



Campus de São Carlos

**ANÁLISE DE CONFLITOS DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
AUXILIADA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: BACIA
DO RIO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE**

Antonio de Pádua Scott Alves Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Antonio de Pádua Scott Alves Ferreira

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço.....03/09/04.....

Ass.:.....*[Assinatura]*.....

**ANÁLISE DE CONFLITOS DE USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
AUXILIADA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: BACIA DO
RIO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100047338

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad



São Carlos
2004

Class.	TESE EESC
Cutt.	2548
Tombo	T206/04
Sysno	1395491

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

F383a

Ferreira, Antonio de Pádua Scott Alves

Análise de conflitos de usos múltiplos da água auxiliada por simulação computacional : Bacia do Rio Sapucaí-Mirim/Grande / Antonio de Pádua Scott Alves Ferreira. -- São Carlos, 2004.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.

Área: Ciências da Engenharia Ambiental.

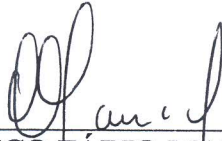
Orientador : Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad.

1. Recursos hídricos. 2. IRAS. 3. Simulação computacional. 4. Usos múltiplos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

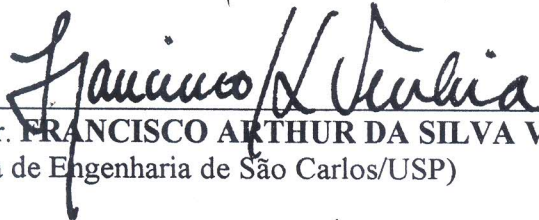
Candidato: Bacharel **ANTONIO DE PÁDUA SCOTT ALVES FERREIRA**

Dissertação defendida e julgada em 30-04-2004 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Dr. **FREDERICO FÁBIO MAUAD** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprova



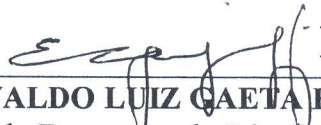
Prof. Dr. **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprova!




Prof. Dr. **ALEXANDRE AUGUSTO BARBOSA**
(Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI)

APROVADO



Prof. Associado **EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



Profa. Titular **MARIA DO CARMO CAIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

***Dedico** este trabalho à minha mãe, grande exemplo de força, dedicação e perseverança e também à memória de meu pai, Hélio.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por compreender meus anseios e dar-me a necessária coragem para atingir meu objetivo.

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio recebido.

Ao Professor Frederico Fábio Mauad, mentor e amigo, pela orientação nesta jornada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudo fornecida.

Aos funcionários e professores do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA.

À Flávia Abrahão Novelino, pelo seu carinho e companheirismo em todos os momentos.

À amiga Liliane Lazzari Albertin, pela ajuda e apoio durante este trabalho.

Ao pessoal das Casas da Agricultura visitadas, principalmente ao senhor Candido Miele, pelo tempo e informações concedidas.

RESUMO

FERREIRA, A.P.S.A. (2004). *Análise de conflitos de usos múltiplos da água auxiliada por simulação computacional: bacia do rio Sapucaí-mirim/grande*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Na mesma proporção que fontes de água potável são reduzidas, a competição por elas tem aumentado, conseqüência imediata da expansão de áreas urbanas e de novas demandas agro-industriais. Os conflitos gerados por esta competição tendem a comprometer o desenvolvimento sustentável e o progresso de uma forma geral, uma vez que resultam em perda de eficácia para vultuosos investimentos públicos e privados e em prejuízos para os usuários menos estruturados. Considerando os fatos acima, o objeto deste trabalho é o estabelecimento de cenários de alocação das disponibilidades hídricas entre usuários de água da Bacia do Sapucaí-Mirim/Grande, visando determinar a convivência harmoniosa das várias finalidades de uso provenientes do mesmo recurso hídrico. Tal meta poderá ser alcançada através da análise dos indicadores de desempenho – confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência – do sistema os quais serão obtidos com o auxílio do modelo de simulação IRAS (*Interactive River Aquifer Simulation*).

Palavras-chave: recursos hídricos; IRAS; simulação computacional; usos múltiplos

ABSTRACT

FERREIRA, A.P.S.A. (2004). *Conflicts analysis of water multiple uses aided by computer simulation: sapucaí-mirim/grande river basin*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

In the same proportion that fresh water sources are been reduced, competition for it has grown, immediate consequence of urban areas expansion and new agrindustrial demands. Conflicts generated by this competition tend to affect the sustainable development and the progress as well, once this competitiveness situation means efficacy loss to large amounts of public and privy investments, and also injuries to less structured users. Considering above facts, the goal of this paperwork is to establish water availability allocation scenarios between Sapucaí-Mirim/Grande basin's users, aiming to settle a balanced distribution of the several use finalities came from the same water resource. Such goal can be reached through system performance indicators analysis – reliability, vulnerability and resilience – which will be estimated through IRAS simulation model aid.

Keywords: water resources; *IRAS*; computer simulation; multiple uses

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das UGRHI's no Estado de São Paulo.....	22
Figura 2 - Municípios pertencentes à UGRHI 08	23
Figura 3 - Principais sub-bacias que compõem a UGRHI Sapucaí-Mirim/ Grande	24
Figura 4 - Unidades Hidrogeológicas do Estado de São Paulo	42
Figura 5 - Processo de interpolação utilizado no modelo IRAS	53
Figura 6 - Postos fluviométricos utilizados no estudo.....	68
Figura 7 - Localização das PCHs no Rio Sapucaí	71
Figura 8 - PCH Dourados.....	72
Figura 9 - PCH São Joaquim	73
Figura 10 - Esquema dos cenários simulados no estudo	74
Figura 11 - Esquema das hipóteses de Simulação.....	75
Figura 12 - Rede de arcos e nós do IRAS representando o cenário 1	76
Figura 13 - Rede de arcos e nós do IRAS representando o cenário 2	76
Figura 14 - Alocação do consumo público na sub-bacia Médio Sapucaí	77
Figura 15 - Alocação do consumo público na sub-bacia Baixo Sapucaí	78
Figura 16 - Alocação do consumo público na sub-bacia Ribeirão do Jardim	78
Figura 17 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Alto Sapucaí.....	79
Figura 18 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Médio Sapucaí .	80
Figura 19 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Baixo Sapucaí..	80
Figura 20 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Ribeirão do Jardim	80
Figura 21 - Vazão mínima no final do sistema (Cenário 1)	82
Figura 22 - Vazão mínima no final do sistema (Cenário 2)	82

Figura 23 - Entrada de dados para geração de energia elétrica	84
Figura 24 - Dados de evaporação utilizados no IRAS	87
Figura 25 - Entrada de dados para regra de liberação em São Joaquim	88
Figura 26 - Funções de balanço para os reservatório de Dourados, São Joaquim, Palmeiras, Anhanguera e Retiro.....	89
Figura 27 - Combinações da tabela 11 utilizadas para variáveis simuladas .	90
Figura 28 - Valores limites iniciais considerados para São Joaquim	90
Figura 29 - Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Alto Sapucaí	92
Figura 30 - Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Médio Sapucaí	93
Figura 31 - Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Baixo Sapucaí	94
Figura 32 - Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Córrego do Lageado	94
Figura 33 - Confiabilidade e resiliência no reservatório de Dourados	95
Figura 34 - Confiabilidade e resiliência no reservatório São Joaquim.....	96
Figura 35 - Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 2 ..	96
Figura 36 - Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 3 ..	97
Figura 37 - Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 4 ..	95
Figura 38 - Indicadores de confiabilidade e resiliência para o consumo na geração de energia em Dourados.....	98
Figura 39 - Indicadores de confiabilidade e resiliência para o consumo na geração de energia em São Joaquim	99

Figura 40 - Distribuição das probabilidades em relação ao armazenamento de Dourados.....	102
Figura 41 - Distribuição das probabilidades em relação ao armazenamento de São Joaquim	103
Figura 42 - Distribuição das probabilidades de afluências para irrigação 1 ..	104
Figura 43 - Distribuição das probabilidades de afluências para irrigação 2 ..	104
Figura 44 - Distribuição das probabilidades de afluências para irrigação 3 ..	105
Figura 45 - Distribuição das probabilidades de afluências para irrigação 4 ..	106
Figura 46 - Distribuição das probabilidades de afluências para o consumo público 2.....	108
Figura 47 - Distribuição das probabilidades de afluências para o consumo público 3.....	109
Figura 48 - Distribuição das probabilidades de afluências para o consumo público 4.....	110
Figura 49 - Comparação das séries para o posto Sto Antonio da Alegria	133
Figura 50 - Comparação das séries para o posto Usina Dourados.....	134
Figura 51 - Comparação das séries para o posto Pioneiros.....	134
Figura 52 - Comparação das séries para o posto Faz. São Domingos	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População total da UGRHI do Sapucaí/Grande.....	34
Tabela 2 – Evolução Industrial nos municípios da bacia do Sapucaí-Mirim ..	35
Tabela 3 – Tipo de cultura e área cultivada na bacia do Sapucaí-Mirim/Grande	37
Tabela 4 – Precipitação Média Mensal (em mm)	39
Tabela 5 – Temperaturas Médias Mensais, em °C	40
Tabela 6 – Umidade Relativa (%)	40
Tabela 7 – Demanda/Disponibilidade Hídrica Superficial	42
Tabela 8 – Vazões por aquífero dos poços cadastrados.....	43
Tabela 9 – Usinas Hidrelétricas Instaladas na UGRHI 08	44
Tabela 10 – Número de propriedades com atividades de piscicultura e ranicultura	45
Tabela 11 – Combinações alternativas de cor associadas à zonas de valores variáveis.....	57
Tabela 12 – Postos fluviométricos operados pelo DAEE.....	67
Tabela 13 – Demandas para abastecimento público	70
Tabela 14 – Demandas para abastecimento irrigação.....	70
Tabela 15 – Especificações da PCH Dourados utilizados no estudo	72
Tabela 16 – Especificações da PCH São Joaquim utilizados no estudo.....	73
Tabela 17 – Especificações das PCHs em projeto básico	73
Tabela 18 – Distribuição mensal das alocações no modelo IRAS.....	83
Tabela 19 – Distribuição dos parâmetros de entrada para geração de energia	86
Tabela 20 – Evaporação mensal na bacia do rio Sapucaí (mm)	86

Tabela 21 – Consumos por evaporação	87
Tabela 22 – Valores limites iniciais inseridos no IRAS	91
Tabela 23 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 1	99
Tabela 24 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 2	99
Tabela 25 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 1	100
Tabela 26 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 2	100
Tabela 27 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 1	100
Tabela 28 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 2	100
Tabela 29 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 1	100
Tabela 30 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 2	101
Tabela 31 – Série sintética de vazões	127

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Aspectos Gerais.....	1
1.2. Usos múltiplos da água.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Introdução	4
2.2. Conflito de usos múltiplos	5
2.3. Modelos de otimização.....	6
2.4. Programação linear.....	8
2.5. Programação Dinâmica.....	9
2.6. Programação não linear.....	10
2.7. Modelos de simulação	10
2.8. Sistemas de suporte à decisão.....	18
3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ- MIRIM/GRANDE.....	21
3.1. Contextualização geral.....	21
3.2. Localização	23
3.3. Área total e sub-bacias	24
3.4. Aspectos físicos.....	26
3.4.1. Geologia	26
3.4.2. Geomorfologia	29

3.4.3. Pedologia	31
3.5. Aspectos econômicos	33
3.5.1. Demografia	33
3.5.2. Indústria	34
3.5.3. Uso e ocupação do solo	36
3.5.4. Agricultura e pecuária	36
3.6. Climatologia da bacia	37
3.6.1.1. Índices climáticos	38
3.6.1.2. Precipitação	38
3.6.1.3. Temperatura	39
3.6.1.4. Umidade relativa do ar	40
3.7. Recursos hídricos	41
3.7.1. Disponibilidade hídrica superficial	41
3.7.2. Disponibilidade hídrica subterrânea	42
3.7.3. Usos não consuntivos	43
3.7.4. Usinas para geração de energia	44
3.7.5. Aquicultura	44
3.8. Fontes de poluição	45
3.9. Qualidade da água	46
4. METODOLOGIA	48
4.1. O modelo de simulação - IRAS	48
4.2. Considerações sobre o processo de simulação	50
4.3. Dados de entrada	52
4.3.1. Políticas operacionais no IRAS	52
4.4. Saídas do modelo	56

4.4.1. Valores e zonas limites	56
4.4.2. Impressão das séries de tempo e de espaço	57
4.4.3. Indicadores dinâmicos	58
4.4.4. Indicadores estatísticos	58
4.4.5. Distribuições da probabilidade.....	60
4.5. MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS	61
4.6. MODELO ESTACIONÁRIO MULTIVARIADO AUTOREGRESSIVO DE PRIMEIRA ORDEM AR (1).....	62
4.7. MODELAGEM DA BACIA DO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE	67
4.7.1 Postos fluviométricos.....	67
4.7.2. Demanda e usos dos recursos hídricos	69
4.7.3. Abastecimento público.....	69
4.7.4. Irrigação.....	70
4.7.5. Geração de energia elétrica	70
4.7.6. Estrutura do sistema simulado.....	74
4.7.7. Inserção dos dados no modelo.....	75
4.7.8. Definição das Regras de operação	88
4.7.9. Dados limites utilizados no modelo IRAS.....	89
5. RESULTADOS	92
5.1. Vulnerabilidade	101
6. CONCLUSÕES	111
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	115
ANEXOS	125

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos Gerais

Em significativas extensões territoriais brasileiras, a escassez de água, por insuficiência de chuvas e/ou pela sua distribuição irregular no tempo, tem sido fator de inibição do desenvolvimento e do bem-estar. O acesso à água e a sua racional utilização continuam a ser objetivos e desafios em várias regiões do país. Mesmo nas regiões mais desenvolvidas, o descontrolado aproveitamento das águas, paralelamente à industrialização, urbanização e agricultura intensiva, está desencadeando crescentes conflitos de interesse. O uso das águas para geração de energia, abastecimento público, diluição de efluentes, irrigação, navegação, manutenção do ambiente sustentável e outros vem enfrentando entraves ponderáveis, seja na operação de estruturas hidráulicas já existentes, seja na implementação de planos setoriais incompatíveis entre si. Esses conflitos tendem a comprometer o desenvolvimento sustentável e o progresso de uma forma geral, uma vez que resultam em perda de eficácia para vultuosos investimentos públicos e privados e em prejuízos para os usuários menos estruturados.

A água distribui-se de modo irregular, no tempo e no espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas. Embora seja um recurso renovável, a água deve ser considerada um recurso finito e de ocorrência aleatória. Pode ser considerada um recurso móvel pois, ao percorrer as fases do ciclo hidrológico, ela escoar pela superfície e pelos aquíferos. Por muitos anos o Brasil conviveu com a impressão de que suas fontes hidrológicas eram inesgotáveis isto porque o ciclo hidrológico propicia a elevação da água das cotas mais baixas para as maiores altitudes. Como trata-se de um ciclo, adquire caráter renovável. Coimbra et al (1999) explicam que a

natureza finita da fonte renovável “recurso hídrico” contém um aspecto crítico, que deve ser analisado sob a ótica do crescimento populacional. São poucos os outros recursos essenciais à vida, que estão restritos por limites de disponibilidade tão definidos quanto os recursos hídricos.

Em situações de abundância a água pode ser tratada como um bem livre, sem valor econômico. Entretanto, o crescimento dos mercados competidores e o surgimento de novas economias industrializadas incrementam a demanda para o suprimento de água gerando conflitos entre usos e usuários de água. Neste caso esta fonte passa ser escassa; então a água deve ser gerida como bem econômico ou matéria-prima, pois é recurso essencial tanto para agricultura, produção energética, abastecimento industrial e doméstico, navegação, aqüicultura, recreação, entre outras, devendo-lhe ser atribuído o valor justo. Assim a disponibilidade desta “commodity” torna-se fator limitante do crescimento e do desenvolvimento econômico.

1.2. Usos Múltiplos da Água

Na mesma proporção que fontes de água potável são reduzidas, a competição por elas tem aumentado, conseqüência imediata da expansão de áreas urbanas e de novas demandas agro-industriais. Sendo a água um recurso indispensável à vida, é de fundamental importância a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas.

Mesmo nas regiões mais desenvolvidas, o descontrolado aproveitamento das águas, paralelamente à industrialização, urbanização e agricultura intensiva, está desencadeando crescentes conflitos de interesse. O uso das águas para geração de energia, abastecimento público, diluição de efluentes, irrigação, navegação, manutenção do ambiente sustentável e outros vem enfrentando entraves ponderáveis, seja na operação de estruturas hidráulicas já existentes, seja na implementação de planos setoriais incompatíveis entre si.

Esses conflitos tendem a comprometer o desenvolvimento sustentável e o progresso de uma forma geral, uma vez que resultam em perda

de eficácia para vultuosos investimentos públicos e privados e em prejuízos para os usuários menos estruturados. Em última instância, ainda podem tornar escassas as disponibilidades hídricas capazes de atender aos requisitos de volume e qualidade requeridos aos usos compartilhados nos estados e municípios justafluviais (COIMBRA et al., 1999).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Introdução

Em planejamento e gestão de recursos hídricos é comum deparar-se com situações que envolvem alocação de recursos escassos entre interesses competitivos, ao mesmo tempo em que se deve minimizar a falta ou excesso de água, por exemplo. As decisões a serem tomadas ocorrem em fases de mudanças, restrições e incertezas. No processo de escolha da alternativa ótima, várias técnicas foram desenvolvidas, sendo as mais conhecidas: a programação linear; a programação dinâmica; e a simulação computacional. O número de variações existentes na literatura é bastante amplo. Yeh (1985) apresenta extensa revisão do estado da arte dos diversos modelos desenvolvidos e aprimorados para solucionar problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos na qual discute-se os principais modelos de otimização – programação linear, programação não-linear e programação dinâmica – e simulação.

Simulação e otimização são ferramentas essenciais no desenvolvimento de base objetiva para uma variedade de decisões operacionais que variam de políticas de gerenciamento ótimo a um conjunto de aparatos de controle. Além disso, cada técnica possui características distintas e executa diferentes funções na análise de determinado sistema hídrico. Simulação é usada para experimentação, buscando apurar o desempenho do sistema em condições variáveis. Embora um modelo de simulação não esteja apto a gerar uma solução ótima a um dado problema, é possível detectar soluções ótimas ou compatíveis com a realidade através da execução de diferentes cenários. As técnicas de otimização baseiam-se em algum tipo de

programação matemática já citadas acima. Cada um destes métodos pode ser aplicado a um ambiente determinístico ou estocástico.

Invariavelmente todas estas técnicas oferecem o potencial de gerar soluções para problemas complexos, respeitando as condições de contorno impostas pela realidade física dos sistemas analisados, ou por condicionantes de ordem legal, econômica, ambiental ou social de cada situação particular (AZEVEDO et al. 1997).

2.2. Conflito de usos múltiplos

O Código de Águas de 1934 reúne legislação sobre matéria do Direito das Águas e regulamenta o uso das águas públicas como um direito de todos. Em seu artigo 36, o código afirma que é permitido a todos usar quaisquer águas públicas conformando-se com os regulamentos administrativos. Baseando-se neste princípio, o gerenciamento dos recursos hídricos tem se utilizado da implantação de reservatórios como uma importante ferramenta para o atendimento dos usos múltiplos das águas e satisfação das necessidades humanas (SILVEIRA et al., 1999). A promulgação da lei 9.443, de 8 de janeiro de 1997, instituiu o princípio dos usos múltiplos como uma das bases da Política Nacional de Recursos Hídricos, e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no intuito de melhor utilizar este bem público. Para atender às demandas de água crescentes faz-se necessário otimizar a operação dos aproveitamentos em busca de melhorar a eficiência dos diversos usos, bem como intensificar o uso de fontes alternativas de energia economicamente viáveis. O crescimento destas demandas por água para os mais variados usos fez crescer e tomar corpo o princípio dos usos múltiplos, gerando uma série de conflitos de interesses que envolvem aspectos ambientais e operacionais.

O Brasil possui 16 % da água doce do planeta, entretanto, já existem no país conflitos pelo uso deste precioso líquido. A situação de desequilíbrio negativo entre oferta e demanda e a questão dos usos múltiplos gera situações de conflito. Por ocasião da crise de energia no mês de abril de 2001, houve uma proposta do setor elétrico para utilizar o reservatório de Ilha

Solteira na bacia do Tietê-Paraná, até o seu volume mínimo, para produzir uma quantidade de energia da ordem de 4.700 MW por mês. Era necessário construir uma barreira no Canal Pereira Barreto, que impediria temporariamente a navegação. Tal situação era inaceitável pelo setor hidroviário, em função da interrupção da navegação e de uma eventual demora na sua retomada. Novas regras operativas foram definidas a partir de um conjunto de reuniões entre os setores, e ao invés de paralisar o setor hidroviário houve um aumento de 26 % na carga de grãos transportada (BRAGA, 2002).

A respeito do projeto da transposição do São Francisco, no período 2000-2001, houve conflito e debates acirrados nos quais registraram-se manifestações públicas com ações que impediram realização de audiências públicas agendadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. O projeto previa, em primeira fase, desviar cerca de $70\text{m}^3/\text{s}$. Nos estados da Bahia, Alagoas e Sergipe formaram-se fortes movimentos contra o projeto liderados por parlamentares e técnicos. Nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba havia movimentos favoráveis liderados por parlamentares (CAMPOS, 2003).

2.3. Modelos de otimização

Um modelo de otimização é constituído por uma função objetivo que se quer maximizar ou minimizar. Além da função objetivo, comparecem também as funções de restrição que delimitam a região viável das variáveis de decisão (BRAGA, 1987).

Procedimentos práticos de otimização para análise de usos múltiplos foram desenvolvidos por Yeh e Becker (1982) a fim de guiar decisões em tempo real na operação de um reservatório de instalações múltiplas. As aplicações foram feitas no Projeto do Vale Central da Califórnia, o qual apresentou cinco usos, tratados aqui como objetivos: 1) produção de energia elétrica; 2) proteção da fauna aquática; 3) manutenção da qualidade da água; 4) abastecimento de água e 5) recreação.

Pereira e Pinto (1985) apresentam esquema computacional capaz de determinar, em cada estágio, a decisão mais econômica de geração para cada usina de um sistema hidrotérmico. O estudo engloba 37 reservatórios localizados nas regiões sul e sudeste do Brasil. O objetivo de operação ótima é conceber critério de geração para cada planta para minimizar o custo de operação ao longo do período de planejamento.

Miloradov e Simonovic (1986) apresentam conceito para otimização de planejamento de recursos hídricos, utilizado em grandes regiões da Iugoslávia, o qual utiliza a otimização em duas fases principais no processo de formulação do plano mestre. Primeiro a técnica é utilizada para avaliar as possibilidades de usos múltiplos de um reservatório considerando os recursos hídricos disponíveis para satisfazer a demanda por água. A segunda fase lida com um ranking de soluções prováveis que satisfaçam a demanda através das limitações dos recursos hídricos.

Segundo Labadie et al. (1992) encontra-se disponível uma ampla variedade de modelos de otimização capazes de estimar o intercâmbio entre objetivos conflitantes. Com o propósito de fornecer orientação, na escolha do melhor método, para lidar com os desafios inerentes à operação de sistemas de múltiplos reservatórios, com características não-lineares, dinâmica, estocástica e de larga escala, os autores realizaram trabalhos no sistema de reservatórios do rio Han, na Coreia, enfocando quatro objetivos principais de projeto: abastecimento de água, produção anual de energia hidrelétrica, geração de energia firme e minimização do risco de violação dos requisitos mínimos para suprimento de água.

Devido à flexibilidade para análise de problemas complexos e o potencial de otimização de resultados, a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia optou pela utilização do MODSIM na análise dos trabalhos de preparação do PGRH - Projeto Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, iniciado em 1995. Foi necessário avaliar os planos para implementação de reservatórios na Bacia do Rio Itapicuru, com o objetivo de garantir, principalmente, que: (a) apenas as alternativas com viabilidade técnica sejam consideradas; (b) a hierarquização dos reservatórios propostos com o objetivo de se determinar quais açudes que deveriam ser construídos primeiro; (c) a capacidade ótima para cada um dos

reservatórios propostos; e (d) a otimização dos investimentos com a minimização de custo e maximização de benefícios (AZEVEDO e PORTO, 1999).

Braga e Barbosa (2001) relatam desenvolvimento de algoritmo de rede de fluxo para otimização de operação em tempo real de sistema de múltiplos reservatórios na bacia do alto Paranapanema. Dois objetivos foram considerados na operação: controle de enchentes e geração de energia elétrica.

Alaya et al. (2003) utilizaram técnica de otimização buscando identificar conduta ótima para melhorar o gerenciamento de recursos hídricos de represa em região árida. A represa de Nebhana, localizada no americano do Alasca, é considerada como representante de conjunto de represas na mesma condição. A otimização estocástica aplicada neste estudo considerou riscos observados nos dados de escoamento de água e eventos futuros. Identificaram várias regras de gerenciamento para represa de Nebhana, cada uma foi otimizada de acordo com ajuste entre dois objetivos opostos: satisfazer demandas de água para irrigação e garantir armazenagem mínima de água na represa.

2.4. Programação Linear

Programação linear é um caso particular do modelo geral de otimização quando um conjunto de restrições e a função objetivo são lineares.

Um exemplo pioneiro de aplicação da programação linear no planejamento de uso múltiplo da água: o plano Hibrace (DAEE, 1968), que contempla um sistema constituído de 31 reservatórios, entre existentes e projetados, para regularização e controle de recursos hídricos da região metropolitana de São Paulo (BRAGA, 1987).

Aplicações da programação linear em recursos hídricos variam de problemas relativamente simples a alocações de recursos em situações complexas de operação e gerenciamento. Existe uma tendência a se incorporar esquemas de otimização em modelos de simulação de modo a desempenhar

certos graus de otimização. Como resultado, a distinção entre otimização e simulação tende a ser obscura YEH (1985).

Em projeto de reservatório para irrigação na região de Karjan, Índia, Srivastava e Patel (1992) utilizaram métodos de otimização seguidos de simulação. Notou-se que a programação linear foi mais adequada para encontrar a capacidade do reservatório, a programação dinâmica foi usada no refinamento dos objetivos buscados e simulação foi então utilizada para obter valores próximos do ótimo das variáveis de projeto.

2.5. Programação Dinâmica

O princípio básico da técnica de programação dinâmica foi proposto em 1957 por Bellman, daí ser conhecido por princípio da otimalidade de Bellman. Aplica-se a sistemas em que a seqüência de decisões evolui no tempo ou no espaço e cuja função objetivo tenha a propriedade markoviana (MAUAD & CORREA FILHO, 2003).

