 131-142.
- Loucks, D.P. (1968). Computers Models for Reservoir Regulation. *J. Sanitary Engineering div.*, ASCE, v. 94, n. 4, ser. AS, p. 657-669, Aug.
- Loureiro, J. J. (1982). *Monografia hidrológica do rio Guadiana*. DGRAH, Évora.

- Manne, A.S. (1962). Product mix alternatives: flood control, electric power and irrigation. *Inter. Economic Review*, v. 8, n. 1, p. 30-54, Jan.
- Mariño, M.A. & Mohammadi, B. (1984). Multiple reservoir operation: I. monthly model for a single reservoir. *J. Hydrology*, v. 69, n. 1/4, p. 1-14, Febr.
- Mendes, A.J.J. (1990). *O planejamento e a viabilidade de aproveitamentos hidroagrícolas*. “Recursos Hídricos”, vol. 11, nº 1,2 e 3, Lisboa, APRH.
- Mine, M. R. M. & Tucci, C. E. M. (1999). Previsão em tempo real de vazões afluentes a reservatórios de usinas hidrelétricas. *Artigo da Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 4, n. 2, p. 73-95, Jun.
- Mine, M. R. M. (1984). Modelos estocásticos lineares para a previsão de cheias em tempo real. São Paulo: USP, p.127. Dissertação, USP.
- Ministério do Ambiente e Recursos Naturais (1991). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Portugal*. Lisboa, MARN.
- Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação (1990). *A agricultura Portuguesa em números*. Lisboa, Direção Geral do Planejamento e Agricultura.
- Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação (1991). *A agricultura Portuguesa em números*. Lisboa, Direção Geral do Planejamento e Agricultura.
- Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação (1992). *A agricultura Portuguesa em números*. Lisboa, Instituto e Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural, 1993.
- Mohan, S. & Raipure, D. M. (1992). Multiobjective analysis of multireservoir system. *Jornal os Water Resources Planning and Management*, v.118, n. 4, p. 356-370. Jul.

- Morais, M. M. ; P. Pinto. (1994). Rios temporários na bacia hidrográfica do rio Guadiana: breve perspectiva ecológica. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.
- Nayak, S.C. & Arora, S.R. (1971). Optimal capacities for a multireservoir system using the linear rule. *Water Resources Research*, v. 7, n. 3, p. 483-494, Jun.
- Nopmongkol, P. & Askew, A.J. (1976). Multilevel incremental dynamic programming. *Water Resources Research*, v. 12, n. 6, p. 1291-1297.
- Oliveira, R.(1995) *Simulação do Empreendimento de Alqueva*. Relatório 333/95, LNEC
- Pereira, E. G.; F. Moura; I. Moura; J. R. Costa; J. Mahony. (1993), Minas de S. Domingos: contaminação por metais pesados na albufeira do Chança pela descarga de uma antiga mina de pirites e ferro cupríferas. I. Análise preliminar da qualidade da água. *Revista de Geociências* (7), pp.18-27.
- Pinto, P.; J. Fernandes. (1994). Comunidades de macroinvertebrados bentónicos do rio Guadiana: influência do regime hidrológico e das fontes de poluição pontuais sobre a qualidade da água. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.
- Raposo, J.R. (1980). *A rega por aspersão*. 1ª edição, Coleção Técnica Agrária. Lisboa, Clássica Editora.
- Raposo, J.R. (1991). *A rega localizada (gota-a-gota e miniaspersão)*. “Ingenium”, Ano IV, nº 49, abril, Lisboa, Ordem dos engenheiros.
- Revelle, C. & Kitby, W. (1970). The linear decision rule in reservoir management and design: II. performance optimization. *Water Resources Research*, v. 6, n. 4, p. 1033-1044, Aug.

Revelle, C.; Joeres, E. & Kirby, W. (1969). The linear decision rule in reservoir management and design: I. development of the stochastic model. *Water Resources Research*, v. 5, n. 4, p. 767-777.

Rocha, R. (1995). *A aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica ao estudo de uma região deprimida: a bacia do rio Guadiana*, Vol. I e Vol. II. Dissertação de Mestrado, UNL, Costa da Caparica.

Rocha, R.; J. R. Costa; J. Farinha. (1994). Bacia hidrográfica do rio Guadiana: condições que levam a rarefação populacional. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.

Russel, C.B. (1972). An optimal policy for operating a multipurpose reservoir. *Operation Research*, v. 20, n. 6, p. 1181-1189.