Becker e Yeh (1974) apresentaram uma metodologia que envolve a utilização de uma forma de programação dinâmica para seleção de uma política ótima de armazenamento de reservatório, associada a uma rotina de programação linear, usada na otimização de períodos hidrológicos. Aplicou-se o método a um sistema real de reservatórios e geração de energia elétrica conectado aos sub-sistemas Shasta e Trinity do Projeto do Vale Central da Califórnia.

A programação dinâmica tem sido aplicada no desenvolvimento de políticas de operação de reservatórios onde o desempenho da política adotada pode ser avaliado através de simulação. O método da programação dinâmica é um procedimento para a otimização de processos de decisão multiestágio. A popularidade e sucesso de tal técnica podem ser atribuídos ao fato de que os aspectos não lineares e estocásticos, que caracterizam uma ampla gama de sistemas de recursos hídricos, podem ser traduzidos em formulações de programação dinâmica (YEH, 1985).

Jain et al. (1992) desenvolveram uma metodologia baseada na programação dinâmica para determinar uma política de operação de

reservatório estruturada na consideração explícita de risco. Na formulação do problema objetivou-se a maximização da capacidade de armazenagem do reservatório até o final do período de cheias assegurando que o risco de transbordamento está dentro de limites aceitáveis.

Política de operação ótima para dois reservatórios no Nepal foi determinada por Sahu e Gupta (2001) através da programação dinâmica estocástica. O objetivo foi maximizar a potência gerada pelas usinas hidrelétricas, sujeito às equações de continuidade, vazão turbinada e capacidade de armazenamento dos reservatórios. Um modelo de simulação foi incorporado, e utilizou a resposta da otimização e séries sintéticas de vazões para descrever as modificações ocorridas no fluxo do rio a jusante dos reservatórios, onde há grande projeto de irrigação. Através de índices de confiabilidade, o estudo mostrou que nas estações secas haverá acréscimo de até 20 por cento na oferta de água para as culturas irrigadas.

2.6. Programação Não Linear

Uma metodologia de programação não linear foi aplicada por Sinha et al. (1999) às bacias dos rios Auranga, Ambica e Purna, na Índia. O modelo fornece os valores das variáveis de decisão. Utilizando estes valores, liberações mensais são computadas, e a capacidade necessária do reservatório é avaliada através de simulação, usando vazões históricas. Então, os valores correspondentes à função objetivo são avaliados. Se a iteração satisfaz o critério ótimo, termina o processo de otimização, senão uma nova iteração é realizada e o processo se repete até que uma solução ótima seja encontrada.

Modelos de programação não linear capturam características mais realistas do sistema, mas introduzem dificuldades computacionais significativas.

2.7. Modelos de Simulação

Simulação é uma técnica de modelagem utilizada para aproximar o comportamento de um sistema no computador, representando todas as características do sistema em grande parte por descrições algébricas ou matemáticas.

Hufschmidt e Fiering (1966) demonstraram a aplicação da simulação computacional em recursos hídricos através da descrição do processo de desenvolvimento de um modelo de simulação para o rio Lehigh. Mais tarde os mesmos autores expandiram as rotinas e sub-rotinas do modelo anterior e o aplicaram à bacia do rio Delaware, nos Estados Unidos.

Para Hall e Dracup (1970) simulação pode ser definida como a reprodução da essência de um sistema sem a necessidade de reproduzir o sistema como um todo. As características essenciais do sistema são reproduzidas num modelo as quais são estudadas numa escala de tempo abreviada. Os autores comentam que o uso predominante do termo simulação tem o significado de um modelo que é formulado a partir de relações algébricas e aritméticas associadas a processos lógicos.

Yeh (1985) explica que um modelo de simulação fornece resposta do sistema para certas entradas, que incluem regras de decisão, de modo que permita ao tomador de decisões examinar as conseqüências de vários cenários de um sistema já existente ou de um novo sistema sem na realidade construí-lo.

Simulação computacional fornece abstração de um sistema real, conservando detalhes suficientes para representar fielmente os processos importantes do sistema e sua variabilidade. É usual acreditar que um modelo de simulação fornecerá a melhor estimativa de produção para um sistema hídrico. Isto não é necessariamente uma verdade, embora, ao estabelecer vários cenários, os modelos de simulação possam oferecer ao operador uma alternativa ótima ou próxima a ela. Um simulador possui extensa gama de propósitos; pode ser usado como ferramenta de pesquisa, elaboração de políticas ou para projetos de engenharia, por exemplo.

Para planejamento de bacia hidrográfica, existem modelos atuais, principalmente os hidrológicos, que estão disponíveis. Os modelos hidrológicos podem simular os efeitos de sistemas de processos hidrológicos tais como infiltração, escoamento, fluxo de água subterrânea, interceptação,

evapotranspiração e armazenamento, e eles computam balanços de massa completos (TUCCI, 1987).

Visando plano de longo prazo integrando agricultura e recursos hídricos, Piper et al. (1989) criaram modelo de simulação para auxiliar desenvolvimento de estratégias de usos da água na bacia do rio Chi, Tailândia. Dentre as estratégias foi prevista formulação de programa racional de planejamento hídrico para evitar déficits econômicos causados pela competição por suprimentos hídricos limitados, consequência da exploração descontrolada e alocação equiparável de recursos entre usuários de água. Modelos genéricos de simulação como HEC-3 (US Corp of Enginners, 1968) e SSARR (Rockwood, 1964) estavam disponíveis, porém esquemas para irrigação não estavam incluídos nestes modelos, além de apresentarem elementos redundantes ao estudo em questão.

Raskin et al. (1992) aplicaram o WEAP – Water Evaluation and Planning System – para simular balanços hídricos e estratégia de gerenciamento na região do mar Aral. WEAP trata itens de demanda e suprimento de maneira compreensiva e integrada. Devido ao constante desaparecimento do mar Aral, resultado de massivas retiradas de água dos rios que o abastecem, os autores executaram uma simulação detalhada de demanda e suprimento para o período de 1987 a 2020, considerando a continuidade das práticas atuais de irrigação.

O departamento de recursos naturais e conservação do estado de Montana, nos Estados Unidos, desenvolveu um modelo hidrológico para auxiliar na análise dos efeitos provocados pela alocação de água para usos consuntivos e afluência a montante da bacia do rio Missouri. O modelo, programado em linguagem FORTRAN, utilizou o balanço de massas para calcular as vazões mensais, operação de reservatórios, produção de energia hidrelétrica, capacidade de irrigação e usos para abastecimento urbano para um período base de 59 anos. Os resultados foram utilizados por um grupo local de especialistas em planejamento de recursos para avaliar os impactos potenciais referentes aos aspectos quantitativos e distribuição de água, direitos de outorga, qualidade da água, alterações no leito dos rios, vida selvagem, recreação, produção de energia e economia. O modelo mostrou-se uma

importante ferramenta e sua simulação formulou as bases hidrológicas para o relatório de impacto ambiental trazido a público (DOLAN & DELUCA, 1993).

Dandy et al. (1997) citam inúmeros pacotes de simulação disponíveis. Dentre eles estão o HEC-3 e HEC-5 (Feldman 1986), MITSIM (Strzepek et al. 1989), RESQ (Ford 1990) e IRAS (Loucks et al. 1993), todos diferem entre si em termos de capacidade, interface, entradas e saídas.

Atualmente, os avanços na tecnologia da computação, aliados ao aumento de complexidade nos problemas de gerenciamento de recursos hídricos, têm estimulado a prática maior de modelos matemáticos como ferramentas para auxiliar as tomadas de decisão. Aparentemente, o que é necessário é uma reunião integrada de modelos, dados e rotinas de interpretação, que processa eficientemente dados de entrada e expõe os resultados em formato fácil de ser interpretado (BRAGA et al., 1998).

Fácil de utilizar e altamente interativa a simulação computacional fornece meios para que profissionais desenvolvam entendimento conceitual e intuitivo do comportamento físico de um determinado sistema.

O NILESIM foi desenvolvido com propósitos educacionais para explicar o comportamento complexo de um rio e seu gerenciamento. Levy e Baecher (1999) aplicaram o modelo na bacia do rio Nilo, para ilustrar às pessoas de áreas não técnicas, ligadas ao planejamento de recursos hídricos, o desafio a ser enfrentado, em termos de abastecimento de água, devido ao rápido crescimento populacional na bacia.

O modelo SIMRES (PORTO, 1997) também foi desenvolvido com finalidade didática, visando demonstrar uma metodologia alternativa para o dimensionamento do volume útil de um reservatório, além disso serve também para estudar a escolha de regras de operação de um sistema com único reservatório. A versão original do SIMRES está voltada ao estudo do reservatório do Guarapiranga, mas pode ser adaptado a outros sistemas com um reservatório.

Belaineh et al. (1999) apresentaram um modelo de simulação/otimização (S/O) que integra regras de decisão linear de reservatório, simulações detalhadas de fluxos do sistema rio/aquífero, uso consuntivo de água superficial e subterrânea, e distribuição por canais de derivação para usuários de água. Tal modelo testou as hipóteses que

melhoram a representação de interações escoamento superficial/aquífero (sw/a) dentro de um modelo S/O de um sistema de distribuição/ reservatório/ aquífero/ rio.

Ritschad et al.(1999) conduziram análises sobre impacto na precipitação futura e estimativa de escoamento em regiões competitivas por recursos hídricos no sudeste dos Estados Unidos, utilizando o modelo climático global do Hadley Centre (HADCM2). Características relacionadas ao gerenciamento agrícola, retirada para irrigação e qualidade da água foram estudadas ao longo de três períodos em cinco bacias hidrográficas que constituem fronteiras entre o Alabama e Mississipi – regiões citadas anteriormente exibindo problemas hídricos. Um modelo de crescimento de plantações gerou as necessidades de água para irrigação e foi conjugado ao modelo de balanço hídrico SWAT que estimou escoamentos mensais para as bacias impactadas. Os resultados do estudo revelaram que nos próximos 20-40anos a disponibilidade de água na área estudada declinará em torno de 10 por cento durante períodos em que as necessidades hídricas para produção agrícola serão cruciais. O estudo mostra também que para futuros regimes climáticos pode haver incremento da irrigação e aumento da competição entre outros usos como doméstico, industrial, recreação e qualidade do ecossistema.

Neelakantan e Pundarikanthan (1999) propuseram uma metodologia de planejamento para o sistema de abastecimento de água na cidade de Chennai (India). O método focou o aprimoramento do desempenho de operação do reservatório através de procedimentos de simulação/otimização.

Mauad (2000) apresentou os resultados da simulação computacional para o aproveitamento de fins múltiplos de Alqueva, Portugal. O sistema simulado inclui os rios Guadiana e Ardila, a barragem de Alqueva e o açude de Pedrogão. Utilizou-se o modelo para a determinação da resiliência, confiabilidade e vulnerabilidade do sistema considerando os diversos usos da água.

Brandão e Rodrigues (2000) também utilizaram o IRAS (Interactive River-Aquifer Simulation) para caracterizar a vulnerabilidade dos recursos hídricos na fronteira entre Portugal e Espanha, a jusante do rio Guadiana. Caracterizou-se três objetivos principais: fornecer parâmetros para

tornar os futuros usos de água compatíveis com a sustentabilidade da vazão ecológica no rio Guadiana; testar o desempenho de armazenagem do reservatório de Alqueva para seis cenários futuros e auxiliar na verificação das ações negociadas entre Portugal e Espanha para o convênio de uso conjunto e sustentável da água.

O modelo de simulação para o lago Nasser (SMLN) foi elaborado para testar diferentes condições hidrológicas e políticas de operação no reservatório de Aswan, Egito. Após trinta anos de operação os planejadores egípcios experimentaram ciclos de enchentes e secas o que os levou a considerar um ajuste no modelo. Fahmy (2001) descreve a recalibração do modelo utilizando alguns parâmetros e ajustes em relação à formulação matemática original. Elementos da equação de balanço de massa foram modificados. Os resultados mostraram uma melhora no desempenho e precisão do SMLN atual quando comparado com a versão original.

Na Coréia do Sul, o modelo hidrológico SLURP foi utilizado para simular o ciclo hidrológico completo do rio Mekong e seus tributários a fim de gerar dados para avaliar possíveis impactos causados nas regiões pesqueiras devido ao desenvolvimento da bacia. O modelo realiza balanço hídrico vertical e simula ciclo hidrológico da precipitação ao escoamento incluindo o efeito de reservatórios e retiradas de água (KITE, 2001).

A flexibilidade da simulação é a sua maior vantagem, permitindo basicamente que qualquer sistema seja representado matematicamente através de modelos para computador. Santo et al. (2001) estimaram vazões de água em diversos compartimentos da bacia do Igarapé Pedra Preta, no Amapá, através de simulações utilizando um modelo hidrológico simplificado, onde foram considerados apenas os principais aspectos físicos.

Yen e Chen (2001) simularam a integração entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos baseados em previsão de demanda e suprimento de água em 2011 para três alocações estratégicas de água consideradas prioritárias no sul de Taiwan: uso da água, direito ao uso da água e propósitos de utilização.

A técnica permite também que os problemas sejam analisados com o nível de detalhamento necessário aos objetivos do analista, embora a complexidade para o desenvolvimento e aplicação de tais modelos seja

diretamente proporcional ao nível de detalhe que se espera obter. Auxiliados pelo modelo HYDRO, Tate e Farquharson (2001) descreveram a simulação de um sistema composto pelo armazenamento de Tarbela, com a hidrelétrica de Ghazi Barotha a jusante e o plano de construção da barragem de Basha a montante. O modelo de simulação a ser escolhido deveria ser capaz de considerar os freqüentes conflitos surgidos pelas demandas por geração de energia e irrigação, assim como avaliar os impactos das varias estratégias de operação dos reservatórios. A utilização do software HYDRO trouxe ao estudo uma abordagem inovadora que permitiu avaliar a relação entre suprimento e demanda na bacia do rio Indus, na Índia, para uma série de cenários que envolveram estruturas em operação e em fase de projeto considerando diferentes horizontes de tempo.

Ali e Shui (2001) desenvolveram e compararam satisfatoriamente capacidade de armazenamento de modelo de simulação com capacidades de armazenamento observadas em reservatório do projeto de irrigação de Muda, Malásia. Desenvolveram e aplicaram modelo de otimização procurando solucionar conflitos de usos de água. Foi calculada a demanda ótima por irrigação, liberação e armazenamento ótimos do reservatório. Também foi obtida a média ótima da necessidade hídrica total para as estações de seca e chuva.

É comum o emprego de modelos de simulação no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. O HEC-5 (HEC 1979) foi desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Corps (HEC) para controle de cheias e armazenamento de água. O modelo de simulação estocástica foi utilizado na concepção de políticas de operação conjunta realizadas por Kuo & Young (1985) para os reservatórios de Shimen e Feitui. A Delft Hydraulics (1991) desenvolveu o modelo de simulação RIBSIM para analisar o planejamento de longo prazo entre demanda e suprimento em Taiwan. Um modelo de simulação para redes de fluxo foi formulado por Chow (1995) para o gerenciamento de recursos hídricos no divisor de águas entre Tsenwen e Kaoping ao sul de Taiwan (HSU & CHENG, 2002).

Bradley (2002) descreve o uso do MODFLOW na simulação de sucessivos períodos hídricos em planície pantanosa do Reino Unido, denominada Narborough Bog. MODFLOW requer entradas semanais de

precipitação, evapotranspiração e vazão. O modelo reproduz a variação temporal observada nos dados hidrológicos ilustrando as condições limites do pântano, suas relações com fatores hidrometeorológicos e a variabilidade sazonal e anual de água.

Problemas de alocação de água podem envolver restrições econômicas, ambientais e hidrológicas complicadas e objetivas de gerenciamento conflitantes. As complicações são particularmente causadas pelos diferentes comportamentos de água subterrânea e superficial e a interação entre estes componentes e gerenciamento deles.

Peixoto (2002) em seu estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim/Grande, também se utilizou os recursos do Interactive River-Aquifer Simulation (IRAS) a fim de analisar os conflitos gerados no aproveitamento de usos múltiplos de água na bacia em questão, levando em consideração o cenário atual e o futuro associado à implementação de três pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Lima, G. (2002) analisou os conflitos gerados pelos diversos usos de água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba. O estudo focou a racionalização do volume de água usado nas atividades captadoras. Para tanto Lima utilizou o modelo Mike Basin 2000 no qual realizou simulações computacionais para diversos cenários com o objetivo de integrar e otimizar os múltiplos usos de água na bacia citada. A otimização foi realizada através da integração do modelo com a função Solver do Excel™. O Solver foi usado para achar o "ótimo", possibilitando: análise de sensibilidade, otimização, avaliação de múltiplos cenários e comparação gráfica.

Lima, A. et al. (2003) descrevem o modelo Rio Grande utilizado pela Companhia Hidrelétrica do Estado de Minas Gerais (CEMIG) para servir ao sistema de previsão hidrológica de curto prazo para controle operacional do aproveitamento hidrelétrico de Camargos. Rio Grande é um modelo de simulação chuva-vazão composto por três módulos: produção, concentração e propagação. O módulo de produção transforma chuva em escoamento superficial em toda área da sub-bacia; o módulo de concentração tem por finalidade concentrar o escoamento no final de cada sub-bacia; e o módulo de propagação distribui as vazões geradas ao longo da rede de drenagem. O MSD-30 descrito por Fernandes et al. (2003) é uma simplificação de modelo

Rio Grande onde apenas o módulo de produção é considerado. É feito balanço de umidade, a partir de totais mensais de precipitação e evaporação, obtendo-se ao final de cada intervalo de simulação uma lâmina de escoamento uniformemente distribuída sobre a bacia em análise.

2.8. Sistemas de Suporte à Decisão

Atualmente, os avanços na tecnologia da computação, aliados ao aumento de complexidade nos problemas de gerenciamento de recursos hídricos, têm estimulado a prática maior de modelos matemáticos como ferramentas para auxiliar as tomadas de decisão. Aparentemente, o que é necessário é uma reunião integrada de modelos, dados e rotinas de interpretação, que processa eficientemente dados de entrada e expõe os resultados em formato fácil de ser interpretado. Tal conjunto pode ser chamado de Sistemas de Apoio à Decisão (BRAGA et al., 1998).

Para Souza Filho e Gouveia (2003) a tomada de decisões técnicas e operacionais, no campo dos recursos hídricos, necessita de modelos de previsão confiáveis, que proporcionem respostas rápidas e tenham manuseio amigável.

Kaden (1986) relata desenvolvimento de Sistema de Suporte à Decisão elaborada pelo International Institute for Applied System Analysis (IIASA) com objetivo de analisar e aplicar políticas de utilização da água em uma área de mineração de lignita, na Austria. O sistema consiste de um modelo de simulação que considera os múltiplos interesses e objetivos dos grupos enfatizando os aspectos econômicos e a política de longo prazo para abastecimento de água.

Thiessen e Loucks (1992) descreveram um programa para simulação computacional elaborado para auxiliar nos processos de negociação comuns em usos conflitantes de recursos hídricos. Este sistema interativo de suporte à negociação é denominado ICANS. O programa foi desenvolvido para negociações dinâmicas, multi-critérios e plurilateral. Baseado em informação fornecida em sigilo por cada parte através de uma interface gráfica interativa, o sistema pode ajudar na determinação da existência de alguma alternativa

possível, cabível a ambas as partes, onde anteriormente haveria ausência de acordo negociado.

O Aquatool (ANDREU, 1996) foi originalmente desenvolvido para tomada de decisão na fase de planejamento de recursos hídricos em bacias complexas. Esquemas relativos ao estágio operacional foram posteriormente incorporados ao sistema. O modelo inclui módulos de simulação e otimização, módulo de fluxo em aquífero e dois módulos de avaliação de risco.

Azevedo et al. (1998) apresentaram o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão para integração de objetivos de quantidade e qualidade da água no gerenciamento de sistemas de aproveitamento de recursos hídricos, aplicado à bacia do rio Piracicaba, no Estado de São Paulo. O sistema é capaz de simular a operação de um conjunto de reservatórios, as descargas em rios situados a jusante dos reservatórios, e a qualidade da água na bacia hidrográfica. O SAD combina um modelo de qualidade de águas superficiais (QUAL2E) e um modelo de simulação de rede de fluxo (MODSIM) em uma interface amigável. O SAD permite a determinação da probabilidade de ocorrência dos resultados obtidos através da simulação estocástica. A metodologia utilizada envolveu a separação dos aspectos de quantidade e qualidade em sub-problemas distintos, resolvidos simultaneamente através da interação entre ambos. Um terceiro módulo para avaliação de resultados é composto por uma série de indicadores de performance especialmente desenvolvidos para facilitar a análise conjunta de objetivos de quantidade e qualidade.

Buscando ilustrar o potencial de utilização de modelos de rede de fluxo como instrumentos de suporte a decisão no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, Azevedo e Porto (1999) apresentaram um exemplo da utilização do modelo MODSIM como parte de um sistema de apoio à decisão (SAD) destinado a facilitar a operação estratégica do reservatório de Santa Juana no Chile. No estudo o modelo foi utilizado com objetivo principal de auxiliar no processo decisório sobre a compra e venda de quotas do reservatório (direitos de uso da água) entre o governo Chileno e os irrigantes do Vale do Rio Huasco. Para tal, foram analisados os benefícios derivados da construção de Santa Juana através da comparação de situações típicas com e sem reservatório, a relação entre os percentuais de segurança no fornecimento

de água e a área plantada e o tempo necessário para o enchimento do reservatório e o início de sua operação efetiva.

Frouck (2001) relata o desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão para previsão de demanda de água para uso doméstico como parte de um sistema computacional altamente integrado para gerenciamento de bacias hidrográficas. O sistema fornece ao planejador demanda futura de água para uso doméstico em qualquer região e período, assegurando possibilidade de introduzir medidas de gerenciamento de demanda. O sistema tem capacidade de prever demanda doméstica através de vários métodos dependendo da disponibilidade dos dados.

O RiverWare (ESCHENBACH et al., 2001) é um sistema de suporte à decisão que permite aos engenheiros de recursos hídricos simular e otimizar políticas de gerenciamento em sistemas de reservatórios destinados a múltiplos usos.

Operação em tempo real de múltiplos reservatórios requer decisões oportunas de liberação em curtos intervalos de tempo tal qual uma hora ou menos. Decisões operacionais são ainda mais complicadas se muitos reservatórios servem a usos múltiplos como geração de energia, suprimento de água e controle ambiental. Um sistema de suporte à decisão funciona como um consultor gerencial computadorizado que utiliza base de dados para fornecer informação adequada aos tomadores de decisão (SHIM, 2002).

Cai et al. (2003) descreveram o desenvolvimento e aplicação de um SSD que integra componentes hidrológicos, econômicos e agrônômicos, em um único modelo. Foi feito para aplicações em regiões áridas, onde a irrigação domina os principais usos da água. Segundo os autores o usuário terá habilidade para refletir sobre estes três componentes, suas inter-relações e conseqüências quando uma política de planejamento for escolhida.

3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE

3.1. Contextualização Geral

As bacias hidrográficas do Estado de São Paulo pertencem à bacia do rio Paraná ou às bacias do Atlântico Sul-Leste e Atlântico Sudeste, conforme divisão hidrográfica adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), atual agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A primeira divisão hidrográfica do Estado de São Paulo remonta ao Decreto 4.388, de 14 de março de 1928, que regulamentou a Lei 2.261, de 31 de dezembro de 1927. Nas décadas de 60/70, os estudos de planejamento de recursos hídricos realizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) consideraram subdivisões hidrográficas ao longo da bacia do rio Tietê. A partir de 1972, com o fim de sistematizar as atividades de cadastramento e outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a Diretoria de Planejamento e Controle do DAEE subdividiu as zonas hidrográficas em 18 subzonas. Com a criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), pelo Decreto 27.576 de 11 de novembro de 1987, ficou estabelecido como um de seus objetivos a proposição de formas de gestão descentralizada dos recursos hídricos, em nível regional e municipal, adotando-se as bacias hidrográficas como unidades de gestão, de forma compatibilizada com as divisões político-administrativas (PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 1990/ 2000-2003).

A Lei 9.034, de 27 de dezembro de 1994, dividiu o Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's): Mantiqueira, Paraíba do Sul, Litoral Norte, Pardo, Piracicaba/Capivari/Jundiaí,

Alto Tietê, Baixada Santista, Sapucaí/Grande, Mogi-Guaçu, Tietê/Sorocaba, Ribeira do Iguape, Baixo Pardo/Grande, Tietê/Jacaré, Alto Paranapanema, Turvo Grande, Tietê/Batalha, Médio Paranapanema, São José dos Dourados, Baixo Tietê, Aguapeí, Peixe e Pontal do Paranapanema (Figura 2).

A divisão levou em consideração as características físicas (geomorfologia, geologia, hidrologia regional e hidrogeologia) e os aspectos políticos e sócio-econômicos (compatibilização com a divisão regional existente, número de municípios, áreas de cada unidade, distâncias rodoviárias, aspectos demográficos e sócio-econômicos) das regiões.

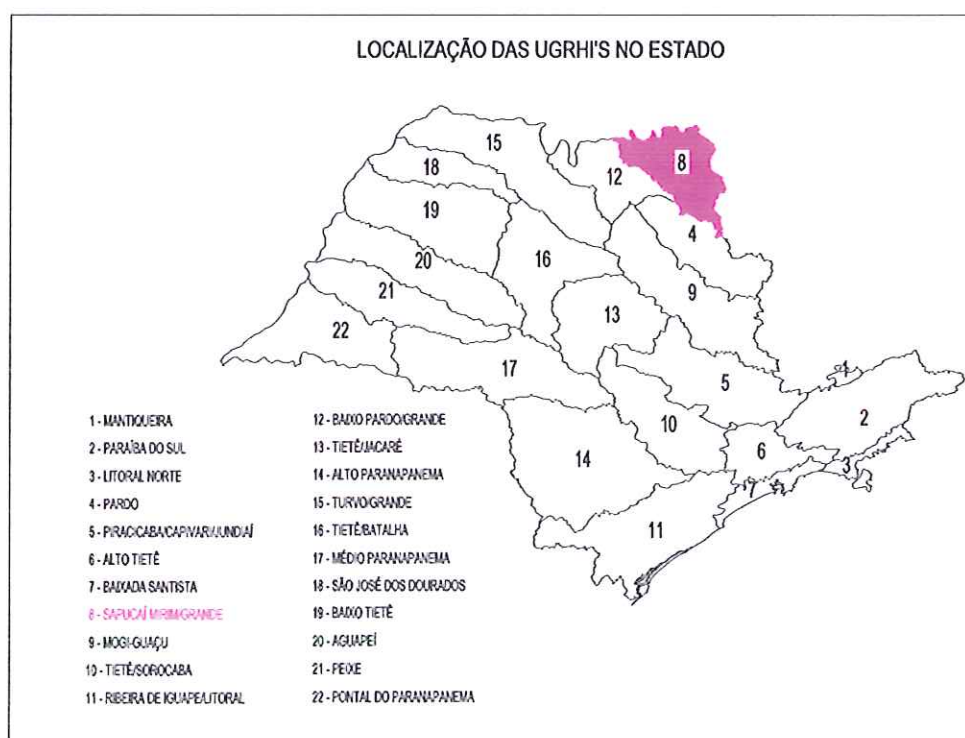


FIGURA 1: Localização das UGRHI's no Estado de São Paulo.
Fonte: Relatório zero - CBH/SMG

Essas UGRHI's foram criadas com o propósito de favorecer o planejamento e a utilização integrada dos recursos hídricos, procurando a resolução de conflitos como o desequilíbrio entre demanda e disponibilidade de água e, a manutenção de uma boa qualidade da água.

3.2. Localização

A Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande foi definida como a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos número oito (UGRHI 08) conforme divisão proposta pela Lei n. 9.034/94, de 27/12/94. Localiza-se a nordeste do estado de São Paulo, tem a Rodovia Anhangüera como principal via de acesso a partir da capital do Estado, e apresenta como bacias limítrofes as UGRHI's do Pardo e Baixo Pardo/Grande. Vinte e dois municípios possuem sede na Bacia e dois em outra UGRHI: Aramina, Batatais, Buritizal, Cristais Paulista, Franca, Guará, Guará, Igarapava, Ipuã, Itirapuã, Ituverava, Jeriquara, Miguelópolis, Nuporanga, Patrocínio Paulista, Pedregulho, Restinga, Ribeirão Corrente, Rifaina, Santo Antônio da Alegria, São Joaquim da Barra e São José da Bela Vista (com sede na bacia) e os municípios de Altinópolis e Orlandia, com suas respectivas sedes na UGRHI 04 – Bacia do Pardo/Grande.

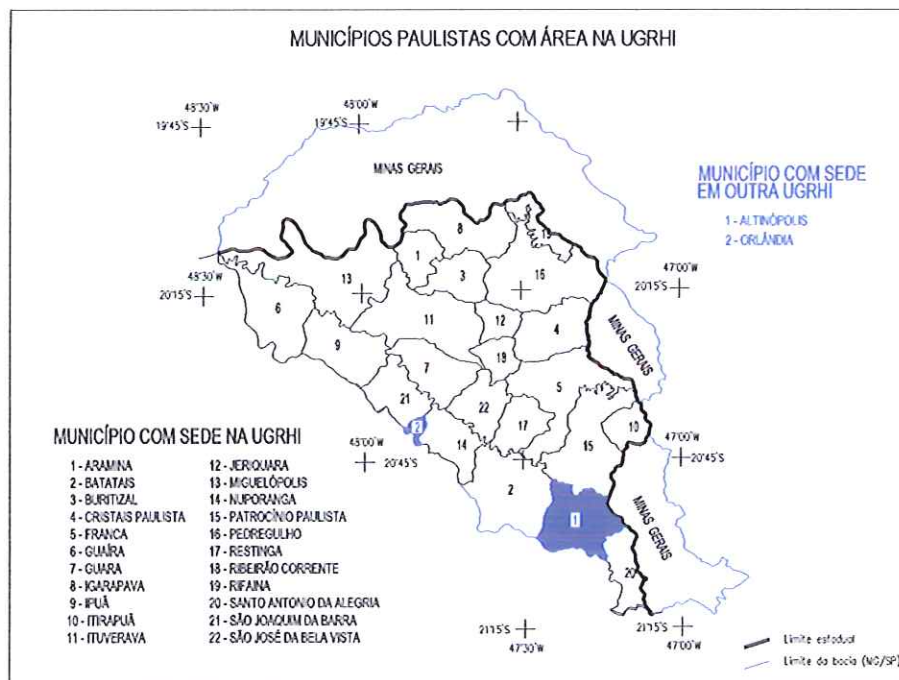


FIGURA 2: Municípios pertencentes à UGRHI 08.
Fonte: Relatório zero – CBH/SMG

3.3. Área Total e Sub-bacias

Dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande (CBH/SMG) revelam que a UGRHI 08 configura uma área de 9.166,86 km² definida principalmente pela bacia do rio Sapucaí-Mirim e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o rio Grande. O rio Sapucaí é formado pela confluência do córrego da Rocinha com os ribeirões Tomba Perna e Pinheirinho, próximo à divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais, rumando, na direção noroeste até a confluência com o rio Grande. Seus principais afluentes são o ribeirão Jardim, pela margem esquerda; e os ribeirões Sete Lagoas, da Estiva, Salgado, Santa Bárbara e Fortaleza, pela margem direita.

Foram delimitadas sete sub-bacias considerando os principais afluentes da Bacia do Rio Sapucaí-Mirim/Grande: Alto Sapucaí, Médio Sapucaí, Baixo Sapucaí, Ribeirão do Jardim/Córrego do Lajeado, Rio do Carmo, Afluentes do Rio Grande e Rio Canoas.

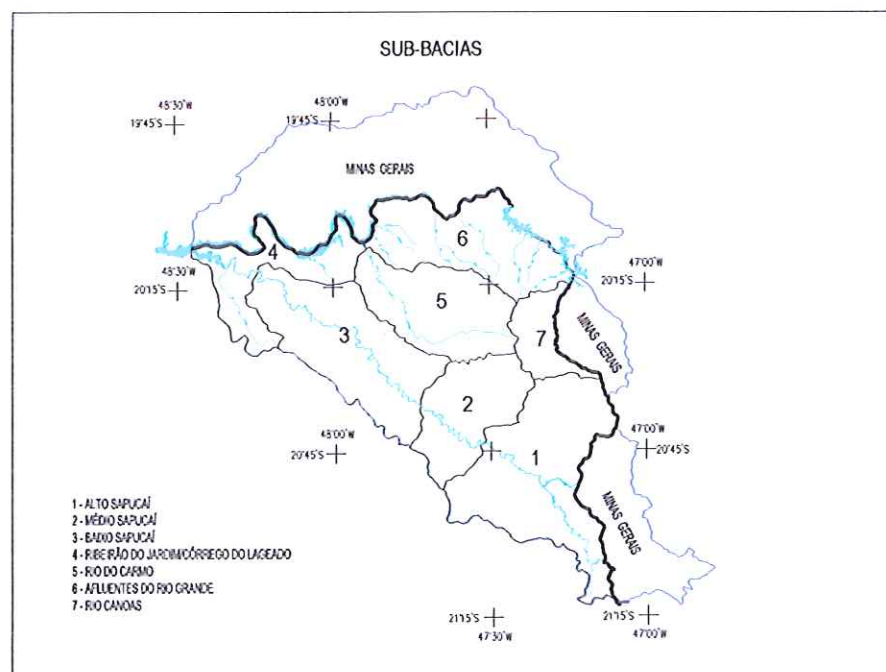


FIGURA 3: Principais sub-bacias que compõem a UGRHI Sapucaí-Mirim/ Grande.
Fonte:-- CBH Relatório zero /SMG

Abaixo tem-se caracterização das sub-bacias que compõem a UGRHI 08.

- Alto Sapucaí: tem uma área de 2.151,44 km² (Estado de São Paulo), embora os afluentes principais que formam os rios Sapucaí-Mirim, do Esmeril e Santa Bárbara nascem em território mineiro. Esta sub-bacia abrange inteiramente os municípios de Itirapuã, Patrocínio Paulista e Santo Antônio da Alegria e parcialmente os municípios de Batatais e Altinópolis;

- Médio Sapucaí: com uma área de 1059,82 km², abrange os municípios de Restinga, São José da Bela Vista e parcialmente os municípios de Franca e Nuporanga. Os principais afluentes que drenam para esta sub-bacia são: ribeirões dos Bagres, Santo Antônio, do Salgado (margem direita) e da Pimenta e córregos das Corredeiras, da Barrinha e das Palmeiras (margem esquerda);

- Baixo Sapucaí: com uma área de 1.834,55 km², fazem parte desta sub-bacia os municípios de Guará, Ipuã, São Joaquim da Barra e parcialmente os municípios de Nuporanga, Ituverava, Miguelópolis, Guaíra, além de uma pequena área do município de Orlandia que tem sede fora da Bacia;

- Ribeirão do Jardim/Córrego do Lajeado: esta sub-bacia, com 945,68 km², é composta pelo afluente do ribeirão do Jardim, que tem sua foz na entrada do reservatório de Volta Grande e corresponde à área do município de Guaíra, além de outros afluentes de primeira ordem e dos córregos do Lajeado e da Penitência que drenam direto para o reservatório de Volta Grande na área do município de Miguelópolis;

- Rio do Carmo: com 1.303,36 km², esta sub-bacia tem como afluentes principais os ribeirões do Japão, Água Limpa, Ponte Nova e da Bandeira. Apenas o município de Jeriquara está inserido totalmente na sub-bacia, enquanto os municípios de Ribeirão Corrente, Cristais Paulista, Pedregulho, Ituverava, Buritizal, Aramina e Miguelópolis estão parcialmente na área desta sub-bacia;

- Afluentes do Rio Grande: corresponde ao conjunto dos cursos d'água que drenam diretamente para o reservatório do rio Grande e formam uma área de 1.425,80 km², destacando-se como principais afluentes os ribeirões Bom Jesus, São Pedro, do Pari e do Tamanduá. Esta sub-bacia

abrange a área total dos municípios de Rifaina e Igarapava e parcialmente as áreas dos municípios de Pedregulho, Buritizal e Aramina;

- Rio Canoas: com apenas 446,21 km², fazem parte desta sub-bacia os municípios de Franca e Cristais Paulista.

3.4. Aspectos Físicos

3.4.1. Geologia

A bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim/Grande situa-se geologicamente na borda nordeste da Bacia Intracratônica do Paraná, dentro dos grupos tectônicos Tubarão e São Bento.

A Formação Aquidauana, pertencente ao Grupo Tubarão, é a unidade geológica mais antiga da Bacia do Paraná na área da UGRHI 08. Nela são encontradas duas reduzidas exposições de arenitos nos seus extremos nordeste e sudeste, ambas junto ao limite com o Estado de Minas Gerais.

Pertencem ao Grupo São Bento as unidades litoestratigráficas que ocupam maior parte da área da bacia do Sapucaí-Mirim/Grande. São as rochas mesozóicas, representadas pelas formações Pirambóia, Botucatu e as rochas ígneas basálticas da Formação Serra Geral. A primeira delas é uma das unidades sedimentares de maior ocorrência no alto curso do Rio Sapucaí-Mirim. As características litológicas e sedimentares desta unidade, sugerem origem continental fluvial com depósitos de rios meandранtes e pequenas lagoas associadas, em condições climáticas oxidantes. É composta por uma sucessão de camadas arenosas de coloração avermelhada a esbranquiçada que atingem 270 m de espessura em superfície, podendo apresentar espessuras da ordem de 350 m em subsuperfície. A formação Pirambóia é constituída por arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados de grãos médios a muito finos, sílticos-argilosos, polidos, subangulares e subarredondados, com intercalações de camadas de argilitos e siltitos. As estruturas presentes são representadas por estratificação cruzada, plana e acanalada. Estratificações plano-paralelas nas porções síltico-argilosas são as estruturas sedimentares mais comuns.

A formação Botucatu possui distribuição menos generalizada. As maiores áreas de ocorrência dos arenitos Botucatu dentro da UGRHI 08 encontram-se expostas na porção superior média da bacia do rio Sapucaí-Mirim, a nordeste do município de Batatais, e na região compreendida aproximadamente pelos municípios de Ituverava, Igarapava e Rifaina. É constituída por arenitos avermelhados com estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, de granulação fina a média, com grãos bem selecionados e bem arredondados, em geral foscos e apresentando alta esfericidade. Podem ocorrer na porção basal da unidade, corpos lenticulares de arenitos heterogêneos, de granulação média a grossa, passando a arenitos conglomeráticos, cujos seixos são em maioria de quartzo e quartzito. A característica fundamental desta unidade é a monótona sucessão de corpos conciformes de arenitos com seleção regular a boa, com teor de lama (silte e argila) em média inferior a 10%.

A terceira unidade litoestratigráfica é a Formação Serra Geral que apresenta a maior distribuição em área na UGRHI, e cujos derrames apresentam-se distribuídos a Norte e Sudeste da bacia, além de recobrir em grande parte os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu na faixa leste. A unidade consiste de lavas basálticas, teleíticas de textura afanítica, coloração cinza a negra, amigdaloidal no topo dos derrames, e com grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais. Intercalações de arenitos finos a médios, com estratificação cruzada tangencial, ocorrem principalmente na porção basal. Associam-se-lhes corpos intrusivos denominados pelo IPT, de intrusivas básica tabulares de mesma composição constituindo sobretudo diques e sills. Tais rochas intrusivas, apresentam granulação mais grossa que as extrusivas basálticas, são holocristalinas e freqüentemente apresentam textura ofítica. Nas bordas, contudo, texturas e estruturas semelhantes à dos derrames são às vezes observados em diques e sills de pequena espessura. Os diques, verticais a subverticais, geralmente preenchem fendas de tração, sendo paralelos às paredes, podendo também associar-se a sills e cortarem os derrames. A uniformidade dos de derrames, a vasta extensão que cobrem, a associação a diques contemporâneos, a preservação local de morfologia das dunas e a raridade dos produtos piroclásticos indicam que os basaltos da Formação Serra Geral se originaram de extravasamento rápido de lava muito

fluída através de geoclases e menores falhas. A persistência das condições desérticas durante o vulcanismo é comprovada pela existência de intercalações eólicas.

Seguem-se, em termos de área de distribuição, a seqüência sedimentar supra-basáltica correlacionadas à Formação Itaqueri, de idade cretácica a terciária, e os sedimentos quaternários. Ocorrem ao Norte e ao Sul do médio curso do Sapucaí-Mirim no limite da UGRHI 08 com as UGRHIs 04 (Pardo) e 12 (Baixo Pardo/Grande), na região de Batatais e Nuporanga. São arenitos conglomeráticos siltitos e conglomerados oligomíticos com estruturas hidrodinâmicas, porém de composição predominantemente quartzítica e quartzosa, isolados em interflúvios situados na porção média da bacia do rio Sapucaí-Mirim. As características dos sedimentos e das estruturas apontam ambiente fluvial muito enérgico. Sujeito a bruscas mudanças de velocidade de transporte.

As rochas quartzíticas do Grupo Canastra são as únicas representantes do embasamento cristalino expostas na área da UGRHI 08, tendo área de ocorrência de pequena expressão na sua porção nordeste, junto ao Reservatório de Jaguará no rio Grande.

Sedimentos continentais indiferenciados são depósitos de natureza areno-argilosa e caráter variado associados a encostas. São encontradas inúmeras ocorrências na porção centro-oeste da UGRHI, de São Joaquim da Barra, ao sul, e proximidades de Miguelópolis, ao norte. Ocorrem ainda ocupando espigões na região de Franca, Cristais Paulista e Pedregulho. Na área da UGRHI 08 estão amplamente distribuídos em extensas coberturas arenosas de origens diversas, em idades diferentes compreendendo depósitos eluviais, coluviais, de tálus e algumas coberturas de derivação incerta.

Sedimentos aluvionares aparecem principalmente no vale do rio Sapucaí-Mirim - a nordeste de Batatais - e na porção noroeste da UGRHI, nos vales de diversas drenagens da região de Guaíra e a leste e sul de Miguelópolis. São aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais (subordinadamente), em depósitos de calha e/ou terraços. Parte destes depósitos de idade quaternária são portadores, na região de Franca, de mineralizações diamantíferas.

3.4.2. Geomorfologia

A paisagem da Bacia do Sapucaí-Mirim/Grande é composta pelas unidades de relevo do Estado de São Paulo inseridas em sua maior parte na Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas e parcialmente na Província do Planalto Ocidental Paulista.

As Cuestas Basálticas caracterizam-se morfologicamente por apresentar um relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica, seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do rio Paraná. Estas duas feições principais constituem a escarpa e o reverso das cuestas. Correspondem à província geomorfológica mais elevada (cerca de 500 a 1.190 metros de altitudes), abrange tanto a média como a alta porção da bacia do rio Sapucaí-Mirim ocupando em torno de 70% da área. Nas cabeceiras do rio Sapucaí, a sudeste da bacia, no limite com a bacia do Pardo, verifica-se um relevo de Morrotes Alongados e Espigões. Ainda na área do Alto Sapucaí, em direção à jusante, o relevo fica mais suavizado caracterizando-se por *Colinas Amplas*. A drenagem é de baixa densidade. Os vales são abertos, com planícies aluviais interiores restritas. Ao longo do médio Sapucaí-Mirim predomina o relevo de Morros Amplos. Os topos são arredondados a achatados e as vertentes apresentam perfis retilíneos a convexos. Os vales são abertos, com planícies aluviais interiores restritas. A drenagem é de baixa densidade.

O Planalto Ocidental corresponde, geologicamente, aos derrames basálticos que cobrem as unidades sedimentares do final do ciclo de deposição da Bacia do Paraná e às coberturas sedimentares que, por sua vez, foram depositadas na Bacia Bauru, acima desses basaltos. Província mais rebaixada – cerca de 500 a 600 metros de altitude – ocupa em torno de 30% da área restante, abrangendo especialmente a porção média inferior da bacia do Sapucaí-Mirim. Esta unidade morfoescultural caracteriza-se por apresentar relevo monótono, levemente ondulado, de colinas amplas e baixas com topos convexos e topos aplanados ou tabulares.

Segundo o IPT, de modo geral, estas duas grandes províncias refletem uma grande variedade de sistemas ou formas de relevo, que correspondem aos relevos de acumulações, relevos de degradação, em planaltos dissecados, relevo residuais suportados por litologias particulares (engloba aqueles conjuntos de formas originadas por processos de degradação, porém com um caráter distintivo adicional dado pela natureza do substrato rochoso) e relevos de transição (constituem relevos interplanálticos caracterizados por uma alta energia e por uma atuação intensa dos processos de degradação).

As planícies aluviais correspondem aos relevos de acumulação, são representados por terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações. Esta feição de relevo ocorre junto ao rio principal e seus afluentes, com maior destaque ao longo dos rios Sapucaí-Mirim, Santa Bárbara, Esmeril e dos ribeirões de nome Jardim e Sete Lagoas. De resto, os depósitos são de pequeno porte, ligados a trechos de alargamento dos vales são predominantemente constituídos por areia inconsolidadas de granulação variável.

Os relevos de degradação, em planaltos dissecados, correspondem a uma certa variedade de unidades de relevo denominadas pelo IPT de Colinas Amplas, Colinas Médias, Morros amplos, Morros Arredondados, Morrotes Alongados e Espigões.

Partilhando o extremo leste da bacia do rio Sapucaí-Mirim no Estado de São Paulo, nas proximidades da divisa deste Estado com Minas Gerais, encontram-se morros testemunhos isolados, representados pela unidade denominada de Mesas Basálticas, sustentada por litologia da Formação Serra Geral e Formação Botucatu, característicos dos relevos residuais. Suas altitudes variam de 1000 a 1160 metros. Segundo IPT, seus topos são aplainados a arredondados e suas vertentes mostram perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados tendo em alguns locais exposições de rochas.

As declividades predominantes estão em torno de 12% a 20%, podendo em alguns locais atingir até valores de 20% a 40%. A erosão laminar do tipo severa a muito severa, desenvolve sulcos freqüentes de profundidades

média. A drenagem que se faz presente é de média densidade, percorrida por vales fechados. O padrão de drenagem fica entre o tipo pinado e subparalelo.

Os relevos de transição do tipo encostas não escarpadas, correspondem à unidade denominada pelo IPT de Encostas com Cânions Locais. Ela ocorre na porção média da bacia hidrográfica do Sapucaí-Mirim, mais especificamente a oeste da cidade de São José da Bela Vista prolongando-se em direção ao Planalto de Franca. Suas altitudes atingem cerca de 800 a 900 metros. Estas encostas apresentam vertentes com perfis retilíneos a convexos e trechos escarpados.

3.4.3. Pedologia

Do ponto de vista pedológico, conforme mapa pedológico do estado de São Paulo a área da bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim no Estado de São Paulo, engloba, basicamente cinco unidades de solos, a saber: Litossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Amarelo – Fase Arenosa, Litólico – Fase Substrato Basáltico, Regossolo e Hidromórficos.

A unidade Litossolo Roxo engloba solos muito profundos, argilosos, bem drenados e de coloração arroxeadada. A pequena variação das Características morfológicas, faz com que os vários horizontes se apresentem pouco individualizados, com transições variando de graduais a difusas. Os solos desta unidade representam cerca de 76% de superfície da bacia do rio Sapucaí-Mirim. Possuem, em geral topografia que vai de suavemente ondulada a ondulada, com declives longos. Em certos pontos da bacia são encontrados em relevos mais acidentados.

A unidade do Latossolo Vermelho Amarelo – fase Arenosa é formada por solos profundos, de textura leve, bem drenados, de coloração vermelho amarelo. São solos ácidos de baixa fertilidade, individualizados, com transição variando de graduais a difusa. Os solos desta unidade representam cerca de 15% da superfície da bacia do referido rio no Estado de São Paulo. São solos localizados na região do Alto Planalto, onde formam manchas contínuas entrecostadas por solos de outras unidades.

A unidade de Regossolo é enquadrada nos solos profundos, muito feiável, de textura muito leve, acentuadamente drenado, com seqüência de horizontes A, C, originados de arenitos, normalmente ácidos e com fertilidade aparente muito baixa. Os solos desta unidade representam cerca de 5% da superfície da bacia do rio Sapucaí-Mirim. Estes solos ocorrem em várias manchas descontínuas, umas grandes e outras pequenas, tendo como localização também o extremo leste da bacia. Ocupam as partes baixas do relevo nas depressões ou beiras dos rios ou ribeirões, ocorrendo também rodeando os relevos residuais ou afloramentos de arenito, onde se nota a influência direta do material de origem na formação destes solos. A altitude em que ocorrem gira em torno de 650 a 800 metros.

A unidade correspondente ao solo Litológico – Fase Substrato Basáltica é caracterizada por apresentar solos pouco desenvolvidos, com espessura em torno de 35 centímetros construído pelo horizonte A e a camada D. São solos com saturação de bases alta. Os solos desta unidade representam cerca de 3% da superfície da bacia. Estes solos encontram-se ocupando os topos dos relevos residuais, distribuídos em pequenas manchas espessas localizadas no extremo leste da bacia do rio Sapucaí-Mirim, divisa com o Estado de Minas Gerais. Esta unidade ocupa um relevo forte ondulado de topos angulosos, vertentes retilíneas a convexas e vales do tipo fechado. A altitudes em que ocorrem estes solos gira em torno de 1000 metros.

A unidade representada pelo solo do tipo Hidromórfico, é constituída por solos de várzea, normalmente com relevo plano, pouco profundo com características associadas com encharcamento redundando em acumulação de matéria orgânica na primeira camada ou fenômeno de redução nas camadas subjacentes. Os solos desta unidade representam cerca de 1% da superfície da bacia do rio Sapucaí-Mirim. Estes solos ocorrem em uma faixa estreita ao longo do referido rio, mais especialmente representado no mapa pedológico, escala 1:250.000, nas proximidades do encontro das águas do rio Sapucaí-Mirim e Grande. A altitude em que ocorrem gira em torno de 500 metros.

3.5. Aspectos Sócio- econômicos

3.5.1. Demografia

Segundo análise dos aspectos demográficos realizada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande, observou-se que a UGRHI abrigava, em 1996, uma população de 573.791 pessoas, acumulando um acréscimo populacional, para o período 1980-91, de 31% e acréscimo menor, da ordem de 21%, para o período de 1991-2000. Estimativas realizadas pelo Comitê sugerem população aproximada de 735.630 habitantes em 2010 indicando acréscimo populacional de 19% referente às décadas 2000-2010. A população urbana, que em 1980 representava 82,13% da população total, deverá chegar a 95,64% no ano 2010.

Tabela 1 – População total da UGRHI do Sapucaí/Grande

Município/Ano	1970	1980	1991	1996	2000
Aramina	5.042	3.446	4.064	4.223	4.763
Batatais	29.262	37.283	44.106	47.996	51.112
Buritizal	5.569	3.868	3.797	3.185	3.674
Cristais Paulista	4.974	4.903	5.649	6.309	6.579
Franca	93.638	148.990	233.098	267.235	287.737
Guaíra	26.883	25.673	31.071	33.114	34.610
Guará	12.765	13.327	16.362	18.215	18.916
Igarapava	21.202	20.261	22.324	25.762	25.925
Ipuã	9.977	9.137	10.356	10.994	11.870
Itirapuã	4.684	4.916	5.043	5.377	5.412
Ituverava	27.380	27.501	33.003	34.116	36.268
Jeriquara	1.709	2.564	3.249	3.245	3.280
Miguelópolis	18.396	13.537	17.407	18.665	19.019
Nuporanga	5.676	5.062	5.789	6.119	6.309
Patrocínio Paulista	8.635	9.016	9.715	10.486	11.416
Pedregulho	14.780	12.919	13.729	14.794	14.994
Restinga	5.456	3.541	4.407	4.909	5.584
Ribeirão Corrente	2.193	2.741	3.229	3.522	3.881
Rifaina	6.180	3.367	2.897	3.250	3.325
Santo Antônio da Alegria	4.462	5.291	5.155	5.452	5.764
São Joaquim da Barra	24.359	29.305	35.964	40.090	41.587
São José da Bela Vista	6.781	6.648	7.119	7.763	8.075
Total	340.003	393.296	517.533	574.821	610.100
%	1,91	1,57	1,64	1,68	1,71

Fonte: IBGE

3.5.2. Indústria

Historicamente, a ocupação e o desenvolvimento econômico da região da UGRHI basearam-se nas atividades agropecuárias (criação de gado e produção de açúcar) até a chegada do café no século XIX. A expansão das atividades cafeeiras, exigiu a construção de ferrovias para escoar o produto, intensificando as alterações do meio físico. Acompanhando este processo, a população também foi crescendo e aumentando o poder de mão-de-obra da região.

A partir de 1970, destaca-se uma nova fase de crescimento econômico voltado para atividades industriais, caracterizando as indústrias alimentares, couros e peles, vestuário, calçados e bebidas como as principais da região. Hoje na Bacia estão instalados três importantes distritos industriais: Franca, Batatais e São Joaquim da Barra.