Santo, F. E. (1994). Variabilidade da precipitação no Alentejo. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.

Santos, M. A.; C. M. Ramos ; J. S. Rocha. (1994). O plano hidrológico nacional de Espanha e os seus reflexos na bacia portuguesa do rio Guadiana. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.

Schweig, Z. & Cole, A. (1968). Optimal control of linked reservoirs. *Water Resources Research*, v. 4, n. 3, p. 479-498.

Sigvaldason, O.T. (1976). A simulation model for operating a multipurpose multi-reservoir system. *Water Resources Research*, v. 12, n. 2, p. 263-278, Apr.

- Silva, J.B. & Hernandez, V. (1979). *Operation strategy for multi-purpose reservoirs under flood condition*. In: Congr. Intern de Recursos Hídricos, 3º, México, D.F., 1979 – Papers of the III World Congress of the International Water Resources Association. México, D.F., v. 4, p. 367-374.
- Sinha, A. K. (1996). A nonlinear decision rule based optimization model for sceeding multipurpose reservoir systems. PhD. Dissertation, Dept. of Civ. Engin., Indian Institute of Tecnology, Bombay.
- Sinha, A. K. (1999). Yield model for Screening multipurpose reservoir systems. *Journal of Water Resourses Planning and Management*. November/ December.
- Strobel, O.M. (1979). *Dimensionamento e operação de reservatórios através do método de restrições probabilísticas e regra de decisão linear*. Dissertação de Mestrado apresentada à EPUSP. São Paulo: 163 p.
- Tangarrinhas, M. C., (1994). Rio Guadiana: principais origens de poluição. *Debate Rio Guadiana. Passado Presente Futuro*. APRH, FIL, Lisboa.
- Tennessee, Valley Authority (1980). *Weekly near-future scheduling model for the TVA Reservoir System*. Norris: TVA, (Report WR28-1-500-127).
- Texas Water Development Board. (1970). *System simulation for management of a total Water Resource*. Texas: (Report, 118).
- Trott, W.J. & Yeh, W. W-G (1971). *Multi-level optimization of a reservoir system*. In: Annual and National Environmental Engineering Meeting, ASCE, St. Louis, Mo., Oct. Proceeding of the Annual and National Environmental Engineering Meeting, p. 18-21.
- Trott, W.J. & Yeh, W. W-G. (1973). *Optimization of multiple reservoir systems*. J. Hydr. Div., ASCE, v. 99, n. 10, ser. HY, p. 1865-1884, Oct.

Vaz, C. (1984) *Modelos de Planeamento de Sistemas de Albufeiras em Condições de Incerteza*.
Tese de doutoramento, IST, Lisboa

Verhaeghe, R.J.; Krogt, H. & Most, H. (1989). Simulation and optimization analysis of the water resources of the Tana River basin in Kenya. Publ. *Delft Hydraulics*, N. 413, May.

Yeh, W. W-G. (1985). Reservoir management and operations models: a state of the art review. *Water Resources Research*, v. 21, n. 12, p. 1797-1818, Dec.

Young, G.R. (1967). *Finding reservoir operation rules*. J. Hydr. Div., ASCE, v. 93, n. 6, ser. HY, p. 297-321, Jun.

Zimmerman, J.D. (1966). *Irrigation*. London, U.K. John Wiley & Sons, Inc.

9.1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES

Mauad, F. F ; Mariotoni, C. A - *Analysis of a Reaction Turbine With Simple Curvature Blades – An Option for Generation of Energy in Small Hydroelectric Plants*, Revista Internacional Información Tecnológica, ISSN: 0716-8756, 2000, Chile.

Mariotoni, C. A & Mauad, F. F. – *As Pequenas Centrais Hidrelétricas Enfocadas sob os Aspectos do Usos das Águas e Impactos Ambientais, apresentado no Seminário Internacional – Conservação de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas*, em Campinas/ Unicamp, S.P, 2000.

Mariotoni, C. A & Mauad, F. F. – *Comparação Entre os Cenários Energéticos Brasileiros e Portugueses Considerando-se a Implantação de PCH's – Pequenas Centrais Hidrelétricas, apresentado no 3º Encontro de Energia no Meio Rural*, em Campinas/ Unicamp, S.P, 2000.

Mariotoni, C. A & Mauad, F. F. – *Incidências Ambientais de Aproveitamentos de Baixa Potência, apresentado no 3º Encontro de Energia no Meio Rural*, em Campinas/ Unicamp, S.P, 2000.

- Mariotoni, C. A & Mauad, F. F. – *Simulação Computacional do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva em Portugal*, apresentado no I Congresso Sobre Aproveitamentos e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português, Rio de Janeiro, R.J, 2000.
- Mariotoni, C. A; Mauad, F.F. ; Rocha, J. S. – *Aproveitamento Hidráulico com Fins Múltiplos de Alqueva: O Confronto Entre a Geração de Energia e a Irrigação*, apresentado no IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, B.A, 2000.
- Mariotoni, C. A & Mauad, F. F - *Novos Rumos do Setor Elétrico Brasileiro Discutindo-se a Inserção de Pequenas Centrais Hidrelétricas*, IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 1999, Portugal.
- Mariotoni, C. A ., Mauad, F. F. – *Vantagens da Viabilização de Pequenas Centrais Hidrelétricas Relativamente ao Planejamento Energético Estratégico no Estado de São Paulo – Brasil*, IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 1999, Portugal.
- Mariotoni, C. A ., Mauad, F. F. – *Planejamento Energético Regional e a Discussão da Tecnologia Apropriada no Caso da Geração de Energia Através de PCH's*, apresentado no III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, em São Paulo, S.P, 1998.
- Mariotoni, C. A .; Mauad, F. F. – *Methodology of Designing Microhydroelectric Power Plants*, IV International Congress of Project Engineering, 1998, Espanha.
- Mauad, F. F ; Mariotoni, C. A . - *Aspectos da Reformulação do Setor de Energia Elétrica*, apresentado no XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, em Vitória, E.S, 1997.

10 - ANEXO

ALGORITMO

Início do Algoritmo

Entrada de dados:

Guadiana , $\text{Coef}_{\text{Guadiana}}(1)$

Ardila , $\text{Coef}_{\text{Ardila}}(1)$

Evap.

$\text{Vol}_{\text{Alqueva}}(\text{inicial})$

$\text{Vol}_{\text{Alqueva}}(V')$

$\text{Vol}_{\text{Alqueva}}(\text{max})$

$\text{Vol.Morto}_{\text{Alqueva}}$

$\text{Vol}_{\text{Pedrogão}}(\text{inicial})$

$\text{Vol}_{\text{Pedrogão}}(\text{máx})$

$\text{Vol.Morto}_{\text{Pedrogão}}$

Cons.Urb.Ind.

Cons.Ecol.

Cons.Irrig.

Cons.Algarve

Inicializar variáveis

$$i = 0$$

$$Vol_{Alqueva}(i) = Vol_{Alqueva}(inicial)$$

$$Vol_{Pedrogão}(i) = Vol_{Pedrogão}(inicial)$$

Estrutura de Repetição

Enquanto ($i \leq Anos * 12$)

$$i = i + 1$$

$$D.Guadiana(i) = Coef_{Guadiana} * Guadiana(i)$$

Correção da descarga do Guadiana pelo coeficiente.

$$D.Ardila(i) = Coef_{Ardila} * Ardila(i)$$

Correção da descarga do Ardila pelo coeficiente.

$$Evap_{Alqueva}(i) = \min [0,25 * Evap(i); Vol_{Alqueva}(i-1) + D.Guadiana(i)]$$

A quantidade d'água evaporada no reservatório de Alqueva será o mínimo entre a o que o reservatório dispõe em volume e a taxa de evaporação multiplicada pela área do reservatório de Alqueva que é de 250 km^2 . O índice “i” após Evap. refere-se ao mês.

$$Evap_{Pedrog\tilde{a}o}(i) = \min [0,011 * Evap(i); Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(i-1) + D.Ardila(i)]$$

A quantidade d'água evaporada no reservatório de Pedrogão será o mínimo entre o que o reservatório dispõe em volume e a taxa de evaporação multiplicada pela área do reservatório de Pedrogão que é de 11 km². O índice “i” após Evap. refere-se ao mês.

$$D.Urb.Ind(i) = \min [Cons.Urb.Ind(i); \{ Vol_{Alqueva}(i-1) + D.Guadiana(i) - Evap_{Alqueva}(i) \}]$$

A descarga para consumo será o mínimo entre o que é necessário e o que se pode descarregar em função do que se tem para descarregar, isto é, tem prioridade máxima, desde que haja volume suficiente para isso

$$D.Ecol_{Alqueva}(i) = \{ \min [Vol_{Alqueva}(i-1) + D.Guadiana(i) - Evap_{Alqueva}(i) - D.Urb.Ind(i); Cons.Ecol - (Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(i-1) + D.Ardila(i) - Evap_{Pedrog\tilde{a}o}(i))] \}$$

Não sendo possível que o reservatório de Pedrogão abasteça uma “vazão” mínima ecológica a sua jusante e, havendo alguma disponibilidade por parte do reservatório de Alqueva, será então efetuado uma descarga em Alqueva para suprir a descarga ecológica mediante suas capacidades para tanto.