Tabela 2 – Evolução Industrial nos municípios da bacia do Sapucaí-Mirim

Município/Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Aramina	2	3	4	4	4	5	4
Batatais	198	185	201	215	213	215	219
Buritizal	9	8	10	9	9	10	8
Cristais Paulista	8	6	9	9	9	7	8
Franca	1.535	1.384	1.654	1.700	1.811	2.025	2.150
Guaíra	37	39	67	45	41	38	51
Guará	21	23	22	24	21	23	23
Igarapava	32	25	42	40	36	38	42
Ipuã	12	9	9	8	6	8	10
Itirapuã	4	6	4	3	5	5	6
Ituverava	71	65	72	74	67	72	74
Jeriquara	3	3	3	3	3	2	1
Miguelópolis	7	10	7	8	8	8	8
Nuporanga	3	4	7	4	6	4	7
Patrocínio Paulista	24	29	24	24	27	19	22
Pedregulho	29	26	25	25	28	24	27
Restinga	6	7	6	9	6	5	8
Ribeirão Corrente	1	1	1	0	2	1	2
Rifaina	7	7	8	5	5	5	5
Santo Antonio da Alegria	8	9	7	6	6	4	3
São Joaquim da Barra	101	99	83	86	99	100	99
São José da Bela Vista	4	4	4	7	5	5	5

Fonte: SEADE.

3.5.3. Uso e Ocupação do Solo

A ocupação do solo da região é dominada pela cultura canavieira, evidenciando-se alguns sérios problemas de erosão em diversas áreas. Este modelo de ocupação, compartilhado pelo aproveitamento para o plantio de café, soja e milho, teve como conseqüência a redução drástica da cobertura florestal original ao longo dos anos.

As áreas de reflorestamentos são pouco freqüentes, porém mais representativas na porção sudeste, próximo ao rio Sapucaí-Mirim e à cidade de Batatais.

As pastagens e os campos antrópicos predominam em toda a área da bacia, com exceção da porção noroeste, tornando-se mais extensiva a leste.

As atividades agrícolas são extensivas na porção noroeste, onde passam a predominar sobre as pastagens. Municípios como Guaiúba, Ipuã e Miguelópolis têm suas atividades econômicas sustentadas pela agricultura, principalmente de grãos. É comum a presença de equipamentos de irrigação do tipo pivô central. A cana-de-açúcar também representa uma importante atividade agrícola na região, especialmente no município de São Joaquim da Barra e Igarapava. O cultivo do café é mais freqüente na região compreendida entre os municípios de Franca e Pedregulho.

Os efeitos diretos das atividades agrícolas e do desenvolvimento, são evidenciados pelo intenso processo de carreamento das partículas de solo e o conseqüente assoreamento dos córregos e rios (e possivelmente, do futuro reservatório), diminuindo sua capacidade de armazenamento de água.

3.5.4. Agricultura e Pecuária

Segundo dados do Censo Agropecuário 1995/96 do IBGE, a UGRHI 08 alcançou, na produção agropecuária, um valor que correspondeu a uma participação de 6,61% do total do Estado de São Paulo. No que se refere à produção animal, o município que mais contribui para o resultado da região foi Batatais, com participação de 10,30% no total regional, enquanto para o

valor da produção vegetal o destaque foi o município de Guaíra, que respondeu com 29,33% do valor obtido.

Em termos da produção vegetal, o principal cultivo foi o de soja, concentrado nos municípios de Guaíra, Miguelópolis, Ituverava e Ipuã. Em segundo lugar aparece a cana-de-açúcar, distribuída em todos os municípios da região, com destaque para Guaíra, Batatais e São Joaquim da Barra. Destaque-se ainda, o milho em Guaíra e Miguelópolis e o café concentrado em Pedregulho, Franca e Cristais Paulista. Cabe salientar que esses produtos agrícolas mantêm um elevado grau de articulação com a indústria.

Com relação à exploração animal, o rebanho bovino é o mais representativo para a região, tanto a pecuária leiteira, para a qual destacam-se os municípios de Santo Antônio da Alegria, Batatais e São José da Bela Vista, como a destinada ao corte, nos municípios de Pedregulho e Franca.

Tabela 3 – Tipo de cultura e área cultivada na bacia do Sapucaí-Mirim/Grande

Cultura	Área (ha)	%
Soja	319.008,0	30,44%
Cana	226.306,9	21,59%
Pasto	214.860,9	20,50%
Milho	193.160,7	18,43%
Café	22.215,7	2,12%
Algodão	21.926,9	2,09%
Capim	18.331,8	1,75%
Feijão	9.359,0	0,89%
Silvicultura	7.761,8	0,74%
Sorgo	7.171,7	0,68%
Legumes	3.683,1	0,35%
Frutas	3.423,1	0,33%
hortaliça	874,0	0,08%
Total Global	1.048.083,6	100,00%

Fonte: Adaptado do Projeto LUPA da CATI

3.6. Climatologia da Bacia

Informações contidas no Relatório Zero do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande (CBH/SMG) e no Relatório Final do Projeto Básico (2001) elaborado pela CPFL e ENGEVIX, mostram que a bacia do rio Sapucaí apresenta clima predominante do tipo Aw, na parte mais baixa,

e ocorrências de clima tipo Cwa para a parte mais alta, com pontos isolados do tipo Cwb, conforme descritos a seguir:

- Aw: clima tropical quente e úmido, com estação seca de outono-inverno, cerca de 80 a 90% de chuvas no período outubro a março, temperatura média variando de 24,7°C a 21,4°C e amplitude térmica superior a 5°C. O total de chuva no período seco é inferior a 30 mm.

- Cwa: clima mesotérmico, com verões quentes e inverno seco, atingindo regiões com altitudes entre 300,00 e 700,00 m, temperatura média anual variando de 21,8°C a 19,5°C. Apresenta totais de chuvas inferiores a 30 mm no mês mais seco.

- Cwb: clima mesotérmico com verões brandos e estação chuvosa no verão, abrangendo a região das serras, com temperatura média anual variando de 19,8°C a 17,4°C.

A bacia recebe influência das perturbações extra-tropicais e dos sistemas tropicais. As perturbações extratropicais que atingem a região são representadas, principalmente, pelas incursões de massas de ar frio, provenientes do sul do continente americano. As perturbações tropicais são representadas pelos sistemas convectivos oriundos dos contrastes térmicos sobre o continente.

3.6.1. Índices Climáticos

Os índices climáticos a seguir descritos referem-se à estação meteorológica de Franca, conforme apresentados nas Normas Climatológicas (1961-1990), publicada pelo Departamento Nacional de Meteorologia.

3.6.1.1. Precipitação

A distribuição anual da precipitação média na bacia do rio Sapucaí pode ser caracterizada de acordo com os valores apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4 – Precipitação Média Mensal (em mm)

Meses	Precipitação Média
Janeiro	297
Fevereiro	228
Março	180
Abril	80
Mai	57
Junho	27
Julho	22
Agosto	23
Setembro	72
Outubro	161
Novembro	201
Dezembro	276
Anual (mm/ano)	1.623

Fonte: Projeto Básico – CPFL.

A distribuição sazonal das chuvas mostra uma nítida caracterização entre o período chuvoso (outubro a março) e o período seco (abril a setembro). O período chuvoso contribui com mais de 80% do total anual. O trimestre mais chuvoso é dezembro, janeiro e fevereiro, com índice superior a 200 mm.

As precipitações máximas em 24 horas são da ordem de 127 mm, e ocorrem com maior frequência no mês de dezembro.

3.6.1.2. Temperatura

As normais climatológicas permitem estimar as temperaturas médias mensais para a bacia do rio Sapucaí mostradas no quadro a seguir.

Tabela 5 – Temperaturas Médias Mensais, em °C

Meses	Temperatura Média Mensal
Janeiro	19,0
Fevereiro	18,3
Março	18,5
Abril	17,5
Maio	16,6
Junho	15,4
Julho	15,3
Agosto	17,8
Setembro	18,9
Outubro	19,7
Novembro	18,8
Dezembro	18,7
Anual (°C)	17,9

Fonte: Projeto Básico – CPFL.

A temperatura média anual é da ordem de 18°C, sendo o trimestre mais frio maio-junho-julho.

3.6.1.3. Umidade Relativa do Ar

A distribuição anual da umidade relativa na área da bacia do Sapucaí pode ser caracterizada no quadro a seguir.

Tabela 6 – Umidade Relativa (%)

Meses	Umidade Relativa
Janeiro	81
Fevereiro	75
Março	73
Abril	70
Maio	69
Junho	66
Julho	61
Agosto	55
Setembro	59
Outubro	67
Novembro	73
Dezembro	79
ANUAL	69

Fonte: Projeto Básico – CPFL.

Observa-se que os níveis de umidade na bacia apresentam índices variando de 55 a 81%.

3.7. Recursos Hídricos

Aqui serão abordadas características gerais dos recursos hídricos que ocorrem na bacia do Sapucaí-Mirim/Grande. A disponibilidade hídrica será tratada sob o ponto de vista dos recursos hídricos superficiais e dos recursos hídricos subterrâneos. Adicionalmente, serão relatadas informações disponíveis sobre qualidade das águas e principais fontes potenciais de poluição.

As diversas demandas pelas disponibilidades existentes serão tratadas com mais detalhe no capítulo Metodologia.

3.7.1. Disponibilidade Hídrica Superficial

A bacia do rio Sapucaí-Mirim drena uma área total de 650 km². Da nascente à foz o percurso do rio é 337Km, atravessando os municípios de Altinópolis, Patrocínio Paulista, Franca, Batatais, Nuporanga, São Joaquim da Barra, Guará e Ituverava, desembocando no Rio Grande entre os municípios de Guaíra e Miguelópolis.

Os principais afluentes são o ribeirão do Jardim pela margem esquerda e os ribeirões Sete lagoas, do Estiva, Salgados, Santa Bárbara e Fortaleza pela margem direita.

A densidade de drenagem da bacia, que mede a eficiência do sistema de drenagem da mesma, é considerada boa, e varia com o inverso da extensão do escoamento superficial, que para a bacia do rio Sapucaí-Mirim vale $ds=4,87$. A sinuosidade do rio Sapucaí-Mirim tem coeficiente $sin=1,77$, que indica tendência a escoamentos não muito velozes. A declividade média equivalente do rio Sapucaí-Mirim é $So= 0,097\%$.

A bacia do rio Sapucaí apresenta forma estreita e longa, com fator de forma (k_f) igual a 0,058. O coeficiente k_f , parâmetro para avaliar o

alongamento da bacia, é um dos índices que permitem indiretamente avaliar o potencial de ocorrência de cheias na bacia.

A vazão média específica de longo período para a bacia do rio Sapucaí-Mirim foi avaliada em $16,4 \text{ l/s.km}^2$, de acordo com estudos de disponibilidade hídrica desenvolvidos pelo DAEE (1984). A média das vazões mínimas mensais situa-se em $6,8 \text{ l/s.km}^2$, enquanto que a vazão mínima mensal para 10 anos de período de retorno é de $3,3 \text{ l/s.km}^2$.

Tabela 7 – Demanda/Disponibilidade Hídrica Superficial

Demanda total (m^3/s)		Disponibilidade (m^3/s)	
1990	2010	$Q_{7,10}$	Q_{ref}
10,9	19,5	28,0	35,0

Fonte: DAEE. Q_{ref} =Vazão de referência

3.7.2. Disponibilidade Hídrica Subterrânea

O Aquífero Bauru, devido à sua espessura e ocorrência contínua em quase metade do Estado de São Paulo, é o mais externamente explorado, 9% da ocorrência desse aquífero no Estado está inserida na subzona hidrográfica da qual faz parte ao rio Sapucaí-Mirim.

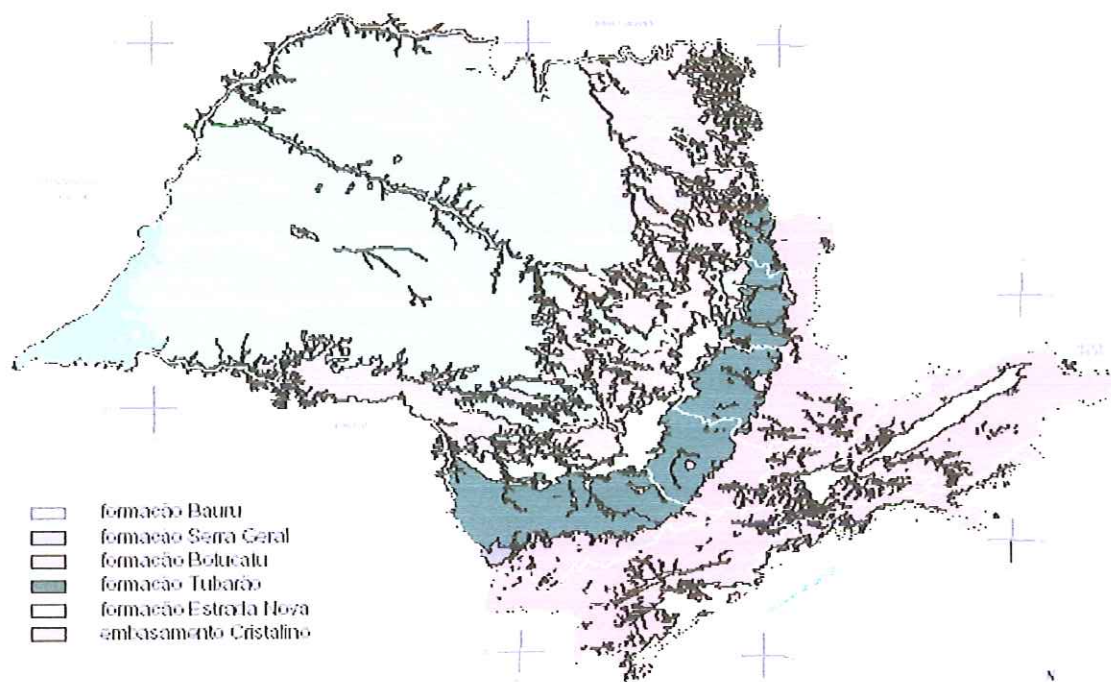


FIGURA 4: Unidades Hidrogeológicas do Estado de São Paulo.
Fonte:– Plano Estadual de Recursos Hídricos, 200-2003.

Ainda na subzona do Sapucaí-Mirim encontram-se aflorando os aquíferos Cristalino (1,2%), Botucatu livre (15,3%), Botucatu confinado (80,6%), Diabásio (2,9%) e Basalto (68,4%).

Em maior detalhe, a área em estudo insere-se no Aquífero Basalto, que ocupa 1/3 do território Paulista, 32 mil quilômetros quadrados do centro-leste de São Paulo, sendo recoberto, a oeste, pelos sedimentos Bauru-Caiuá.

Este aquífero é atualmente explorado por 1.300 poços tubulares, de profundidades entre 100 e 150 m e vazões variáveis de 10 a 100 m³/h – (DAEE, 1988). Suas águas são predominante bicarbonatadas cálcios (resíduo seco inferior a 200mg/l), eventualmente com anomalias de altos teores de fluoretos e resíduos secos atingido 800mg/l.

O aquífero Basalto (Serra Geral) é localmente bastante vulnerável – fraturamento, disjunções colunares, horizontes vesiculares, zonas de tectonização – onde a velocidade de percolação pode atingir dezenas de centímetros por dia. Neste contexto a exploração da água subterrânea e o manejo global dos recursos hídricos merecem mais atenção.

Tabela 8 - Vazões por aquífero dos poços cadastrados.

Aquífero	Q mín. (m ³ /h)	Q max. (m ³ /h)	Qméd(m ³ /h)
Cenozóico/Serra Geral	9,5	9,5	9,5
Serra Geral	1,2	118,0	23,3
Serra Geral/Botucatu	1,5	745,0	76,0
Botucatu	7,0	7,0	7,0
Tubarão	5,2	45,6	17,3
Cristalino	8,8	20,0	12,4

Fonte: CBH/SMG

3.7.3. Usos Não Consuntivos

Dados sobre usos não consuntivos basearam-se em informações obtidas no Relatório Zero do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande e serão descritos em relação às usinas para geração de energia e aquicultura.

3.7.4. Usinas para Geração de Energia

Estão instaladas oito usinas geradoras de energia, das quais, quatro são administradas pela Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, três pela Central de Energia de Minas Gerais - Cemig, e uma pela Furnas Centrais Elétricas.

Tabela 9 – Usinas Hidrelétricas Instaladas na UGRHI 08

Nome	Operadora	Curso d'água	Potência (MW)
São Joaquim	CPFL	R. Sapucaí-Mirim	8,0
Dourados	CPFL	R. Sapucaí-Mirim	10,75
Esmeril	CPFL	Córr. do Esmeril	2,1
Buritis	CPFL	Rib. Bandeira	1,0
Jaguará	CEMIG	Rio Grande	424
Volta Grande	CEMIG	Rio Grande	380
Igarapava	CEMIG	Rio Grande	210
Estreito	Furnas	Rio Grande	1104

As PCH's São Joaquim e Dourados, instaladas no curso do rio Sapucaí, possuem reservatórios de pequeno porte e portanto as usinas são consideradas de fio d'água, isto é toda água que chega, é utilizada, não possuindo capacidade de regularização e vazão regularizada. Ainda no curso do Sapucaí estão em projeto básico pela CPFL os aproveitamentos Anhanguera, Palmeiras e Retiro com potências de 18,5MW, 13,6W e 14,4MW respectivamente.

3.7.5. Aqüicultura

A utilização de cursos d'água para atividades de aqüicultura constitui uso não consuntivo, porém pode alterar a qualidade das águas captadas, uma vez que são lançados complementos alimentares para as criações.

Segundo o CBH/SMG, na área da Bacia existem 90 propriedades rurais que possuem tanques de piscicultura e três que possuem tanques de ranicultura.

Tabela 10 - Número de propriedades com atividades de piscicultura e ranicultura

Município	Piscicultura	Ranicultura
Aramina	2	0
Batatais	2	0
Buritizal	1	0
Cristais Paulista	4	0
Franca	21	0
Guaíra	3	0
Guará	4	0
Igarapava	2	0
Ipuã	7	1
Itirapuã	8	1
Ituverava	3	1
Jeriquara	3	0
Miguelópolis	1	0
Nuporanga	3	0
Patrocínio Paulista	2	0
Pedregulho	10	0
Restinga	4	0
Ribeirão Corrente	3	0
Rifaina	3	0
Santo Antonio da Alegria	0	0
São Joaquim da Barra	1	0
São José da Bela Vista	3	0
TOTAL	90	3

Fonte: Relatório Zero do CBH/SMG

3.8. Fontes de Poluição

As cargas poluidoras de origem doméstica referem-se aos pontos de lançamento de esgotos, coletados em áreas urbanas pela Sabesp, prefeituras ou Serviços Autônomos de Água e Esgoto. São considerados como fontes pontuais de poluição direta dos cursos d'água, onde são lançados, podendo também afetar as águas subterrâneas e solos, de forma indireta.

Os esgotos domésticos caracterizam-se pela grande quantidade de matéria orgânica biodegradável, responsável por significativa depleção do oxigênio nos cursos d'água, como resultado da estabilização pelas bactérias. Estes efluentes líquidos apresentam ainda nutrientes e organismos patogênicos que podem causar efeitos deletérios no corpo receptor, dificultando, ou mesmo, inviabilizando o seu uso para outros fins. A

quantificação dos poluentes biodegradáveis é apresentada em termos de carga orgânica, expressa em massa de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) por unidade de tempo.

O CBH/SMG identificou 57 pontos de lançamentos de efluentes domésticos de uso público, resultando em carga orgânica total de 29.715 kg DBO₅/dia. Verificou-se que 31 pontos de lançamento possuem tratamento prévio, correspondendo a 54% do total. Em termos de cargas orgânicas potenciais, 57% do total coletado na UGRHI passa por algum tipo de tratamento.

As cargas poluidoras de origem industrial correspondem aos lançamentos de efluentes líquidos diretamente nos rios e córregos, com ou sem tratamento prévio e constituem fontes indiretas de poluição dos solos e das águas subterrâneas. Entretanto, a grande diversidade de indústrias existentes no Estado de São Paulo faz com que haja uma variabilidade maior dos contaminantes lançados aos corpos d'água, incluindo-se metais pesados, compostos orgânicos tóxicos e muitos outros que dependem das matérias-primas e dos processos industriais utilizados.

3.9. Qualidade da Água

Os padrões de qualidade da água doce são dados pela Resolução 20 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente que, segundo seu uso preponderante, classifica os corpos hídricos em 9 classes. A resolução 20 do CONAMA, estabelece ainda em seu artigo 21, padrões de emissão para fontes poluidoras. Desta forma o controle da poluição hídrica pode ser feito através de padrões de qualidade do corpo receptor e limitações às fontes poluentes.

A CETESB, órgão responsável pelo diagnóstico de qualidade das águas no estado de São Paulo, tem adotado um índice de qualidade das águas (IQA) que incorpora como parâmetros de análise: OD (oxigênio dissolvidos), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), coliformes fecais, temperatura da água, pH, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez.

Para efeito de análise, a CETESB dividiu o estado em 29 bacias hidrográficas, constituindo o Sapucaí-Mirim e o Ribeirão dos Bagres uma delas.

Netas bacia o uso do solo predominante é o agrícola ocupando 52,1% do total de áreas na bacia, com destaque para o café, a soja, o milho e a cana seguem as pastagens com 34,1%. As indústrias predominantes são as de couro, particularmente curtumes, além da indústria de laticínios.

A qualidade da água é acompanhada por 2 pontos de amostragem:

- Ribeirão dos Bagres sob a ponte na Rodovia Municipal que liga SP-334 a restinga;

- Rio Sapucaí-Mirim sob a ponte na Rodovia Franca - Barretos.

O rio Sapucaí-Mirim é classificado pela resolução 20 do CONAMA como classe 2, ou seja é um corpo cujas águas destinam-se:

- ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);
- à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

4. METODOLOGIA

4.1. O Modelo de Simulação – IRAS

O modelo IRAS – Interactive River Aquifer Simulation – utilizado neste estudo, foi conjuntamente desenvolvido pela Resources Planning Associates, INC e University of Cornell, Ithaca, NY, em 1994.

O modelo foi desenvolvido para auxiliar avaliação de projetos alternativos e políticas operacionais de sistemas hídricos. O programa IRAS 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, estações de produção de energia, poços e diversos pontos de consumo. Estas funções, definidas pelo usuário, possibilitam que o programa calcule e indique a confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade em qualquer lugar do sistema.

Aplicações do IRAS podem envolver simplesmente a previsão, no tempo e espaço, dos valores das variáveis simuladas para várias entradas de dados hidrológicos e de qualidade da água. O programa trabalha através de interface gráfica facilitando a interação do usuário não só em entrar, editar e apresentar graficamente os dados, como também na operação do modelo, na produção e visualização de vários gráficos e nas análises estatísticas dos resultados da simulação. IRAS utiliza uma rede de arcos e nós para representar o sistema a ser estudado. Em cada nó ou arco pode-se representar um componente do sistema. Os nós representam aquíferos, lagos naturais, reservatórios, postos fluviométricos, pontos de consumo de água, descargas locais de tomada de água, etc. Arcos unidirecionais representam rede fluvial, canais, derivações, etc. Os arcos bidirecionais podem representar

transferência de água, entre dois nós quaisquer, em ambas direções. Todos arcos conectados a aquíferos ou áreas alagadas são bidirecionais. Usinas hidrelétricas ou estações de bombeamento também podem ser associadas a qualquer arco.

O IRAS é capaz de simular sistemas de recursos hídricos para vários períodos. Cada período intraanual – meses, semanas, dias, etc – é dividido em etapas de simulação. O usuário deve definir o número e a duração dos períodos e etapas de simulação. Mais de 60 períodos podem ser definidos e sua duração não precisa ser a mesma. Toda afluência e efluência, consumos, perdas por infiltração e evaporação, águas residuárias são considerados constantes dentro de cada período intraanual. Porém, os fluxos, consumos, derivações, volumes de armazenamento, perdas, energia produzida ou consumida e qualidade da água podem variar em cada etapa de simulação dependendo das características do sistema e sua política de operação. O número mínimo de etapas deve ser 12, não havendo limite máximo.

O programa armazena dados de configuração, projeto e operação do sistema em arquivos de base de dados contendo a extensão .SDB. Um arquivo .SDB pode ser acessado e modificado pelo usuário, através da interface gráfica, a qualquer momento. Dados de vazão e carga residuária são armazenados em arquivos separados com extensão .FLW e .WLF respectivamente.

O usuário tem liberdade para definir as unidades de entrada e saída das variáveis de fluxo, volumes de armazenamento e energia hidrelétrica. Dados de entrada e saída de qualidade de água são expressos em unidades de concentração, por exemplo, mg/l ou ppm. Todos os dados de saída de fluxo são expressos nas unidades utilizadas no arquivo de fluxo externo (arquivo.FLW). Pode-se converter unidades de vazão usadas na simulação para outras unidades diferentes daquelas especificadas no arquivo de fluxo. As unidades de volume de armazenamento também não necessitam ser as mesmas das variáveis de fluxo. A fim de obter unidades compatíveis, o usuário deve definir uma constante de conversão de fluxo e armazenamento. A constante de conversão de fluxo transforma as unidades de vazão do arquivo de fluxo para a unidade escolhida pelo usuário. A constante de armazenamento

converte unidades de fluxo de simulação em unidades de volume armazenado por dia. Ambas as constantes são incluídas no arquivo de fluxo .FLW.

4.2. Considerações sobre o processo de simulação

A simulação no IRAS acontece em um módulo do programa que lê uma base de dados (arquivo .SDB), contendo as informações inseridas pelo usuário, e o arquivo de fluxo (.FLW) e de carga residual (.WLF). Como prioridade, em qualquer simulação, o usuário deve especificar o número de períodos do ano t e o número de etapas de tempo de simulação tt . Para cada seqüência hidrológica a simulação procede-se por uma seqüência sucessiva de períodos de ano t , do primeiro ao último. Dentro de cada período de ano t a simulação procede-se de uma etapa de simulação tt para outra.

O IRAS baseia-se em balanços de massa de quantidade de água e de cargas de poluentes, levando em consideração fenômenos como a evaporação, infiltração, crescimento ou decrescimento de cargas poluentes por transformações químicas e/ou biológicas. Em cada nó e em cada etapa de tempo de simulação, são realizados balanços de massa (Carmo, 1997).