D.Irrig(i) =

se

$$\gg \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(i-1) > \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(V') + \text{Cons.Urb.Ind}(i) \ll$$

então

$$\gg \min [\text{Cons.Irrig}(i); \{ \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(i-1) + \text{D.Guadiana}(i) - \text{Evap}_{\text{Alqueva}}(i) - \text{D.Urb.Ind}(i) - \text{D.Ecol}_{\text{Alqueva}}(i) \}] \ll$$

senão

$$\gg 0 \ll$$

Caso o volume do reservatório no mês anterior superar o nível V' somando o consumo urbano e industrial que será realizado, então haverá uma descarga para irrigação que será o mínimo entre o valor estimado e a capacidade do reservatório em efetuar tal descarga após já ter efetuado descarga para uso urbano e industrial e para uma eventual correção da descarga ecológica à jusante de Pedrogão, caso contrário, isto é, o volume do mês anterior trabalhar abaixo do nível operacional subtraindo do consumo urbano e industrial, não haverá qualquer descarga para irrigação.

D.Algarve_{Alqueva}(i) =

se

$$\gg \text{Vol}_{\text{Pedrogão}}(i-1) + \text{D.Ardila}(i) - \text{Evap}_{\text{Pedrogão}}(i) - \text{Cons.Algarve}(i) < 0 \ll$$

e

$$\gg \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(i-1) > \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(V') + \text{Cons.Urb.Ind}(i) \ll$$

então

$$\gg \{ \text{Cons.Algarve}(i) - \text{Vol}_{\text{Pedrogão}}(i-1) + \text{Evap}_{\text{Pedrogão}}(i) - \text{D.Ecol}_{\text{Alqueva}}(i) \} \ll$$

senão

»0«

Caso não haja capacidade de se abastecer a Algarve e Espanha por parte do açude de Pedrogão e haja, porém, disponibilidade para tal por parte de Alqueva, será efetuada uma descarga em Alqueva para suprir somente o déficit de abastecimento em Pedrogão.

$$D.Exced_{Alqueva}(i) = \{ Vol_{Alqueva}(i-1) + D.Guadiana(i) - Evap_{Alqueva}(i) - D.Urb.Ind(i) - D.Ecol_{Alqueva} - D.Irrig - Vol_{Alqueva(max)} \}$$

O excedente em Alqueva é dado pelo volume que ultrapassaria o nível máximo do reservatório depois de subtraídas as descargas de abastecimento urbano e industrial, as eventuais descargas para correção do déficit da descarga ecológica e a descarga para suprir o déficit de abastecimento do Algarve.

Falha.Urb.Ind =

se

$$» Cons.Urb.Ind - D.Urb.Ind \geq 0 «$$

então

»0«

senão

»1«

Variável que indica se houve falha (1) no abastecimento urbano e industrial em Alqueva ou não (0).

$$D.Algarve(i) = D.Ecol_{Pedrog\tilde{a}o}(i) + D.Algarve_{Pedrog\tilde{a}o}(i)$$

A descarga real que chega em Algarve é a descarga ecológica somada a descarga feita por Pedrogão em complemento a esta, de modo que o consumo neste local seja suprido dentro das possibilidades de descarga.

$$D.Exced_{Pedrog\tilde{a}o}(i) = \{ Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(i-1) + D.Afluentes(i) - Evap_{Pedrog\tilde{a}o}(i) - D.Algarve_{Pedrog\tilde{a}o}(i) - D.Ecol_{Pedrog\tilde{a}o}(i) - Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(m\acute{a}x) \}$$

É vertido todo o volume que excede o volume máximo de Pedrogão, que é o que se tinha no mês anterior, somado com seus afluentes, subtraindo sua descarga ecológica e de abastecimento ao Algarve.

$$Falha.Ecol = \begin{cases} \text{se} \\ \quad \gg Cons.Ecol - D.Ecol_{Pedrog\tilde{a}o} \geq 0 \ll \\ \text{ent\~{a}o} \\ \quad \gg 0 \ll \\ \text{sen\~{a}o} \\ \quad \gg 1 \ll \end{cases}$$

Indica se a descarga ecológica a jusante de Pedrogão foi suprida (0) ou houve falha (1).

$Falha.Algarve =$ se
 $\gg Cons.Algarve - \min [Cons.Algarve; D.Ecol_{Pedrog\tilde{a}o}$
 $+ D.Algarve_{Pedrog\tilde{a}o}] \geq 0 \ll$
 então
 $\gg 0 \ll$
 senão
 $\gg 1 \ll$

Indica se Algarve e Espanha foram supridos (0) com a descarga efetuada em Pedrogão ou houve falha na meta de abastecimento (1).

$$Vol_{Alqueva}(i) = \text{máximo} [-Vol.Morto_{Alqueva}; \text{mín} [Vol_{Alqueva(máx)}; Vol_{Alqueva}(i-1) + D.Guadiana(i) - Evap_{Alqueva}(i) - D.Urb.Ind(i) - D.Ecol_{Alqueva}(i) - D.Irrig(i) - D.Algarve_{Alqueva}(i)]]$$

Assim, tem-se o volume do reservatório de Alqueva como o mínimo entre o que chegou pelo Guadiana, subtraído do que é evaporado da descarga para consumo urbano e industrial, ecológico (eventual para correção de déficit em Pedrogão) e de abastecimento de Algarve (eventual para correção de déficit em Algarve).

$$Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(i) = \text{máximo} [-Vol.Morto_{Pedrog\tilde{a}o}; \text{mín} [Vol_{Pedrog\tilde{a}o(máx)}; Vol_{Pedrog\tilde{a}o}(i-1) + D.Afluentes(i) - Evap_{Pedrog\tilde{a}o}(i) - D.Ecol_{Pedrog\tilde{a}o}(i) - D.Algarve_{Pedrog\tilde{a}o}(i)]]$$

O volume do reservatório de Pedrogão ficará entre sua capacidade máxima de armazenamento e o que restou depois de somado o que chegou no reservatório, mais o que chegou do Ardila e de Alqueva, subtraindo o que é evaporado e a descarga ecológica e para abastecimento do Algarve e Espanha.

$$\text{Vol.Arm}(i) = \text{Vol}_{\text{Alqueva}}(i) + \text{Vol}_{\text{Pedrogão}}(i)$$

Fim da Estrutura Enquanto

Fim do Algoritmo

VARIÁVEIS DO SISTEMA

Variável	Descrição
Guadiana	descarga do Guadiana
Coef _{Guadiana} (*)	coeficiente para correção da vazão do Guadiana
D.Guadiana	descarga “corrigida” do Guadiana
Evap (**)	taxa de evaporação efetiva (para ambos reservatórios).
Evap _{Alqueva}	quantidade d’água evaporada no mês no reservatório de Alqueva
Vol _{Alqueva}	volume útil do reservatório de Alqueva
Vol _{Alqueva} (inicial)	volume útil inicial do reservatório de Alqueva
Vol _{Alqueva} (V*)	volume útil V* do reservatório de Alqueva
Vol _{Alqueva} (max)	volume máximo do reservatório de Alqueva
Cons.Urb.Ind	descarga necessária para abastecimento urbano e industrial em Alqueva
Cons.Ecol	meta para descarga ecológica estabelecida
Cons.Irrig	meta de consumo por irrigação em Alqueva

D.Urb.Ind	descarga efetuada para abastecimento urbano e industrial em Alqueva
D.Ecol _{Alqueva}	contribuição para descarga ecológica feita em Alqueva
D.Irrig	descarga para uso na irrigação em Alqueva
D.Algarve _{Alqueva}	descarga realizada para suprir algarve e espanha partir de alqueva
D.Exced _{Alqueva}	descarga excedente do reservatório de Alqueva
Falha.Urb.Ind	indica se a descarga urbana de Alqueva supriu o consumo urbano e industrial
Falha.Irrig	indica se a descarga para irrigação em Alqueva supriu a descarga necessária
Ardila	descaraga do Ardila
Coef _{Ardila} (*)	coeficiente para correção da vazão do Ardila
D.Ardila	descarga “corrigida” do Ardila
D.Afluentes	descarga d’água que chega ao reservatório de Pedrogão
Evap _{Pedrogão}	quantidade d’água evaporada no mês no reservatório de Pedrogão
Vol _{Pedrogão}	volume do reservatório de Pedrogão

(continuação)