Os nós de armazenamento estão sujeitos a perdas por infiltração e evaporação. Estas perdas estão baseadas nos volumes de armazenamento $S(n,tt)$ de cada nó no início de cada etapa de simulação tt . Elas são calculadas através de funções cota x área ou cota x volume bem como taxas diárias de evaporação e infiltração introduzidas pelo usuário.

$$\text{Perdas por evaporação} = EL(n,tt) = [\text{área superficial associada ao } S(n,tt) \times \text{taxa diária de evaporação durante o período } t \text{ do ano}] \quad (1)$$

$$\text{Perdas por infiltração} = SL(n,tt) = [\text{perda diária em função da perda por infiltração para } S(n,tt)] \quad (2)$$

Os armazenamentos iniciais $S(n,tt)$, em cada nó, sofrem redução de volume devido às perdas por evaporação e infiltração. Na expressão abaixo, o termo $S(n,tt)$, representa o volume de armazenamento inicial corrigido.

$$\mathbf{S(n,tt)} = \text{Max} [0.0, S(n,tt) - EL(n,tt) - SL(n,tt)] \quad (3)$$

onde,

n: nó de armazenamento;

tt: etapa de tempo de simulação;

S(n,tt): Volume de armazenamento inicial corrigido;

S(n,tt): Volume de armazenamento inicial;

EL(n,tt): perda por evaporação;

SL(n,tt): perda por infiltração;

Após cálculo dos volumes de armazenamento iniciais, as efluências ou saídas em cada nó são calculadas. As saídas de água QO(n,tt), dos nós n, correspondem à diferença entre as afluências ou entradas QI(n,tt) e qualquer consumo de água C(n,tt). Então,

$$QO(n,tt) = QI(n,tt) - C(n,tt) \quad (4)$$

Uma vez determinada a efluência em um nó de armazenamento, o volume de armazenamento final (armazenamento no final da etapa de tempo de simulação) pode ser calculado por balanço de massa. Este leva em consideração o armazenamento inicial, a afluência, as perdas e as efluências em cada etapa de tempo de simulação.

$$\text{Armazenamento final} = S(n,tt+1) = S(n,tt) + QI(n,tt) - L(n,tt) - QO(n,tt) \quad (5)$$

onde,

QI(n,tt): afluência no nó;

QO(n,tt): efluência no nó;

L(n,tt): perdas;

4.3. Dados de entrada

Os dados requeridos pelo programa dependem do tipo de sistema estudado. Os elementos necessários para os estudos mais freqüentes incluem valores de escoamento para as estações hidrométricas e valores de escoamento superficial ao longo das encostas da rede fluvial. Para cada reservatório é necessário definir a sua capacidade de volume de armazenamento ativo total e volume de armazenamento inicial, vazão ou liberação mínima, a curva de área inundada e a curva de volume armazenado em função da cota do nível da água, perda de volume por infiltração diária em função do volume armazenado, a regra de operação do reservatório em função do volume armazenado e a taxa de evaporação anual. Para cada ponto de consumo é necessário indicar os volumes de água a fornecer em cada intervalo de simulação, bem como as fontes de fornecimento de água e uma regra de prioridade de utilização dessas fontes. Para cada tomada de água, define-se uma função que estabeleça o escoamento a desviar em função do escoamento disponível. Para cada arco da rede, pode ser necessário definir o comprimento do trecho do sistema que o arco apresenta, a capacidade de escoamento do trecho em estudo, funções de perda de água por evaporação e por infiltração e parâmetros do modelo de propagação de ondas de cheia (OLIVEIRA, 1995).

4.3.1. Políticas operacionais no IRAS

Políticas operacionais são necessárias onde uma escolha de alocação deve ser feita. Elas incluem reservatórios onde as liberações devem ser especificadas, pontos onde a água pode ser alocada a múltiplas ou apenas a uma única derivação, poços subterrâneos em que podem ocorrer bombeamentos para retirada ou recarga artificial de água. Decisões referente à quantidade de água alocada a cada ponto podem ser baseadas na necessidade da demanda, metas de consumo ou na disponibilidade de suprimento.

No caso específico de reservatórios, as políticas de operação definem a liberação requerida como função do armazenamento inicial e da

afluência, em cada período do ano. Algumas regras identificam metas de volume de armazenamento, enquanto outras identificam zonas de armazenamento, sendo cada uma associada a uma política de liberação do volume.

As duas opções acima estão disponíveis para definição de políticas de operação de reservatórios no modelo IRAS.

- *Liberações em único reservatório independente*

No IRAS estas liberações são baseadas em zonas de armazenamento definidas pelo usuário em cada período (t) do ano. O programa permite estabelecer um máximo de 7 zonas de armazenamento. No início (B) e no final (E) de cada zona de armazenamento (z) o usuário define uma faixa de volume de armazenamento mínimo ($BS_{mn(n,z,t)}$ e $ES_{mn(n,z,t)}$) e máximo ($BS_{mx(n,z,t)}$ e $ES_{mx(n,z,t)}$) para cada período (t) do ano. As zonas de liberação mínima ($BR_{mn(n,z,t)}$ e $ER_{mn(n,z,t)}$) e máxima ($BR_{mx(n,z,t)}$ e $ER_{mx(n,z,t)}$) devem ser especificadas e estar associadas aos armazenamentos definidos em cada zona (z).

As liberações não devem ser negativas. Em qualquer etapa de tempo de simulação (tt) a liberação do reservatório será calculada por interpolação linear das quatro liberações definidas sobre o armazenamento assim como o tempo dentro da zona de armazenamento e o período do ano, conforme ilustrado na figura 5, a seguir:

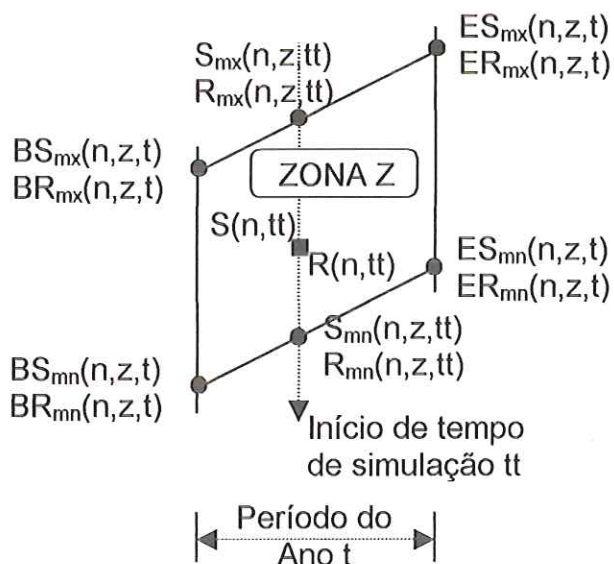


FIGURA 5 – Processo de interpolação utilizado no modelo IRAS.

A liberação do reservatório em cada etapa de tempo de simulação tt depende da zona de armazenamento z aplicável no período do ano. Para identificar esta zona, as fronteiras do volume de armazenamento, $S_{\min}(n,z,t)$ e $S_{\max}(n,z,t)$, de cada zona z no início de uma etapa de simulação específica tt dentro de um período do ano t simulado, são determinadas por interpolação. Descreve-se abaixo o processo de interpolação utilizado no IRAS.

Seja $FS(tt,t)$ a fração do período do ano já simulada no início da etapa de tempo de simulação tt no período de ano t .

$$FS(tt,t) = [\text{tempo simulado no período } t \text{ até } tt / \text{duração total de } t] \quad (6)$$

Então,

$$S_{\min}(n,z,tt) = BS_{\min}(n,z,t) + \{ FS(tt,t) \times [ES_{\min}(n,z,t) - BS_{\min}(n,z,t)] \} \quad (7)$$

e,

$$S_{\max}(n,z,tt) = BS_{\max}(n,z,t) + \{ FS(tt,t) \times [ES_{\max}(n,z,t) - BS_{\max}(n,z,t)] \} \quad (8)$$

A zona de armazenamento z contendo o volume de armazenamento inicial, $S(n,tt)$, é identificada verificando se o armazenamento inicial $S(n,tt)$ está dentro da faixa de variação de volumes de armazenamento $S_{\min}(n,z,tt)$ e $S_{\max}(n,z,tt)$ de cada zona z do período do ano aplicável. Uma vez que a zona z aplicável tenha sido identificada, os objetivos de liberação do reservatório, $R_{\min}(n,z,tt)$ e $R_{\max}(n,z,tt)$, associados aos limites de volumes de armazenamento interpolados, $S_{\min}(n,z,tt)$ e $S_{\max}(n,z,tt)$, são calculados da seguinte forma:

$$R_{\min}(n,z,tt) = BR_{\min}(n,z,t) + \{ FS(tt,t) \times [ER_{\min}(n,z,t) - BR_{\min}(n,z,t)] \} \quad (9)$$

$$R_{\max}(n,z,tt) = BR_{\max}(n,z,t) + \{ FS(tt,t) \times [ER_{\max}(n,z,t) - BR_{\max}(n,z,t)] \} \quad (10)$$

Na seqüência, a liberação diária, $R(n,tt)$, para o etapa de tempo de simulação tt é determinado por interpolação dentro da zona z contendo o volume de armazenamento inicial $S(n,tt)$.

$$R(n,tt) = R_{\min}(n,z,t) + \left\{ \left[S(n,tt) - S_{\min}(n,z,tt) \right] / \left[S_{\max}(n,z,tt) - S_{\min}(n,z,tt) \right] \right\} \times \left[R_{\max}(n,z,tt) - R_{\min}(n,z,tt) \right] \quad (11)$$

Se todos os valores de liberação ($BR_{mn}(n,z,t)$, $ER_{mn}(n,z,t)$, $BR_{mx}(n,z,t)$ e $ER_{mx}(n,z,t)$) em qualquer zona z são os mesmos, então a liberação é fixada nesse valor para qualquer volume de armazenamento, $S(n,tt)$, na zona. Esta é uma condição típica em muitas regras de liberação de reservatórios.

Afluências ou liberações direcionadas pelo fornecimento, $QO'(n,tt)$, do reservatório n em uma etapa de simulação tt serão as metas de liberação computadas, $R(n,tt)$, se quantidade de água suficiente está disponível, ou a água adicional vertida, se houver, pelo excesso armazenado além da capacidade do reservatório, $Cap(n)$, ou a liberação mínima diária requerida e definida pelo usuário, $R_{\min}(n,t)$. Se a liberação for maior que aquela disponível no armazenamento, somente o volume de armazenamento disponível será liberado.

$$QO'(n,tt) = \max \{ S(n,tt) - Cap(n), \min [S(n,tt), \max \{ R_{\min}(n,t), R(n,tt) \}] \} \quad (12)$$

- Liberações de múltiplos reservatórios interdependentes

Para operação interdependente de múltiplos reservatórios como um grupo, o modelo IRAS caracteriza a regra de liberação como função do armazenamento total do grupo de reservatórios. Se a regra de liberação do grupo está localizada em um dos reservatórios, usualmente o reservatório mais a jusante, então a liberação daquele reservatório será determinada como no processo descrito anteriormente para um único reservatório independente.

As liberações dos outros reservatórios do grupo serão determinadas pelas metas de armazenamento definidas pelo usuário ou pelas funções de balanço. Estas funções de balanço devem ser definidas para cada período do ano t , e indicam o armazenamento meta ou desejado em cada reservatório do grupo à montante como função do armazenamento total dos reservatórios. Durante a simulação, o modelo procura manter todos

reservatórios em equilíbrio, em cada etapa de tempo t_t . Para cada etapa de tempo de simulação t_t , a liberação de cada reservatório do grupo é computada usando a regra de liberação total do grupo. O programa calcula o volume de armazenamento do grupo no final da etapa de tempo de simulação, conhecendo-se o volume de armazenamento e a liberação total do grupo de reservatórios no início da etapa de tempo t_t .

4.4. Saídas do modelo

Uma vez que o sistema tenha sido simulado, os resultados podem ser dispostos de várias maneiras. As opções incluem tabela de valores das variáveis de saída, animação colorida da seqüência temporal da rede de arcos e nós, gráficos e probabilidade de distribuição da duração e extensão das falhas. O modelo IRAS fornece visão completa dos resultados do sistema simulado através da utilização de código de cores. Este indicador mostra se as variáveis simuladas, em cada nó ou arco, estão ou não dentro de uma escala de valores que o usuário considera satisfatória. Analisa-los pode ser útil a identificar quando e onde ocorreu uma tensão no sistema.

4.4.1. Valores e zonas limites

O indicador por código de cores está associado à atribuição de valores limites. O usuário deve definir dois valores limites iniciais para cada variável simulada. Esses dois valores dividem os possíveis valores das variáveis em três zonas. Pode-se atribuir uma cor a cada uma destas três zonas: verde, para zona satisfatória; amarelo, para zona de advertência e vermelho para zona insatisfatória. Há seis combinações possíveis de atribuições da cor ou zona alternativa.

O programa permite definir e modificar esses valores limites depois de uma simulação ter sido executada. Os dois valores limites iniciais associados a cada variável da simulação não afetam os resultados da simulação, no entanto, esses valores são empregados em muitas características estatísticas e outras do indicador de desempenho (Peixoto, 2002).

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

Tabela 11 – Combinações alternativas de cor associadas à 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

O programa permite definir e modificar esses valores limites depois de ter sido executada uma simulação.

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

4.4.2. Impressão das séries de tempo e de espaço

O IRAS apresenta opções para indicar alguns ou todos os valores das variáveis simuladas que ocorrerão sobre o tempo em qualquer nó ou arco ou sobre o espaço em qualquer período. Incluem-se aí os ensaios de simulação da série de tempo, ensaios da simulação espacial das variáveis e as tabelas de dados. Até quatro impressões de únicas ou múltiplas variáveis simuladas podem ser indicados de uma vez.

Da seqüência de simulações pode-se analisar a propagação e probabilidade dos valores que uma variável pode ter em um ponto particular no espaço e no tempo.

4.4.3. Indicadores dinâmicos

Com os valores limites iniciais definidos, pode-se escolher visualizar uma sucessão dinâmica de indicadores, codificados em cores, que mostram escalas de valores das variáveis sobre o tempo. Cada indicador mostrará cada nó ou arco em cores verde, amarelo ou vermelho. A cada indicador está associada uma seqüência particular de fluxo no ano e período do ano.

Deve-se estabelecer alguma prioridade do indicador de cor uma vez que as variáveis múltiplas tenham sido simuladas. Se algum valor das variáveis simuladas está na zona vermelha de um arco ou nó, então este arco ou nó, ou sua representação geográfica, será mostrado em vermelho. O vermelho tem prioridade sobre o amarelo ou verde. Se nenhum valor da variável estiver na zona vermelha, o amarelo aparecerá a menos que todas variáveis simuladas, nesse nó ou arco, estiverem em escala satisfatória ou verde. O amarelo tem prioridade sobre o verde. Uma vez determinados 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 11. Os valores limites iniciais não atribuídos às variáveis são supostos sempre para estarem na 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. Assim é possível detectar a causa do problema e analisar as possíveis soluções.

4.4.4. Indicadores estatísticos

Como complemento aos indicadores dinâmicos, os indicadores estatísticos podem ser indicados para qualquer variável simulada que tenha seus valores limites iniciais definidos. Estas informações estatísticas incluem medidas de confiabilidade e resiliência.

A confiabilidade de uma variável especificada é a probabilidade de que seu valor esteja na zona satisfatória (verde) ou na zona de advertência

(amarela). Define-se por conseguinte uma “confiabilidade verde” e uma “confiabilidade amarela”. Ambas baseiam-se nos valores médios de cada período intraanual simulado.

Essas confiabilidades são definidas como:

$$\text{Confiabilidade Verde} = 1,0 - \frac{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona amarela e vermelha}}{\text{n}^\circ \text{ de períodos intranuais simulados}} \quad (13)$$

$$\text{Confiabilidade Verde} = 1,0 - \frac{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona vermelha}}{\text{n}^\circ \text{ de períodos intranuais simulados}} \quad (14)$$

Quanto à confiabilidade verde, esta é freqüentemente menor que a confiabilidade amarela. Se forem iguais, significa que não há nenhum evento “amarelo” somente “verde” e possivelmente eventos “vermelhos” se a zona vermelha for adjacente à zona verde.

Resiliência é uma medida de quão rápido uma variável, tendo seu valor em zonas amarelas ou vermelhas, obterá um valor, em sucessivas etapas de tempo de simulação, que esteja nas zonas verde ou amarela, respectivamente. Isto significa a probabilidade de que na próxima etapa de tempo da simulação seu valor entrará em uma zona mais satisfatória. Devido à existência de dois valores limite, há dois tipos de resiliência para cada variável simulada:

$$\text{Resiliência Vermelha} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de períodos intranuais que um valor na zona vermelha foi seguido por um valor na zona amarela ou verde}}{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona vermelha}} \quad (15)$$

$$\text{Resiliência Amarela} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de períodos intranuais que um valor na zona amarela foi seguido por um valor na zona verde}}{\text{n}^\circ \text{ de valores simulados na zona vermelha}} \quad (16)$$

Se não houver valores das variáveis simuladas na zona vermelha, então a confiabilidade amarela é um, e a resiliência vermelha não é definida. Se não houver valores na zona amarela, então a confiabilidade verde será igual a confiabilidade amarela e a resiliência amarela não será definida.

Caso nenhum valor limite não tenha sido definido para uma variável em particular, os indicadores de desempenho, confiabilidade e resiliência, não poderão ser definidos para esta variável.

4.4.5. Distribuições da probabilidade

O IRAS pode indicar as distribuições de probabilidade de indicadores de desempenho da resiliência e da vulnerabilidade. Distribuições da probabilidade de resiliência indicam a probabilidade de que seqüências contínuas de valores estejam dentro de zonas insatisfatórias, isto é, a probabilidade de ocorrer diferentes durações em uma zona amarela ou vermelha. A duração (número de períodos no ano) de uma seqüência de valores na zona começa quando a seqüência de valores está primeiramente na zona vermelha após estar em uma zona em uma zona verde ou amarela e termina quando a seqüência de valores sai da zona vermelha e entra na zona amarela ou verde. Casos onde a zona vermelha é adjacente à zona amarela, a duração da seqüência de valores na zona amarela começa quando a seqüência de valores sai da zona verde e entra na amarela ou vermelha, e termina quando a seqüência de valores na zona amarela ou vermelha entra na zona verde.

As distribuições de probabilidade da vulnerabilidade indicam a probabilidade de diferentes magnitudes de valores insatisfatórios. Distribuições de probabilidade da vulnerabilidade amarela mostram a probabilidade das diferenças absolutas entre valores variáveis na zona amarela e o valor limite inicial que separa a zona vermelha e amarela. Distribuições de probabilidade de vulnerabilidade vermelha mostram as probabilidades das diferenças absolutas entre valores na zona vermelha e valores limites mais próximos que separam a zona vermelha da zona amarela ou verde.

Tanto a resiliência quanto a vulnerabilidade podem ser indicadas como distribuições condicionais ou incondicionais (histogramas). Distribuições incondicionais consideram a média dos valores do período intraanual, enquanto que distribuições condicionais levam em conta somente valores que estão em zona amarela ou vermelha.

4.5. MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS

O gerenciamento e planejamento de recursos hídricos é um processo complexo que reúne várias dificuldades, uma delas consiste na incerteza ou na aleatoriedade dos dados futuros de vazões. No processo de tomada de decisões em recursos hídricos, os técnicos podem adotar a própria série hidrológica amostral disponível, neste caso a análise do gerenciamento será decorrente apenas de uma série de vazões, a histórica. Outra alternativa é o desenvolvimento de modelos estocásticos de simulação das séries hidrológicas que poderiam gerar diversas novas séries, chamadas de sintéticas (TEIXEIRA, 2003).

Os dados estocásticos gerados através da modelagem de séries temporais podem ser usados em qualquer estudo da mesma forma que os dados históricos. Ainda, esses dados possuem as mesmas propriedades estatísticas e diferentes valores dependentes da série original (SALAS, 1980).

Utiliza-se a modelagem de séries temporais para: (a) reproduzir séries históricas, de forma que as principais características estatísticas das séries geradas sejam similares às da série original. Em outras palavras, gerar-se-á eventos equiprováveis, ou séries sintéticas. (b) previsão de séries hidrológicas futuras.

Os vários métodos para geração de séries sintéticas foram largamente difundidos nos anos 60 e tem sido utilizado em vários estudos, pois permitem testar a solução ótima obtida a partir da série histórica para diversos cenários hidrológicos equiprováveis.

A geração das variáveis de vazão do rio foi feita através do modelo estacionário multivariado autoregressivo de primeira ordem AR(1). No

estudo em questão ele correlaciona quatro postos fluviométricos situados na Bacia do Rio Sapucaí-mirim/Grande.

Segundo Salas (1980) para se modelar séries temporais é preciso definir um modelo matemático que represente séries com propriedades semelhantes.

Os modelos autoregressivos são atrativos em hidrologia principalmente porque consideram em sua formulação a dependência da variável no tempo (o valor da variável no tempo presente depende do valor da mesma em tempos posteriores) e são de fácil aplicação. Já os modelos multivariados consideram a dependência das variáveis no espaço.

4.6. MODELO ESTACIONÁRIO MULTIVARIADO AUTOREGRESSIVO DE PRIMEIRA ORDEM AR (1)

Em um processo estacionário, as propriedades estatísticas não se alteram com o tempo, embora as séries temporais correspondentes possam ser diferentes entre si. Deste modo, o primeiro passo para a aplicação do modelo AR (1) é a desazonalização da série histórica. As variáveis a serem consideradas são:

$X_1(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 1

$X_2(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 2

$X_3(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 3

$X_4(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 4

O comportamento periódico das séries históricas originais foi descrito através do ajuste à função logarítmica neperiana $Y_i(t) = \ln X_i(t)$, onde $i = 1, 2, 3, 4$ e $Y_i(t)$ corresponde à série uniforme das variáveis $X_i(t)$, para que pudessem ser empregadas na normalização das variáveis. Portanto:

A normalização das variáveis foi feita através da seguinte expressão:

$$Z_i(t) = \frac{Y_i(t) - \bar{Y}_i(t)}{\sigma_i(t)} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (17)$$

onde $Y_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, já foram definidas anteriormente, $\bar{Y}_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, são as médias de cada variável, $\bar{\sigma}_1(t)$, $\bar{\sigma}_2(t)$, $\bar{\sigma}_3(t)$, $\bar{\sigma}_4(t)$, são os desvios padrões das variáveis $Y_i(t)$ e $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, $Z_4(t)$ são as variáveis de vazão normalizada, média zero e desvio padrão um, para o mês t , a serem utilizadas no modelo AR (1).

O modelo AR (1) considera uma série multivariada estacionária $z_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ onde n é o número de séries temporais ou variáveis. Ainda, assume que $z_i(t)$ possui todos os valores normalizados com média zero e desvio padrão um. O modelo AR (1) das séries $z_i(t)$ pode ser expresso na forma matricial por:

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (18)$$

onde $\mathbf{Z}(t)$ são $(n \times 1)$ vetores dos elementos $z_i(t)$ da série histórica, \mathbf{A} e \mathbf{B} são $(n \times n)$ matrizes paramétricas, e $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é um $(n \times 1)$ vetor independente de números aleatórios com distribuição normal, média zero e desvio padrão um. O vetor de números aleatórios $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é não-correlacionado no tempo e espaço, isto é, $E[\varepsilon_i(t) \varepsilon_j(t)] = 0$ para $i \neq j$ ou $E[\varepsilon_i(t) \varepsilon_i^T(t)] = I$ onde T denota a matriz transposta e I é a matriz identidade. A eq. (18) pode ser escrita na seguinte forma expandida:

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ \vdots \\ Z_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ \vdots \\ Z_n(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) \end{bmatrix} \quad (19)$$

A estrutura de correlação de $\mathbf{Z}(t)$ evidenciada nas eq. (18) e eq. (19) indicam uma correlação de ordem zero e um no espaço, e uma correlação serial de ordem um no tempo.

Os parâmetros matriciais \mathbf{A} e \mathbf{B} foram obtidos através do método dos momentos (MATALAS, 1967).

Multiplicando a eq. (18) por $\mathbf{Z}^T(t)$ e re-arranjando, obtém-se:

$$E[Z(t) \cdot Z^T(t)] = A \cdot E[Z(t-1) \cdot Z^T(t)] + B \cdot E[\varepsilon(t) \cdot Z^T(t-1) \cdot A^T + \varepsilon^T(t) \cdot B^T] \quad (20)$$

Define-se matriz de covariância, M_0 , como:

$$M_0 = E[Z(t) \cdot Z^T(t)] \quad (21)$$

e M_1 , como:

$$M_1^T = E[Z(t-1) \cdot Z^T(t)] \quad (22)$$

Explorando as propriedades de $\varepsilon(t)$, a eq. (23) pode ser reduzida para:

$$M_0 = A \cdot M_1^T + B \cdot B^T \quad (23)$$

A eq. (23) relaciona os momento M_0 e M_1 com as matrizes paramétricas A e B . Multiplicando-se a eq. (13) por $Z^T(t-1)$, os valores esperados definem a covariância de atraso 1:

$$E[Z(t) \cdot Z^T(t-1)] = A \cdot E[Z(t-1) \cdot Z^T(t-1)] + B \cdot E[\varepsilon(t) \cdot Z^T(t-1)] \quad (24)$$

Novamente, com as propriedades de $\varepsilon(t)$, a eq. (24) passa a ser:

$$M_1 = A \cdot M_0 \quad (25)$$

Onde a estacionariedade do sistema estabelece que:

$$E[Z(t) \cdot Z^T(t)] = E[Z(t-1) \cdot Z^T(t-1)] = M_0 \quad (26)$$

Desta forma, a matriz A pode ser determinada pela eq. (27):

$$A = M_1 \cdot M_0^{-1} \quad (27)$$

Para calcular o parâmetro \mathbf{B} , segue-se instruções abaixo. A partir da eq. (23):

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{B}^T = \mathbf{M}_0 - \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_1^T = \mathbf{D} \quad (28)$$

onde \mathbf{B} é uma matriz triangular inferior que, no caso desta pesquisa, onde foram trabalhadas 4 variáveis, pode ser representado como se segue:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & b_{22} & 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 0 \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \quad (29)$$

Multiplicando-se \mathbf{B} , exposto na eq. 29, pela sua transposta, ter-se-á:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} b_{11}b_{11} & b_{11}b_{21} & b_{11}b_{31} & b_{11}b_{41} \\ b_{21}b_{11} & b_{21}^2 + b_{22}^2 & b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} & b_{21}b_{41} + b_{22}b_{42} \\ b_{31}b_{11} & b_{31}b_{21} + b_{32}b_{22} & b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2 & b_{31}b_{41} + b_{32}b_{42} + b_{33}b_{43} \\ b_{41}b_{11} & b_{41}b_{21} + b_{42}b_{22} & b_{41}b_{31} + b_{42}b_{32} + b_{43}b_{33} & b_{41}^2 + b_{42}^2 + b_{43}^2 + b_{44}^2 \end{bmatrix} \quad (30)$$

Os valores de \mathbf{B} são então obtidos através de uma seqüência de equações algébricas.

Após a determinação das matrizes paramétricas \mathbf{A} e \mathbf{B} , foram geradas as séries sintéticas para cada posto fluviométrico através das seguintes equações, deduzidas da eq. (19):

$$\mathbf{Z}_1 = a_{11}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{12}\mathbf{Z}_2(t-1) + a_{13}\mathbf{Z}_3(t-1) + a_{14}\mathbf{Z}_4(t-1) + b_{11}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) \quad (31)$$

$$\mathbf{Z}_2 = a_{21}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{22}\mathbf{Z}_2(t-1) + a_{23}\mathbf{Z}_3(t-1) + a_{24}\mathbf{Z}_4(t-1) + b_{21}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) + b_{22}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) \quad (32)$$

$$\mathbf{Z}_3 = a_{31}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{32}\mathbf{Z}_2(t-1) + a_{33}\mathbf{Z}_3(t-1) + a_{34}\mathbf{Z}_4(t-1) + b_{31}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) + b_{32}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) + b_{33}\boldsymbol{\varepsilon}_3(t) \quad (33)$$

$$\mathbf{Z}_4 = a_{41}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{42}\mathbf{Z}_2(t-1) + a_{43}\mathbf{Z}_3(t-1) + a_{44}\mathbf{Z}_4(t-1) + b_{41}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) + b_{42}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) + b_{43}\boldsymbol{\varepsilon}_3(t) + b_{44}\boldsymbol{\varepsilon}_4(t) \quad (34)$$

Para calcular os parâmetros do modelo, $\mathbf{Z}_i(t-1)$, $i = 1, 2, 3, 4$, foram obtidos dos valores das séries históricas. Agora, para a geração das séries, foi dado o valor zero como valor inicial para $\mathbf{Z}_1(t-1)$, $\mathbf{Z}_2(t-1)$, $\mathbf{Z}_3(t-1)$ e $\mathbf{Z}_4(t-1)$. Ainda, por razões práticas, foram descartados os dez primeiros anos gerados. Os valores de $\boldsymbol{\varepsilon}_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, foram gerados com o auxílio da ferramenta Análise de Dados (opção Geração de Números Aleatórios) da planilha eletrônica Excel, na qual também foi feita toda a geração das séries.

Os resíduos das séries $\mathbf{Z}_1(t)$, $\mathbf{Z}_2(t)$, $\mathbf{Z}_3(t)$ e $\mathbf{Z}_4(t)$ foram determinados através das expressões:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) = \frac{\mathbf{Z}_1(t) - a_{11}\mathbf{Z}_1(t-1) - a_{12}\mathbf{Z}_2(t-1) - a_{13}\mathbf{Z}_3(t-1) - a_{14}\mathbf{Z}_4(t-1)}{b_{11}} \quad (35)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) = \frac{\mathbf{Z}_2(t) - a_{21}\mathbf{Z}_1(t-1) - a_{22}\mathbf{Z}_2(t-1) - a_{23}\mathbf{Z}_3(t-1) - a_{24}\mathbf{Z}_4(t-1) - b_{21}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t)}{b_{22}} \quad (36)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_3(t) = [\mathbf{Z}_3(t) - a_{31}\mathbf{Z}_1(t-1) - a_{32}\mathbf{Z}_2(t-1) - a_{33}\mathbf{Z}_3(t-1) - a_{34}\mathbf{Z}_4(t-1) - b_{31}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) - b_{32}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t)] / b_{33} \quad (37)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_4(t) = [\mathbf{Z}_4(t) - a_{41}\mathbf{Z}_1(t-1) - a_{42}\mathbf{Z}_2(t-1) - a_{43}\mathbf{Z}_3(t-1) - a_{44}\mathbf{Z}_4(t-1) - b_{41}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) - b_{42}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) - b_{43}\boldsymbol{\varepsilon}_3(t)] / b_{44} \quad (38)$$

Foram geradas 4 séries de 24 anos cada (1980 a 2003).

4.7. MODELAGEM DA BACIA DO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE

O Sapucaí-Mirim, principal rio constituinte da bacia, atravessa as sub-bacias do Alto Sapucaí, Médio Sapucaí, Baixo Sapucaí e Ribeirão do Jardim/Córrego do Lageado.

4.7.1 Postos fluviométricos

A série de vazões medidas em determinado posto fluviométrico, instalado em um ponto do curso d'água, sendo adequadamente operado, permite caracterizar a disponibilidade hídrica superficial. A série hidrológica compreende vazões diárias que, por sua vez, podem ser resumidas em valores mensais, mais adequados para utilização em determinados tipos de estudos. O banco de dados do Departamento de Água e Energia Elétrica, DAEE, apresenta informações sobre a operação de 11 postos fluviométricos que foram instalados no Rio Sapucaí.

Tabela 12 – Postos fluviométricos operados pelo DAEE

Posto	Nome	Rio	Ano
1	Santo Antônio da Alegria	Rio Sapucaí-Mirim	1960 até 1999
2	Cobiça	Rio Sapucaí-Mirim	1967 até 1983
3	Faz. Nossa Sr ^a das Graças	Rio Sapucaí-Mirim	1966 até 1981
4	Usina Dourados	Rio Sapucaí-Mirim	1937 até 1977
5	Fazenda Velha	Rio Sapucaí-Mirim	1929 até 1946
6	Buriti	Ribeirão do Buriti	1980 até 1997
7	Sítio Cachoeira	Ribeirão do Salgado	1980 até 1996
8	Sítio Santa Fé	Rio Sapucaí-Mirim	1971 até 1981
9	Pioneiros	Rio Sapucaí-Mirim	1944 até 1970
10	Guará	Ribeirão da Estiva	1981 até 1999
11	Fazenda São Domingos	Rio Sapucaí-Mirim	1938 até 1978

Fonte: DAEE

Utilizou-se série sintética de escoamentos elaborada a partir dos dados dos postos fluviométricos instalados no rio Sapucaí pelo DAEE¹. A escolha dos postos levou em consideração sua distribuição ao longo do rio e a consistência dos dados. Os postos utilizados neste estudo foram: Santo Antonio da Alegria, Usina Dourados, Pioneiros e Fazenda São Domingos. As séries geradas pelo Modelo Estacionário Multivariado Autoregressivo de 1ª Ordem serviram de entrada no modelo IRAS. A partir destes dados elaborou-se os arquivos de fluxo Sapucaimed.flw e Sapucaimin.flw².

4.7.2. Demanda e usos dos recursos hídricos

Entende-se como demanda, o volume requerido de água necessário para o atendimento de qualquer tipo de uso. Deve-se destacar, no entanto, que esse termo foi empregado como o volume de água extraído ou requerido de uma determinada fonte superficial. Os dados relativos às demandas e usos da água foram obtidos pelo Relatório Zero do Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande, pelo Projeto Básico da CPFL e pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

4.7.3. Abastecimento público

Considera-se o abastecimento público como sendo a demanda de água necessária ao abastecimento urbano e industrial, distribuída uniformemente ao longo do ano, das cidades que compõem as quatro sub-bacias em estudo. A tabela 13 resume as demandas para cada sub-bacia.

¹ A descrição do processo de modelagem das séries de vazões foi descrita no item 4.6. As séries obtidas encontram-se nos Anexo A .

² Os arquivos de fluxo encontram-se no Anexo B.

Tabela 13 – Demandas para abastecimento público

Sub-bacias	Demandas		
	m ³ /s	milhões m ³ /ano	hm ³ /mês
Alto Sapucaí ^(*)			
Médio Sapucaí	0,03	0,96	0,08
Baixo Sapucaí	0,18	5,64	0,47
Rib. Jardim	0,26	8,16	0,68
Total (1)	0,47	14,76	1,23
Total da Bacia (2)	1,63	50,76	4,23
% (1)/(2)		29,08	

Fonte: Relatório Zero do CBH/SMG

(*) As retiradas de água para abastecimento público nesta sub-bacia são de origem subterrânea

4.7.4. Irrigação

A distribuição das chuvas durante os meses do ano não é uniforme. Nos meses de abril a setembro ocorre déficit hídrico acentuado para grande parte de culturas anuais e fruticultura o que causa quebra nas safras, implicando em prejuízos para o agricultor e, indiretamente, para a população. Nestas condições justifica-se o uso da irrigação.

Tabela 14 – Demandas para abastecimento irrigação

Sub-bacias	Área Irrigada (ha) ⁽¹⁾	Demandas ⁽²⁾		
		m ³ /s	milhões m ³ /ano	hm ³ /mês
Alto Sapucaí	3.593	1,17	37,20	3,10
Médio Sapucaí	1.026	0,34	16,20	1,35
Baixo Sapucaí	2.369	0,77	27,00	2,25
Rib. Jardim	19.689	6,44	200,40	16,70
Total (1)	26.677	8,72	280,80	23,40
Total da Bacia (1)	30.139	9,86	307,20	25,60
% (1)/(2)	88,5		91,4	

Fonte: (1) Censo Agropecuário 95/96 IBGE; (2) Adaptado do Plano Estadual de Recursos Hídricos

4.7.5. Geração de energia elétrica

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) possui duas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) em operação ao longo do Rio Sapucaí:

Dourados e São Joaquim. Além destes aproveitamentos as PCHs Palmeiras, Anhanguera e Retiro encontram-se em fase de projeto básico. São reservatórios de pequeno porte e portanto as usinas são consideradas de fio d'água, isto é toda água que chega, é utilizada, não possuindo capacidade de regularização e vazão regularizada.

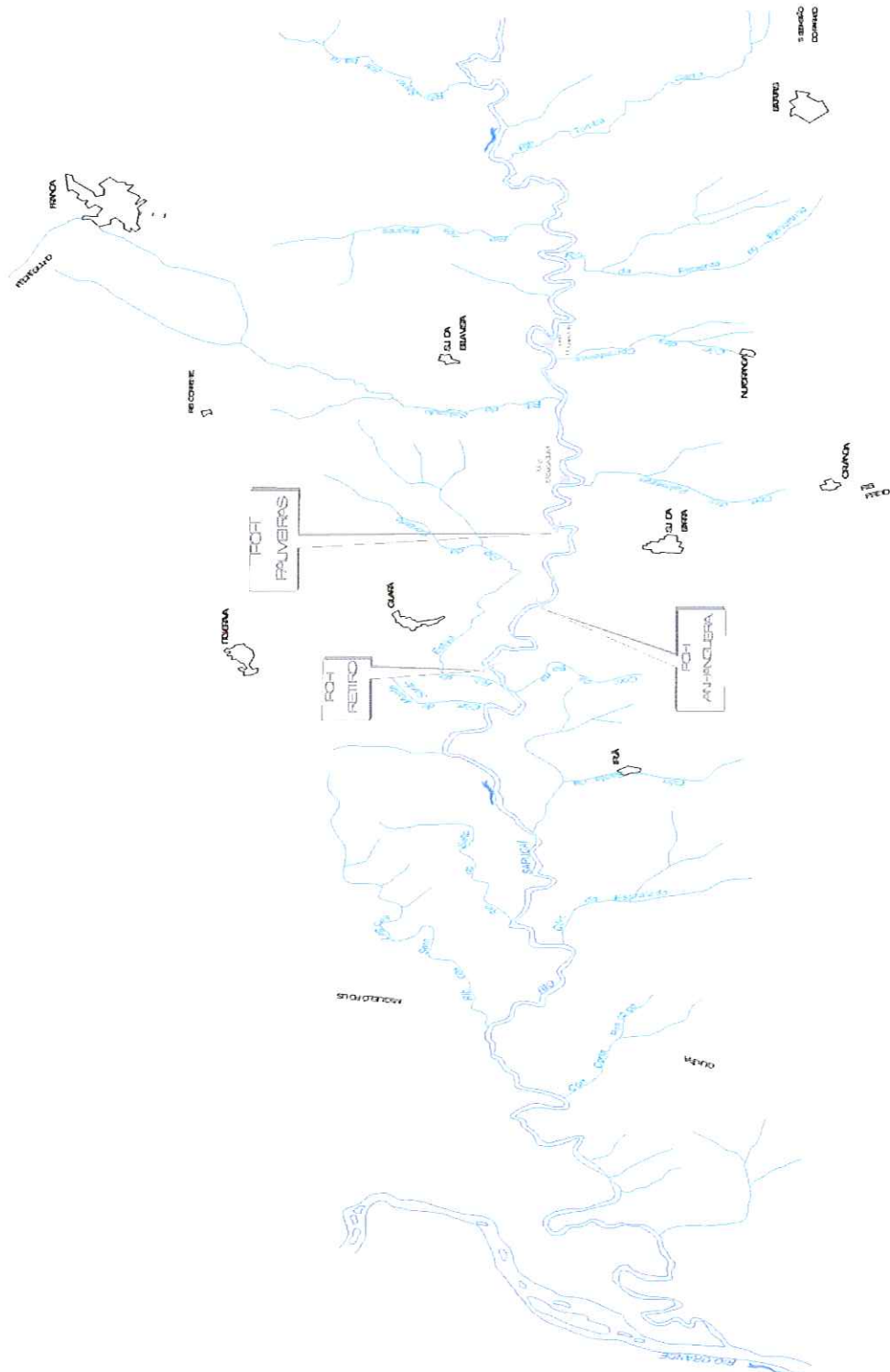


Figura 7 – Localização das PCHs em operação e projeto básico no Rio Sapucaí
Fonte: Projeto Básico (CPFL)

- PCH Dourados

Instalada em 1926, na Fazenda Cachoeira, município de Nuporanga, localiza-se no km 8,0 da estrada intermunicipal Nuporanga - São José da Bela Vista.

Tabela 15 – Especificações da PCH Dourados utilizados no estudo

Especificações	Valores
N. A. Montante	587,34 m
N. A. Jusante	557,26 m
Área do Reservatório	2,70 km ²
Volume Acumulado Total	0,035 hm ³
Potência Instalada	10,75 MW

Fonte: Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL



Figura 8 – PCH Dourados

Fonte: CPFL

- PCH São Joaquim

Construída em 1911 na Fazenda Santa Cruz, município de Guará, localiza-se no km 9,0 da estrada municipal São Joaquim da Barra à São José da Bela Vista.

Tabela 16 – Especificações da PCH São Joaquim utilizados no estudo

Especificações	Valores
N. A. Montante	587,34 m
N. A. Jusante	557,26 m
Área do Reservatório	2,70 km ²
Volume Acumulado Total	0,035 hm ³
Potência Instalada	10,75 MW

Fonte: Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL



Figura 9 – PCH São Joaquim

Fonte: CPFL

A tabela 17 a seguir mostra as especificações das PCHs em projeto básico consideradas no estudo.

Tabela 17 – Especificações das PCHs em projeto básico

Especificações	Palmeiras	Anhanguera	Retiro
N. A. Montante	556,00 m	540,50 m	523,00 m
N. A. Jusante	542,73 m	523,10 m	509,82 m
Área do Reservatório	2,67 km ²	2,00 km ²	3,13 km ²
Volume Acumulado Total	16,50 hm ³	12,00 hm ³	16,46 hm ³
Energia Firme	6,91 MW	8,91 MW	7,17 MW
Energia Média	8,13 MW	10,60 MW	8,53 MW
Potência Instalada	13,60 MW	18,50 MW	14,40 MW

Fonte: Projeto Básico CPFL

4.7.6. Estrutura do sistema simulado

Foram considerados dois cenários. No primeiro, estudou-se a configuração atual do sistema: composto pelo curso d'água do Rio Sapucaí, e os dois aproveitamentos hidrelétricos, as PCHs Dourados e São Joaquim. No segundo cenário foram incluídos os aproveitamentos em projeto básico de Palmeiras, Anhanguera e Retiro. Em ambos cenários foram consideradas quatro retiradas de água para irrigação, uma para cada sub-bacia. Quanto às tomadas de água para abastecimento público considerou-se apenas três; uma para cada sub-bacia exceto a do Alto Sapucaí onde a tomada de água é de origem subterrânea.

A figura 10 apresenta os esquemas relativos aos cenários simulados no estudo.

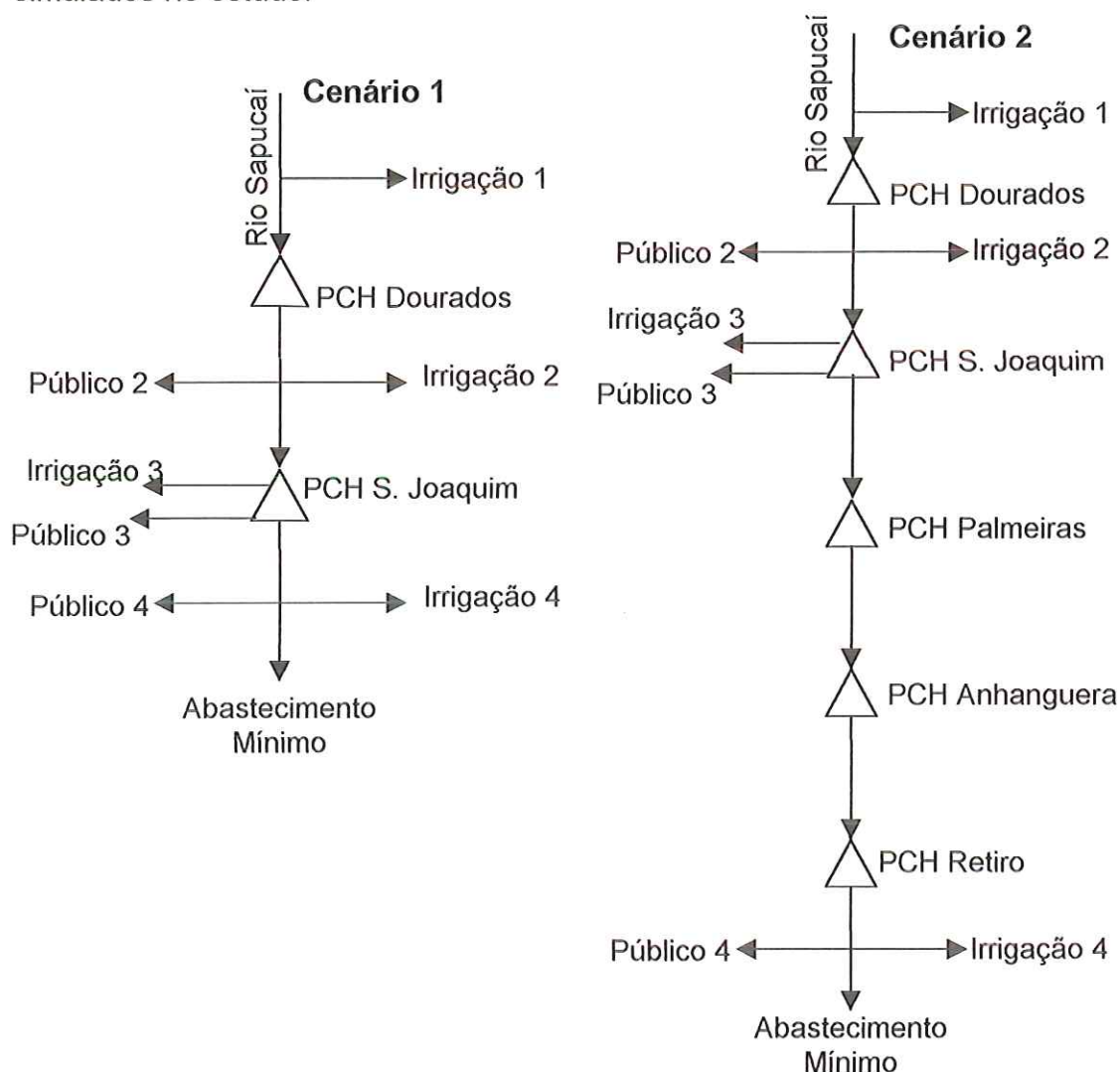


Figura 10 – Esquema dos cenários simulados no estudo

Considerou-se quatro hipóteses para simulação, associadas a cada um dos cenários: sistema operando com vazões médias mensais e sistema operando com vazões mínimas mensais.

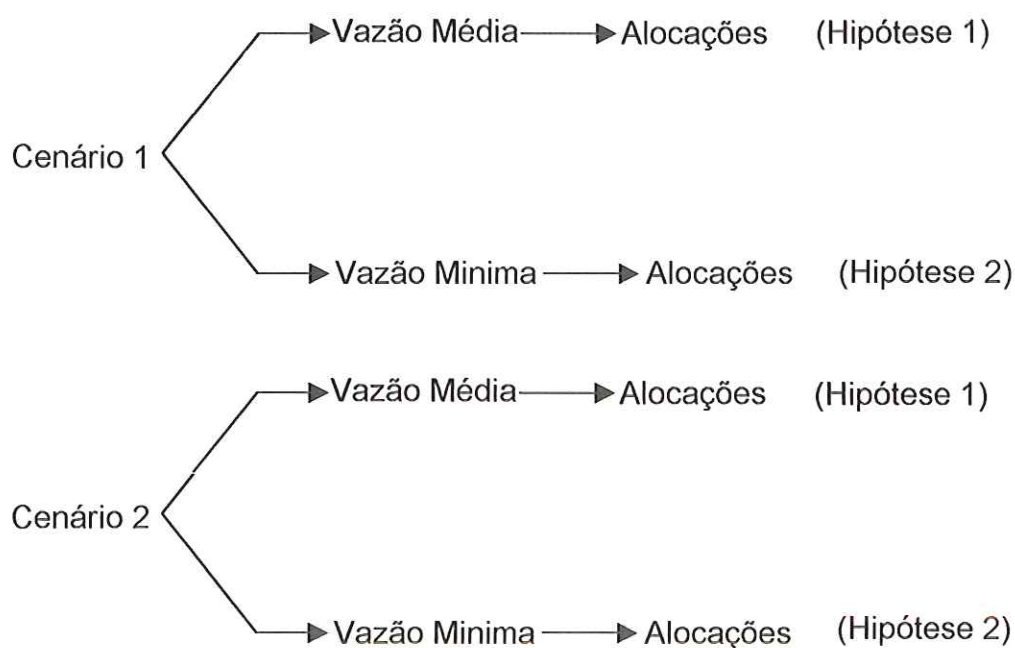


Figura 11 – Esquema das hipóteses de Simulação

4.7.7. Inserção dos dados no modelo

A seguir, as figuras ilustram a inserção dos dados referentes à modelagem da Bacia do Rio Sapucaí-Mirim/Grande no IRAS. Informações adicionais às figuras são complementadas por texto.

- *Representação da rede de arcos e nós*

As figuras 12 e 13 mostram as configurações dos cenários simulados através da rede de arcos e nós utilizada no modelo IRAS. Os postos fluviométricos Santo Antonio da Alegria, Usina Dourados, Pioneiros e Fazenda São Domingos, localizados nas sub-bacias do Alto, Médio e Baixo Sapucaí e

Ribeirão do Jardim/Córrego do Lageado, estão representados pelas siglas SAA, DRS, PRS e FSD, respectivamente.

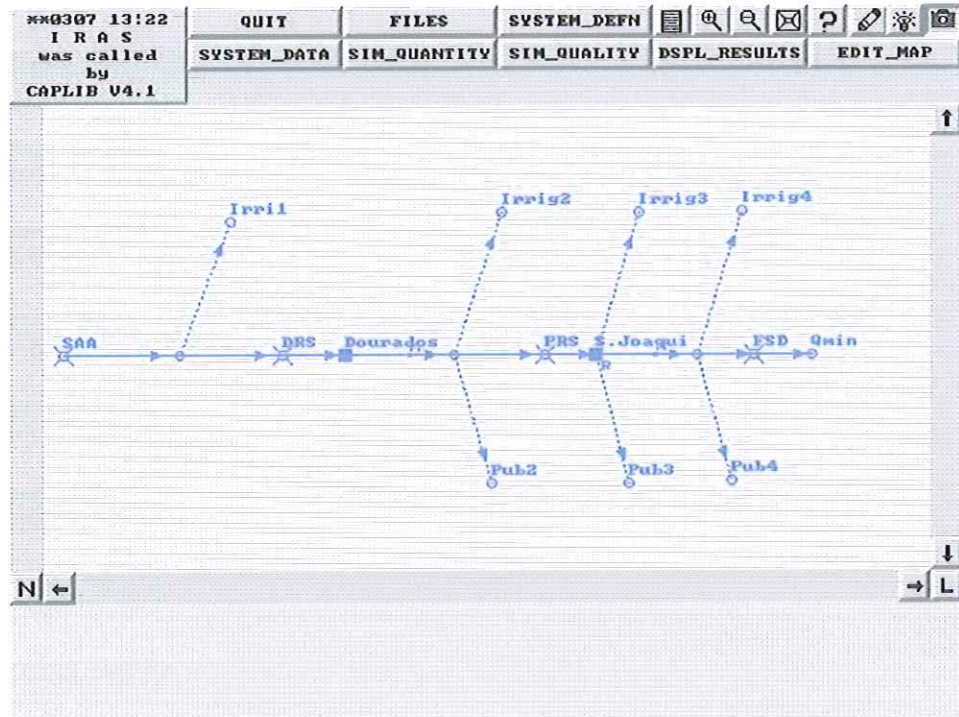


Figura 12 – Rede de arcos e nós do IRAS representando o cenário 1

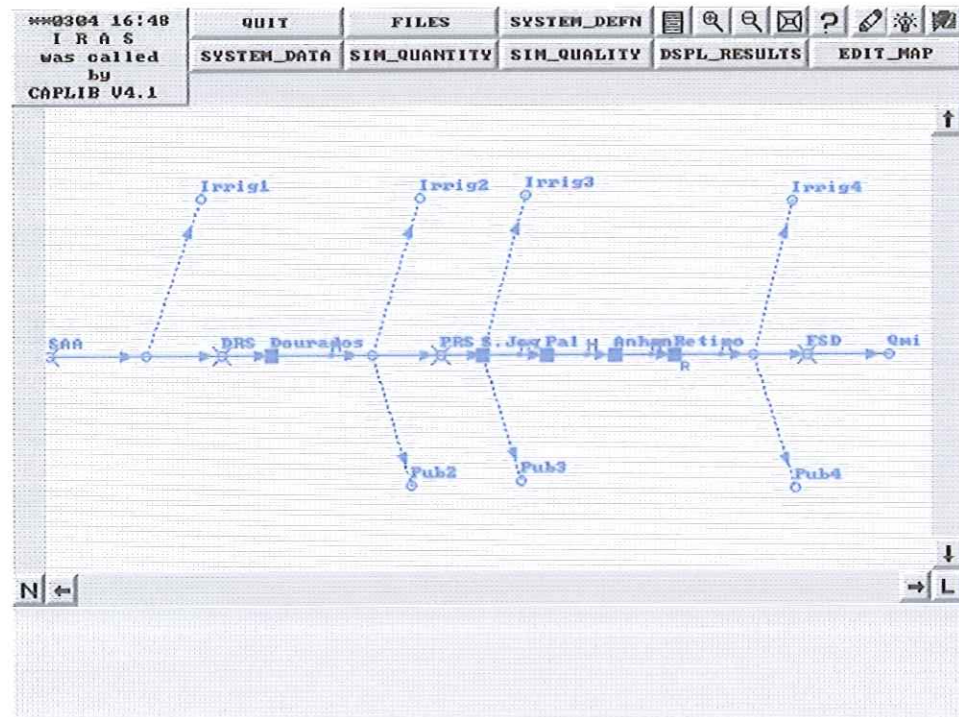


Figura 13 - Rede de arcos e nós do IRAS representando o cenário 2

- *Dados do consumo de água para abastecimento público*

Trata-se da entrada dos dados do sub-item 4.7.3. Estes consumos foram considerados igualmente distribuídos ao longo do ano.

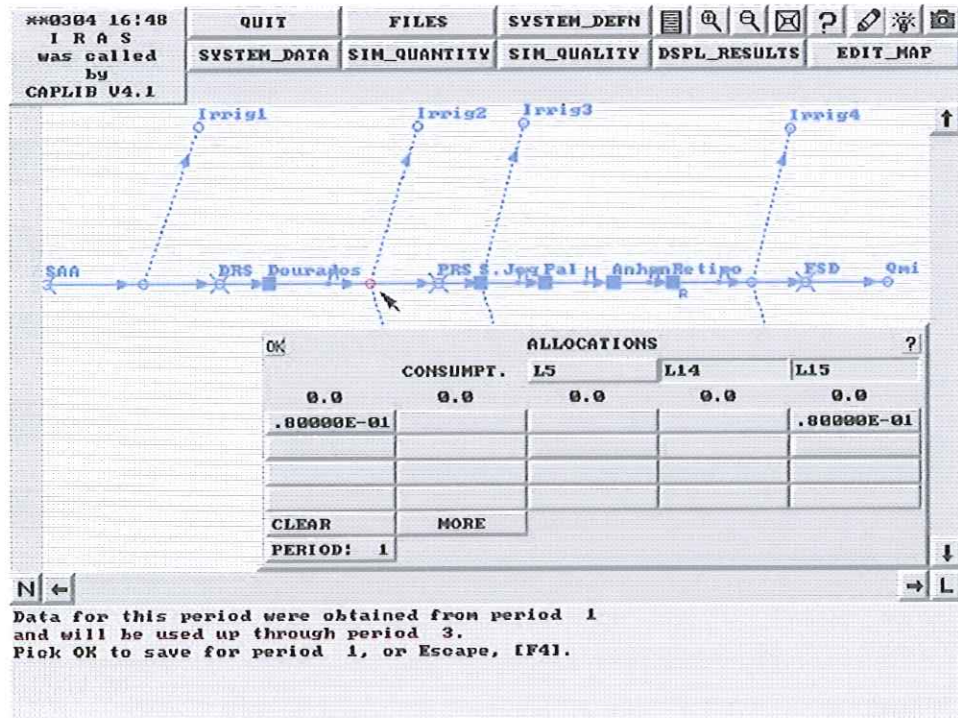


Figura 14 – Alocação do consumo público na sub-bacia Médio Sapucaí.

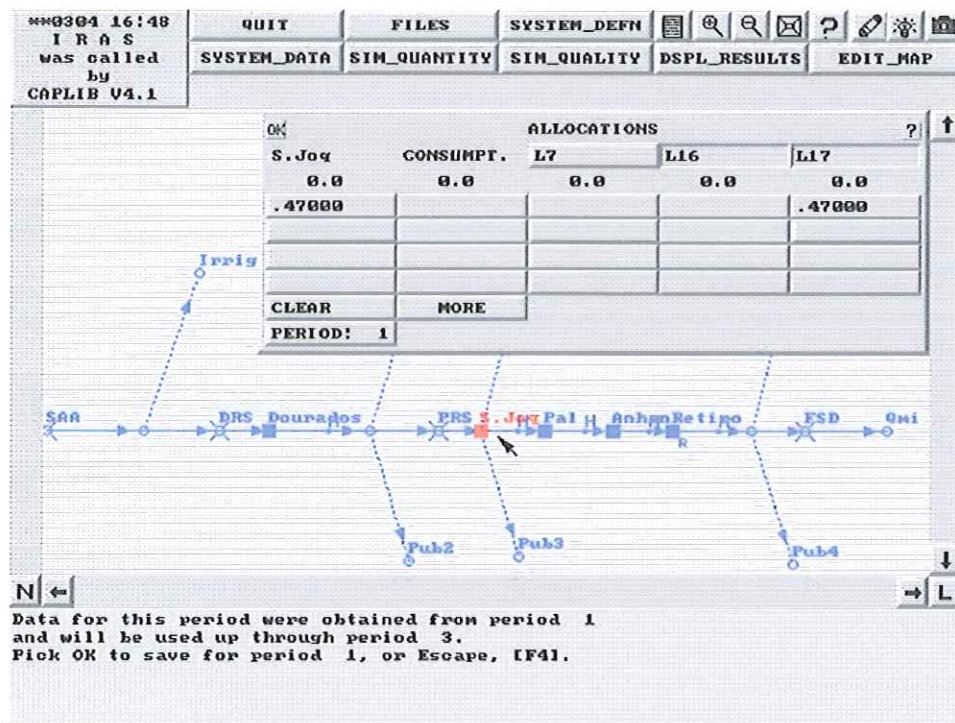


Figura 15 - Alocação do consumo público na sub-bacia Baixo Sapucaí.

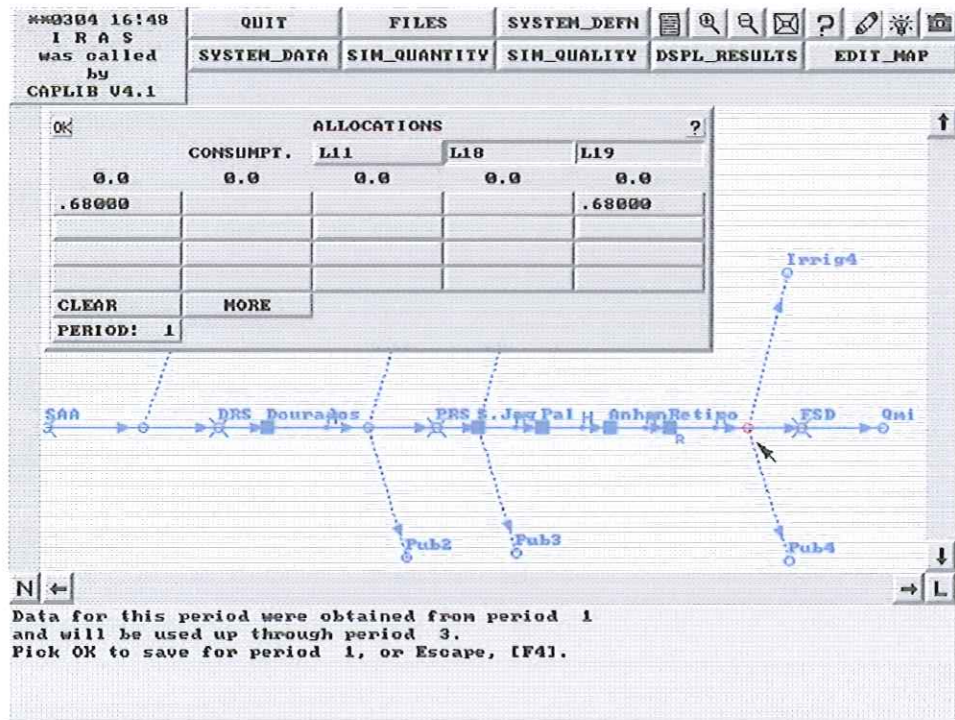


Figura 16 - Alocação do consumo público na sub-bacia Ribeirão do Jardim.

- *Dados do consumo de água na irrigação*

Informações inseridas conforme sub-item 4.7.4. Devido à não disponibilidade de dados a respeito da distribuição quantidade de água utilizada na irrigação ao longo do ano optou-se por considerar a irrigação anual acumulada entre meses de abril a setembro, período quando ocorre déficit hídrico acentuado.

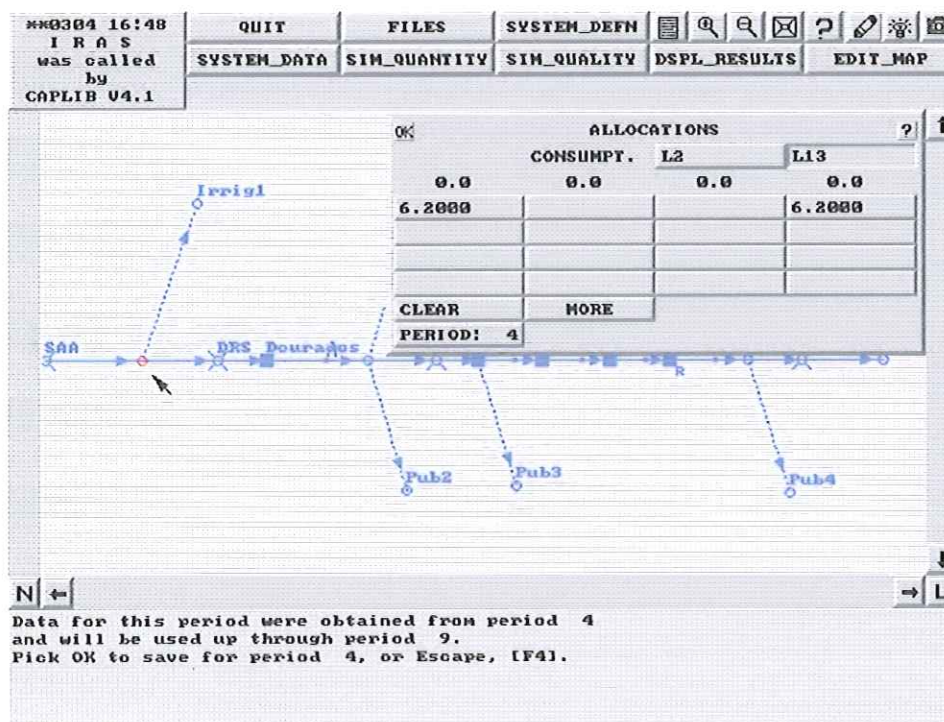


Figura 17 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Alto Sapucaí.

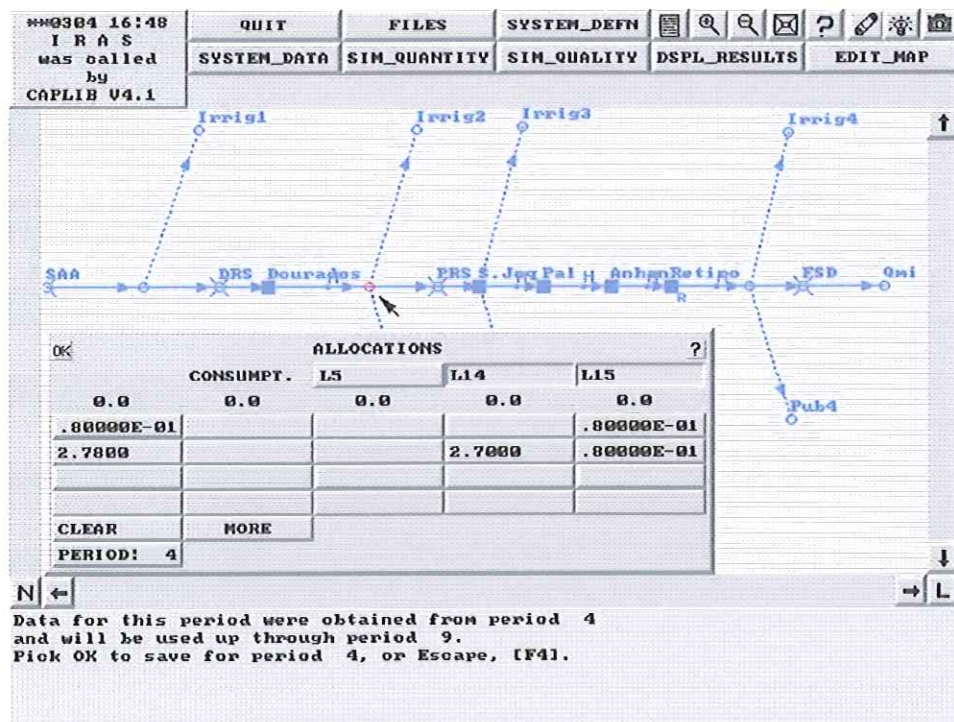


Figura 18 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Médio Sapucaí.

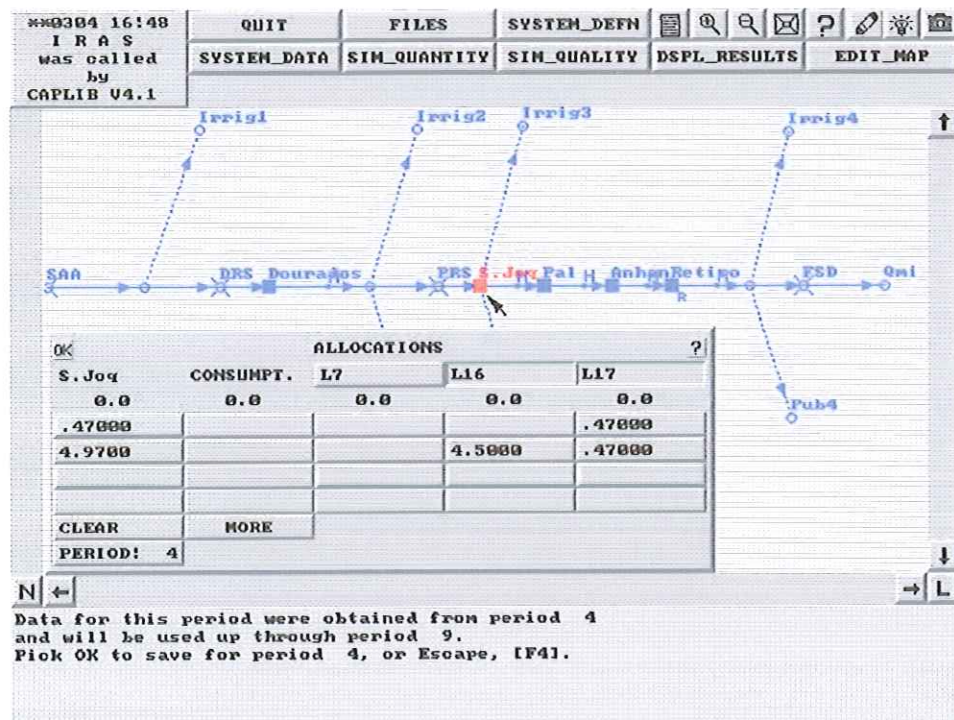


Figura 19 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Baixo Sapucaí.

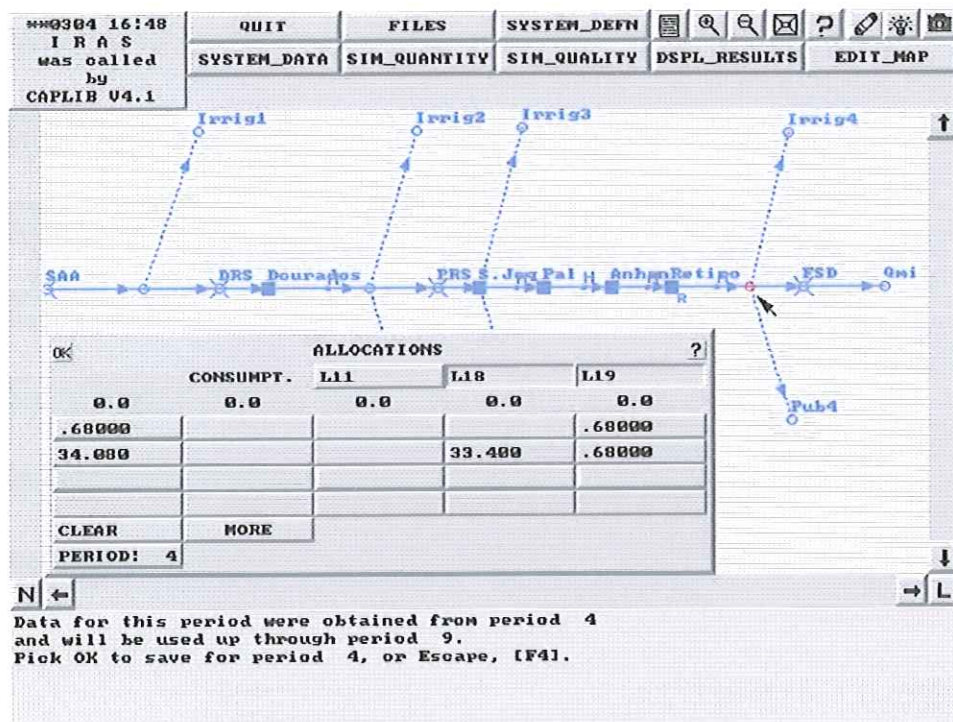


Figura 20 - Alocação de água para irrigação na sub-bacia Ribeirão do Jardim.

- Consumo da mínima vazão

Corresponde à quantidade mínima de água que o Rio Sapucaí deve apresentar no final do sistema, ao desaguar no Rio Grande.

Considerou-se o valor da vazão $Q_{7,10}=28 \text{ m}^3/\text{s}$, informada no Plano Estadual de Recursos Hídricos, distribuída de maneira uniforme ao longo do ano, como quantidade mínima garantida nas duas hipóteses.

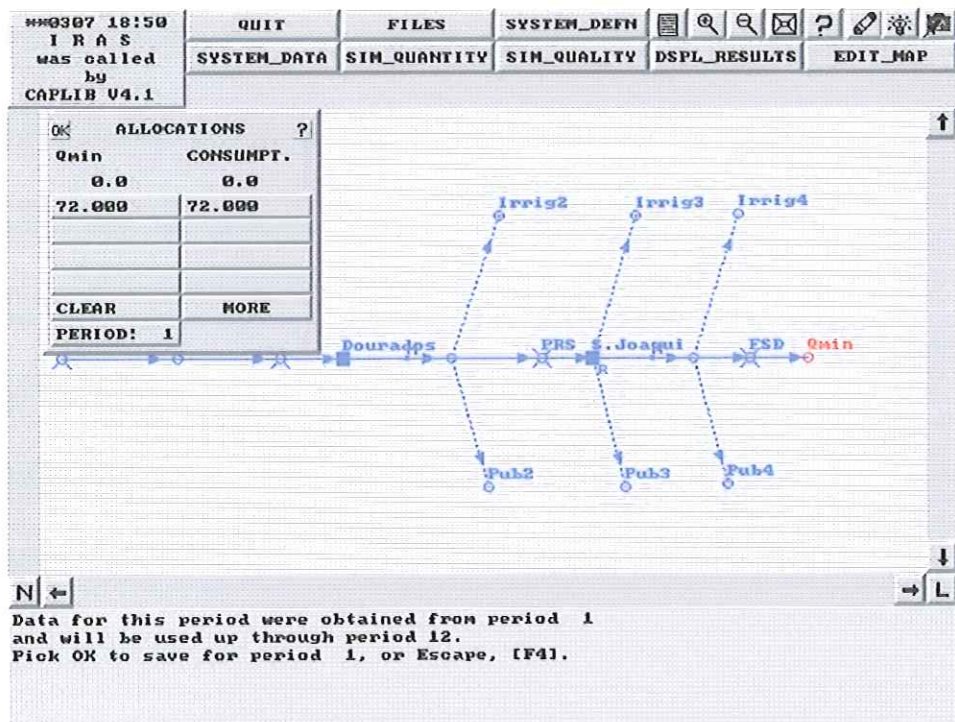


Figura 21 – Vazão mínima no final do sistema (Cenário 1).

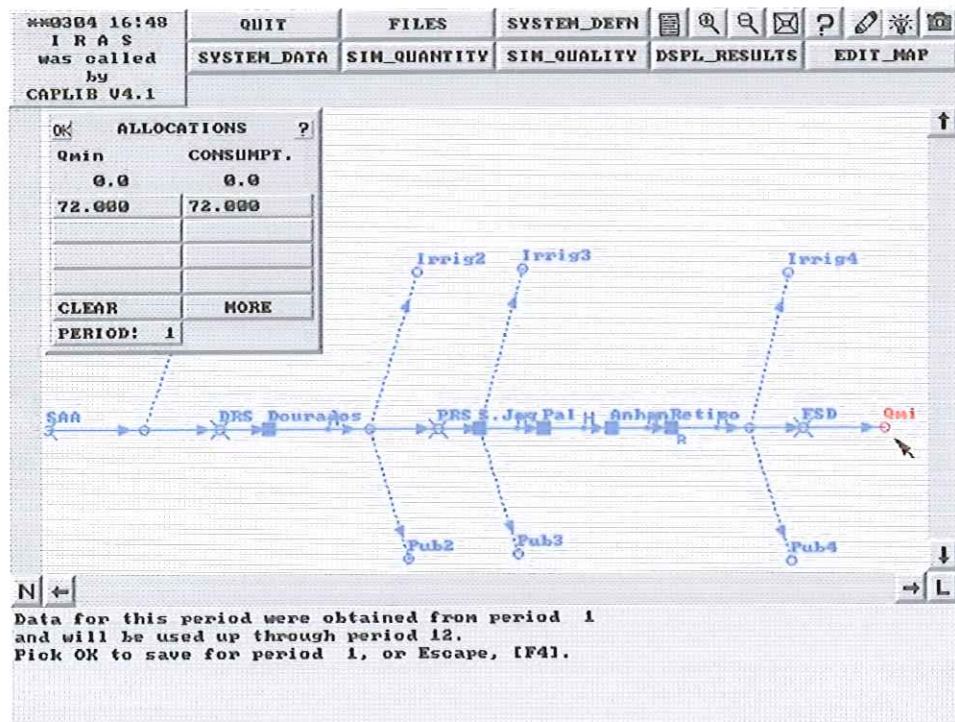


Figura 22 – Vazão mínima no final do sistema (Cenário 2).

Tabela 18 – Distribuição mensal das alocações no modelo IRAS*

Usos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Publ. 2	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,96
Publ. 3	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	5,64
Publ. 4	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	8,16
Irrig. 1				6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2				37,2
Irrig. 2				2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7				16,2
Irrig. 3				4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5				27,0
Irrig. 4				33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4				200,4
Q _{min}	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	864,0

* As alocações contidas nesta tabela foram inseridas no modelo para as duas hipóteses dos dois cenários

- Consumo de água para geração de energia elétrica

A figura 23 exemplifica a entrada dos dados necessários para a simulação da geração de energia elétrica no modelo IRAS.

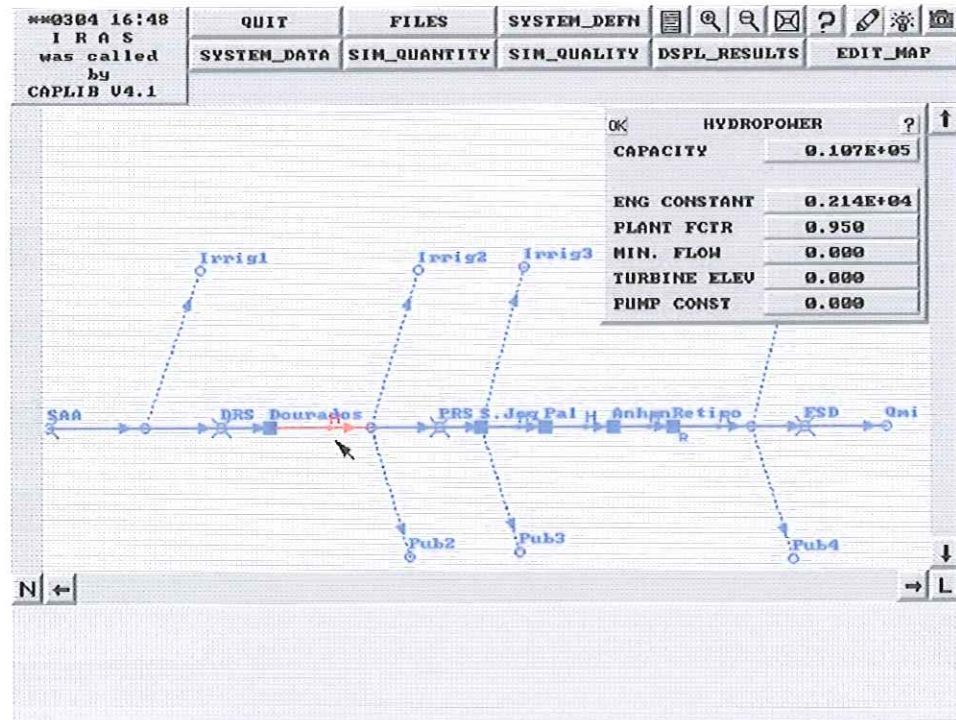


Figura 23 – Entrada de dados para geração de energia elétrica

A constante de produção de energia converte fluxo e altura útil em energia. Esta constante pode ser derivada da equação de potência:

$$\text{Potência (kW)} = 9,81 \times \text{Fluxo (m}^3/\text{s)} \times \text{Altura útil (m)} \times \eta \text{ (eficiência)} \quad (39)$$

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

$$\text{Energia (kWh)} = \text{Potência (kW)} \times \text{horas na etapa de tempo de simulação} \quad (40)$$

Então:

$$\text{Energia (kWh)} = 9,81 \times \text{Fluxo (m}^3/\text{s)} \times \text{Altura útil (m)} \times \eta \text{ (eficiência)} \times \text{número de horas na etapa de tempo de simulação} \quad (41)$$

Usando a constante de armazenamento, que converte as unidades definidas do fluxo em unidades de volume armazenado por dia, e multiplicando pelo número de dias de cada etapa de tempo de simulação, define-se o fluxo em unidades de volume de armazenamento pela etapa de tempo de simulação. Dessa forma, se os fluxos forem expresso na unidade (m^3/s) e as unidades do volume do armazenamento estiverem em $1000 (\text{m}^3)$, o modelo converte as unidades do fluxo para 1000 m^3 por etapa de tempo de simulação.

As unidades em (m^3/s) começam então a serem substituídas pelo fluxo em $1000 (\text{m}^3)$ pela etapa de tempo, dividindo-se pelo produto entre horas da etapa de tempo e número de segundos. Então:

$$\text{Fluxo (m}^3/\text{s)} = \frac{1000 \times (1000 \text{ m}^3 \text{ pela etapa de tempo})}{(\text{horas da etapa} \times 3600 \text{ seg/h})} \quad (42)$$

Combinando as equações (41) e (42), tem-se:

$$\text{Energia (kWh)} = \frac{9,81 \times \text{Fluxo (1000 m}^3/\text{ etapa de tempo)} \times \text{Altura útil (m)} \times 1000 \times \eta \text{ (eficiência)}}{(3600 \text{ seg/h})} \quad (43)$$

Simplificando:

$$\text{Energia (kWh)} = 2.725 \times \text{Fluxo (1000m}^3 / \text{ etapa de tempo)} \times \text{Altura útil (m)} \times \eta \quad (44)$$

Nesta simulação a unidade do volume armazenado está expresso em milhões de metros cúbicos (hm^3). Usando a constante de conversão de 0,0333 para converter as unidades de fluxo desejadas na

simulação para as unidades de volumes armazenados por dia, e a energia a ser produzida, estando expressa em (MWh), significa que a constante de produção de energia é a mesma.

Neste estudo foram utilizados os seguintes parâmetros para produção de energia elétrica:

- Capacidade das usinas em MWh;
- Constante de produção de energia: $2.725 \times$ (eficiência), neste caso, $2.725 \times 0,85 = 2.136$;
- Fator de capacidade (fração do tempo em que pode ser produzida energia): 0,95 (Dourados e São Joaquim) e 1,0 (Palmeiras, Anhanguera e Retiro);

Tabela 19 – Distribuição dos parâmetros de entrada para geração de energia

Parâmetros	Dourados	S. Joaquim	Palmeiras	Anhanguera	Retiro
Capacidade (kW)	10.750	8.000	13.600	18.500	14.400
Const. Prod.	2.136	2.136	2.136	2.136	2.136
Fator de Planta	0,95	0,95	1,0	1,0	1,0

- *Consumo por evaporação*

Admite-se uma evaporação a partir das superfícies dos reservatórios na bacia do rio Sapucaí de 1581mm conforme tabela 20. Não foram consideradas perdas de água por infiltração e da rede fluvial. Admite-se que o erro cometido por esta hipótese é compensado pelos acréscimos de afluência por precipitação direta sobre os reservatórios e por escoamento superficial ao longo dos vales.

Tabela 20 – Evaporação mensal na bacia do rio Sapucaí (mm)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
91	87	105	108	122	128	161	199	192	163	126	99	1581

Fonte: Relatório Zero CBH/SMG

A taxa de evaporação do reservatório no modelo IRAS é dada pelo produto do volume do reservatório pela área por dia. Tomando-se como exemplo o mês de janeiro para o reservatório de Anhanguera, temos:

Volume evaporado = $(2 \times 10^6 \text{ m}^2) \times (91 \times 10^{-3} \text{ m}) = 182.000 \text{ m}^3 = 0,182 \text{ hm}^3$

Taxa de evaporação = $(0,182 \text{ hm}^3 \times 2,0 \text{ km}^2) / 30 \text{ dias} = 0,0121$.

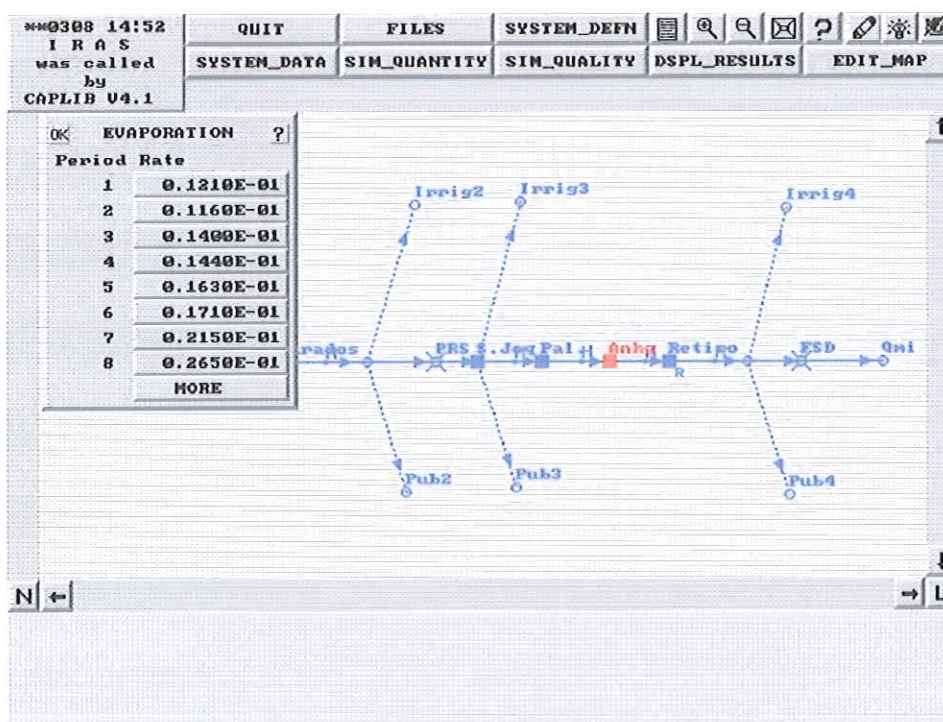


Figura 24 – Dados de evaporação utilizados no IRAS

Tabela 21 – Consumos por evaporação

	Dourados	S. Joaquim	Palmeiras	Anhanguera	Retiro
Janeiro	0,0221	0,0026	0,0216	0,0121	0,0297
Fevereiro	0,0211	0,0025	0,0207	0,0116	0,0284
Março	0,0255	0,0030	0,0250	0,0140	0,0343
Abril	0,0262	0,0031	0,0257	0,0144	0,0353
Mai	0,0296	0,0035	0,0290	0,0163	0,0398
Junho	0,0311	0,0037	0,0304	0,0171	0,0418
Julho	0,0391	0,0046	0,0383	0,0215	0,0526
Agosto	0,0484	0,0057	0,0473	0,0265	0,0650
Setembro	0,0467	0,0055	0,0456	0,0256	0,0627
Outubro	0,0396	0,0047	0,0387	0,0217	0,0532
Novembro	0,0306	0,0036	0,0299	0,0168	0,0411
Dezembro	0,0241	0,0029	0,0235	0,0132	0,0323

4.7.8. Definição das Regras de operação

O modelo IRAS é flexível no que diz respeito à definição da regra de operação do sistema. Esta operação é o resultado da definição de um vasto conjunto de funções e valores, tais como as demandas de volume armazenado e descarga mínima de cada reservatório, assim como os objetivos de fornecimento de cada ponto de consumo. Os aproveitamentos hidrelétricos em estudo são operados a fio d'água, isto é, toda água que chega é utilizada, mantendo um nível constante. Nos dois cenários, a regra de liberação está localizada no reservatório do grupo mais à jusante. Nesse reservatório define-se a liberação através de zonas de armazenamento, como mostra a figura

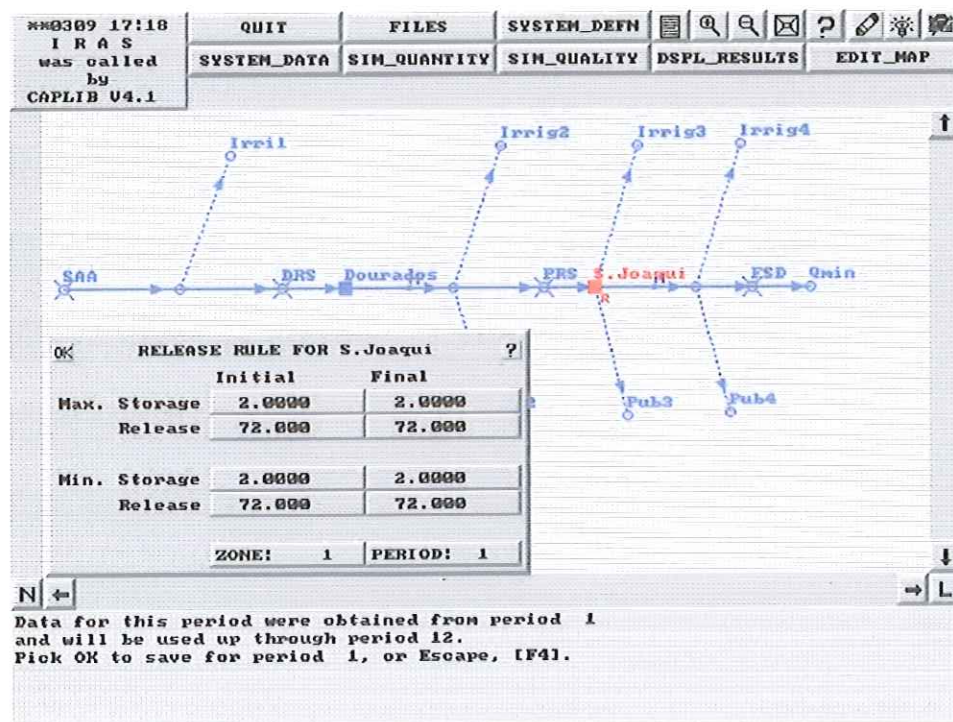


Figura 25 – Entrada de dados para regra de liberação em São Joaquim

O usuário do modelo tem liberdade para combinar todas estas funções e valores de modo a estabelecer a regra de operação que pretende. Assim, determinou-se a regra de liberação dos outros reservatórios através das funções de balanço. Estas funções são definidas para cada período do ano t e indicam o armazenamento meta para cada reservatório do grupo à montante como função do armazenamento total dos reservatórios.

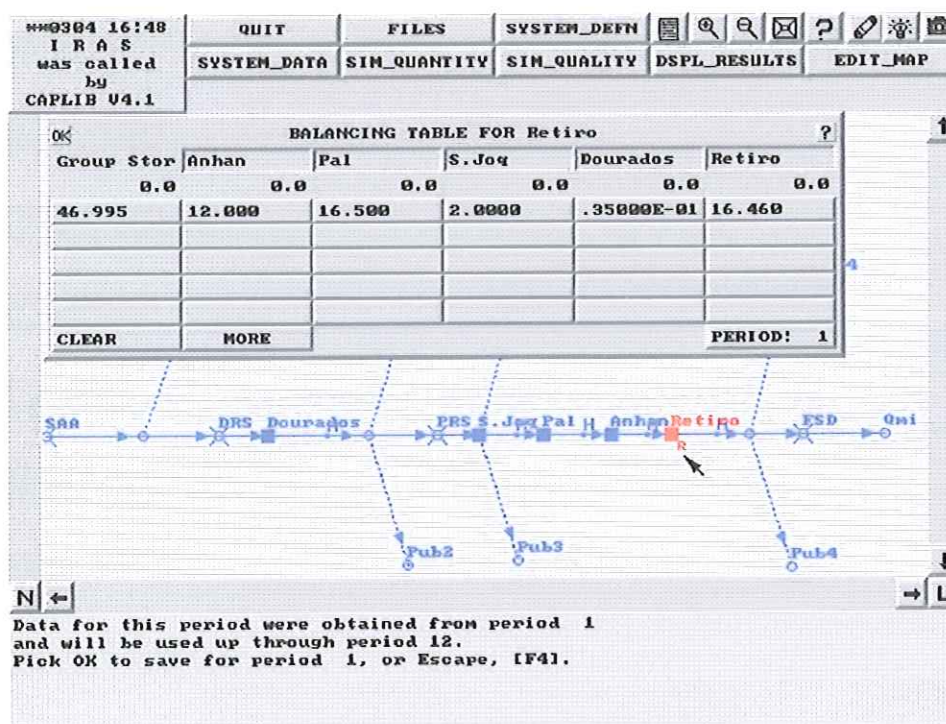


Figura 26 – Funções de balanço para os reservatório de Dourados, São Joaquim, Palmeiras, Anhanguera e Retiro.

4.7.9. Dados limites utilizados no modelo IRAS

O uso de valores limites iniciais é um dos mecanismos operados pelo IRAS para ajudar a identificar quando e onde as variáveis do sistema podem estar em uma escala não satisfatória. Atribui-se dois valores limites iniciais para cada variável simulada, os quais dividem os possíveis valores em três zonas.

Neste estudo definiu-se como falha ou escala “vermelha” a zona mais baixa de cada variável. Com exceção das variáveis de armazenamento, para todas a escala superior é a satisfatória ou “verde”. Entre as escalas vermelha e verde encontra-se uma zona média que pode ser denominada de escala de aviso ou “amarela”. Esta é a alternativa 2 da tabela 11. Para variáveis do armazenamento a escala média está definida como escala “verde” satisfatória, e a escala superior como escala “amarela” de advertência. Esta é a alternativa 1 da tabela 11.

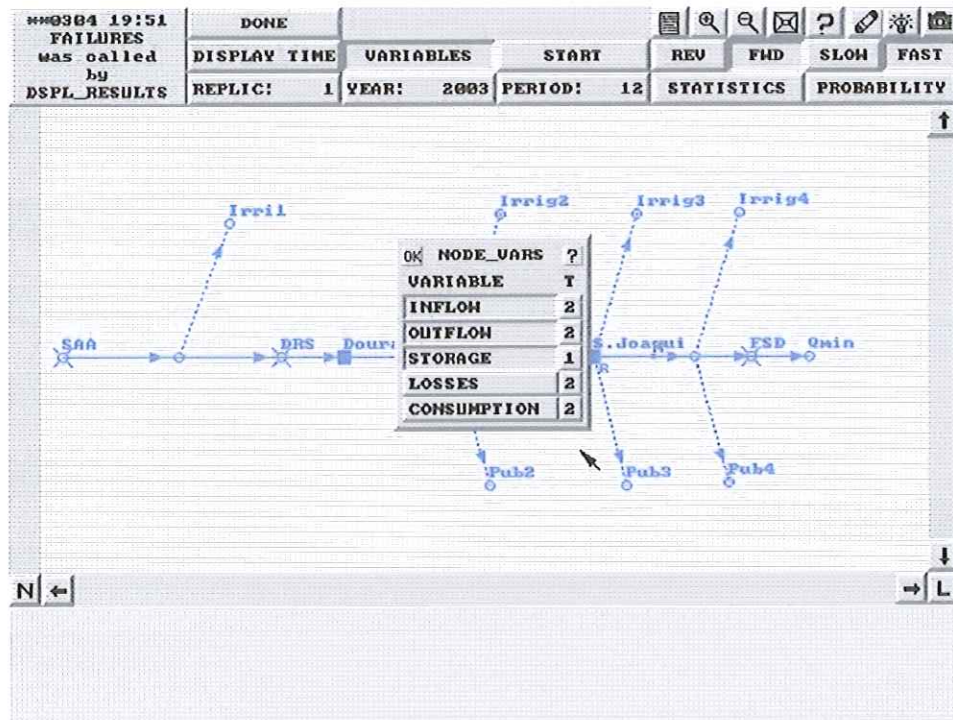


Figura 27 – Combinações da tabela 11 utilizadas para variáveis simuladas

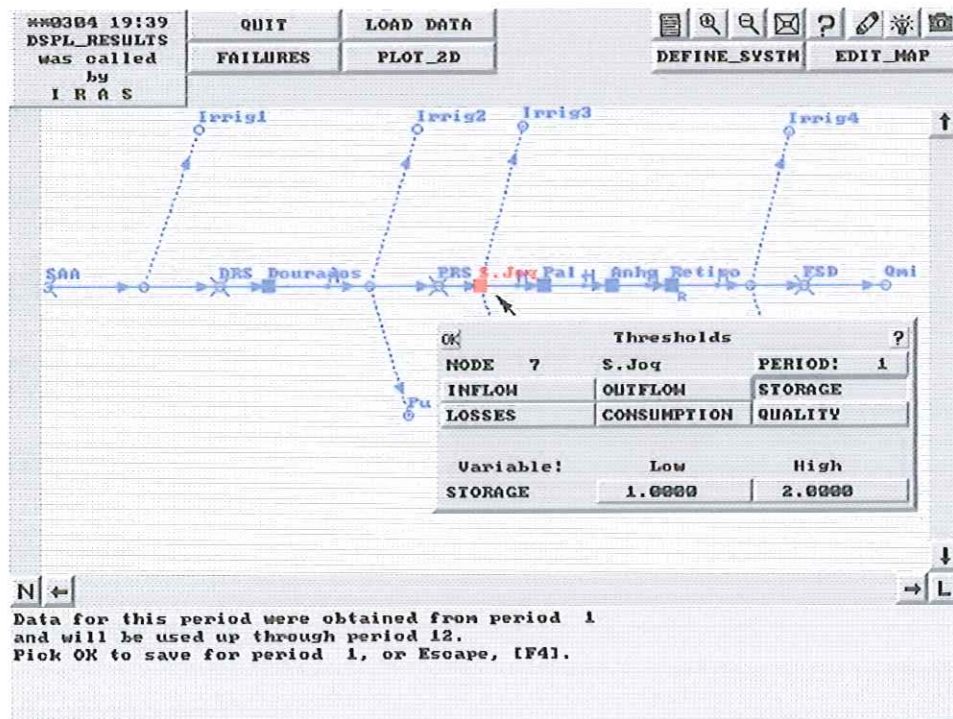


Figura 28 – Valores limites iniciais considerados para São Joaquim

Tabela 22 – Valores limites iniciais inseridos no IRAS

Variável		Valores Iniciais	
		Baixo (<i>low</i>)	Alto (<i>high</i>)
Etapa de tempo 1 a 12			
Dourados	Armazenamento	0,01	0,035
São Joaquim	Armazenamento	1,00	2,00
Palmeiras	Armazenamento	12,38	16,50
Anhangüera	Armazenamento	9,00	12,00
Retiro	Armazenamento	12,34	16,46
Etapa de tempo 4 a 9			
Irrigação 1	Fluxo	4,65	6,2
Irrigação 2	Fluxo	2,00	2,7
Irrigação 3	Fluxo	3,4	4,5
Irrigação 4	Fluxo	25,00	33,4
Etapa de tempo 1 a 12			
Público 2	Fluxo	0,06	0,08
Público 3	Fluxo	0,35	0,47
Público 4	Fluxo	0,51	0,68
Etapa de tempo 1 a 12			
Geração em	Geração	4031	5375
Dourados	Fluxo	68,32	105,12
Geração em	Geração	3000	4000
São Joaquim	Fluxo	66,96	103,02
Geração em	Geração	5100	6800
Palmeiras	Fluxo	67,25	103,41
Geração em	Geração	6937,5	9250
Anhangüera	Fluxo	70,66	106,89
Geração em	Geração	5400	7200
Retiro	Fluxo	72,32	108,11

5. RESULTADOS

Os resultados do IRAS 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 gráficos.

A seguir, são mostradas as figuras correspondentes aos resultados – indicadores estatísticos de confiabilidade e resiliência – obtidos para a hipótese 1 do cenário 1, relativo à situação atual do sistema estudado. Os resultados das demais simulações são apresentados nas tabelas 23 a 30.

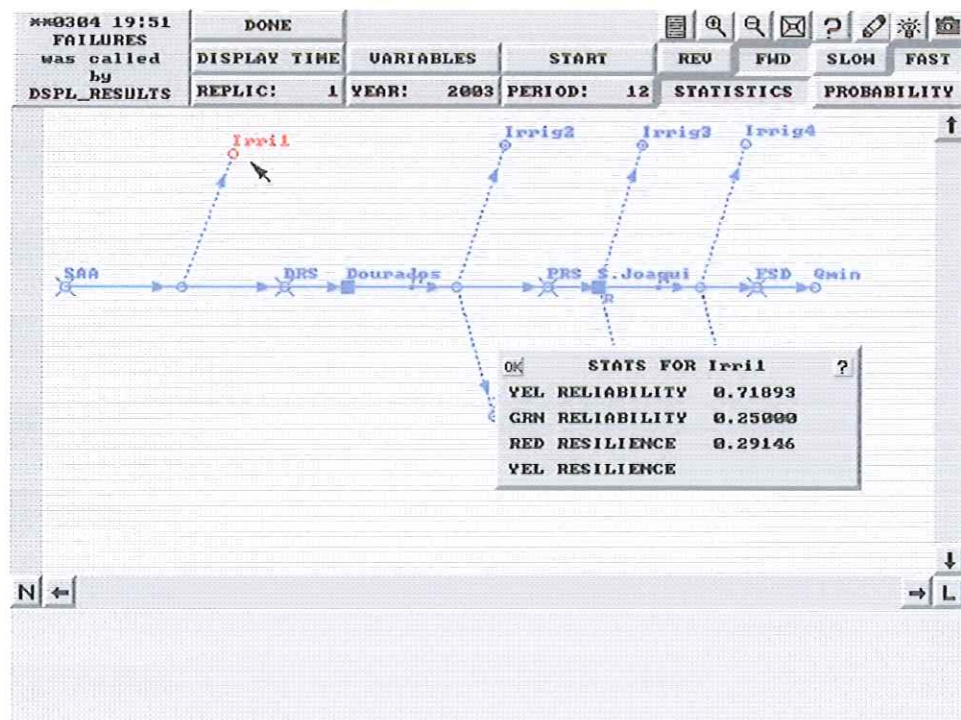


Figura 29 – Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Alto Sapucaí.

Em relação ao consumo da irrigação 1, isto é, volume consumido na irrigação pela sub-bacia do Alto Sapucaí, o sistema apresenta confiabilidade

amarela de 72%, indicando que os objetivos em relação aos limites escolhidos não são atingidos em 28% dos 59 anos simulados na zona amarela ou intermediária. A confiabilidade verde do consumo da irrigação 1 é de 25% em relação à zona superior da opção 2 escolhida na tabela 11. Não houve probabilidade de um valor que se encontra na zona média atingir a zona elevada, isto pode ser evidenciado pela não definição da resiliência amarela. A resiliência para recuperação do sistema quando este se encontra na zona baixa e passa para a zona média ou elevada (resiliência vermelha) foi de 29%.

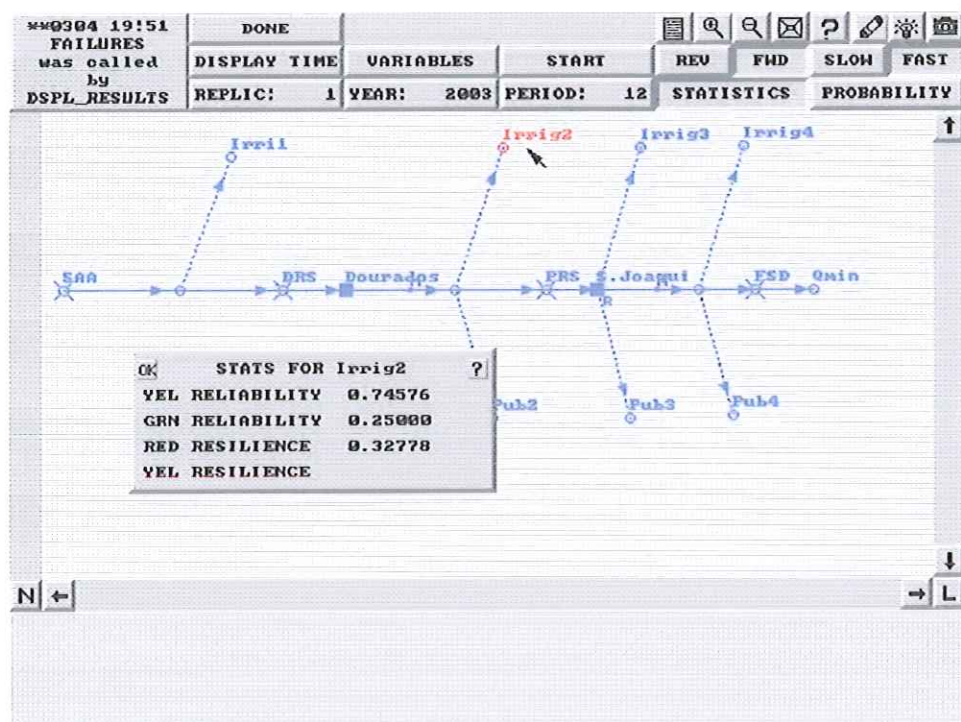


Figura 30 – Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Médio Sapucaí.

Para o consumo da irrigação 2, requerido pela sub-bacia do Médio Sapucaí, 75% dos objetivos são atendidos em relação aos limites escolhidos para os 59 anos simulados, conforme indicado pela confiabilidade amarela. A confiabilidade verde é de 25%. Enquanto que a resiliência vermelha é de 33%.

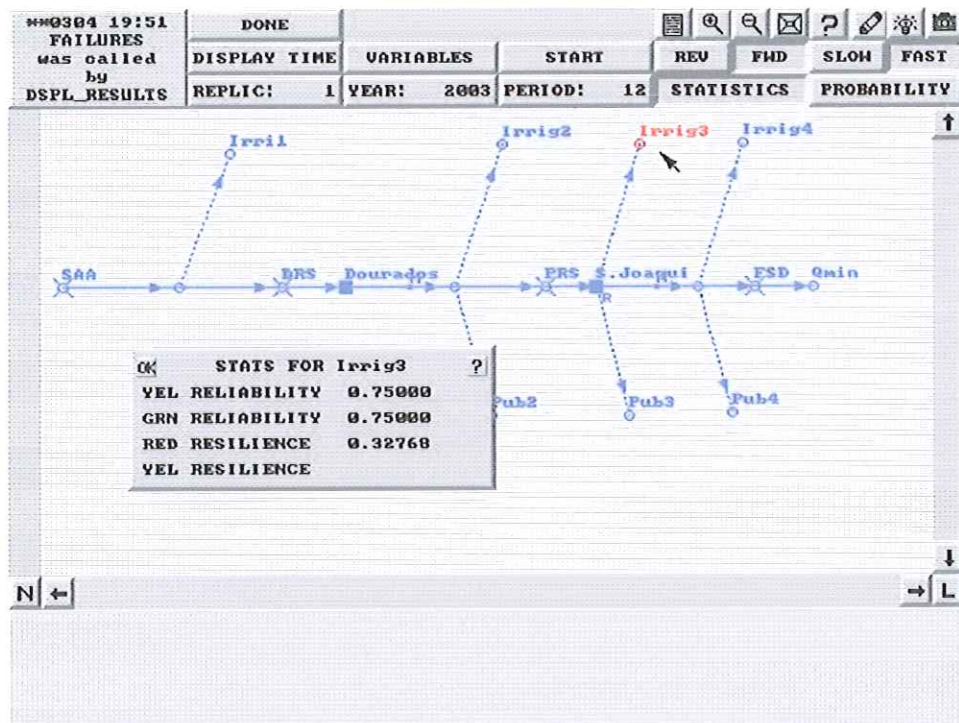


Figura 31 – Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Baixo Sapucaí.

As confiabilidades verde e amarela são de 75% para o consumo de irrigação 3. A resiliência vermelha atinge 33%.