Variável	Descrição
Vol _{Pedrogão} (inicial)	volume útil inicial do reservatório de pedrogão (no início da simulação)
Vol _{Pedrogão} (max)	volume máximo do reservatório de Pedrogão
Cons.Algarve	meta de consumo de Algarve e Espanha
D.Ecol _{Pedrogão}	descarga ecológica do reservatório de Pedrogão
D.Algarve _{Pedrogão}	descarga do reservatório de Pedrogão para abastecimento de Algarve e ao sul de Espanha
D.Exced _{Pedrogão}	descarga excedente do reservatório de Pedrogão
D.Algarve	soma da descarga ecológica com a descarga efetuada em Pedrogão para complemento do abastecimento em Algarve
Falha.Ecol	indica se a descarga ecológica em Pedrogão alcançou o estabelecido
Falha.Algarve	indica se a descarga de Pedrogão supriu o consumo em Algarve
Vol.Arm	volume total armazenado no período
Anos	quantidade de anos da simulação

Obs: Todas as variáveis, com exceção de * e ** são dadas em milhões de metros cúbicos por mês.

A variável “Coef_{Guadiana}” e a variável “Coef_{Ardila}” são adimensionais e a variável “Evap” em mm (milímetros) por representar evaporação efetiva.

Para facilitar a nomenclatura e eliminar o carregamento do algoritmo com a escrita de estruturas computacionais mais complexas, adota-se algumas nomenclaturas, como descritas a seguir.

Convenções:

operador “*não zero*”:

$$\{\text{número}\} = \begin{array}{ll} \text{número} & , \quad \text{se } \text{número} \geq 0 \\ 0 & , \quad \text{se } \text{número} < 0 \end{array}$$

função “*mínimo*”:

mín [número A; número B; ...] = menor dentre os valores da lista

função “*máximo*”:

máx [número A; número B; ...] = maior dentre os valores da lista

estrutura “*se*”:

se

» *condição* «

então

» *resultado TRUE* «

senão

» *resultado FALSE* «

11 - APÊNDICE

TABELAS DE RESULTADOS

Tabela 7.1 – Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1522	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	72%	73%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	86%	85%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	72%	72%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	86%	84%

Tabela 7.2 - Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1347	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	82%	82%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	91%	91%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	82%	79%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	91%	89%

Tabela 7.3 - Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1435	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	92%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	92%	-

Tabela 7.4 - Ecol. = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1407	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	72%	74%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	85%	86%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	75%	73%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	87%	85%

Tabela 7.5 - Ecol. = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1422	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	80%	81%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	90%	90%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	82%	78%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	91%	89%

Tabela 7.6 - Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1324	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	92%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	85%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	93%	-

Tabela 7.7 - Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1421	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	70%	76%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	84%	86%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	70%	75%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	84%	84%

Tabela 7.8 - Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1513	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	77%	79%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	88%	90%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	77%	77%
	1952/53 - 1989/90	100%	-	88%	88%

Tabela 7.9- Ecológico = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1438	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	-	80%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	89%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	-	80%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	-	89%	-

UNICAMP

Tabela 7.10 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1493	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	72%	76%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	86%	87%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	72%	71%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	86%	84%

Tabela 7.11 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1504	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	80%	85%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	90%	93%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	80%	78%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	90%	88%

Tabela 7.12 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $6 \times 165 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1391	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	92%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	92%	-

Tabela 7.13 - Ecol. = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V' (10^6 m^3)	1483	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	68%	77%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	84%	87%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	72%	73%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	86%	84%

Tabela 7.14 - Ecol. = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1402	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	80%	85%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	90%	93%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	99%	82%	78%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	91%	89%

Tabela 7.15 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrig. = $3 \times 100 + 3 \times 230 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1402	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	82%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	91%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	83%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	92%	-

Tabela 7.16 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $400 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1397	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	70%	79%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	84%	87%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	99%	70%	74%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	84%	84%

Tabela 7.17 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $200 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1493	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	77%	85%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	88%	92%
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	77%	77%
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	88%	88%

Tabela 7.18 - Ecológico = $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, Irrigação = $3 \times 330 \times 10^6 \text{ m}^3$ e Algarve = $0 \times 10^6 \text{ m}^3$

V* (10^6 m^3)	1394	Urb.Ind.	Ecológico	Irrigação	Algarve
Satisfação de Consumo	1980/81 - 1989/90	100%	100%	80%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	90%	-
Nível de Garantia	1980/81 - 1989/90	100%	100%	80%	-
	1952/53 - 1989/90	100%	100%	90%	-

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE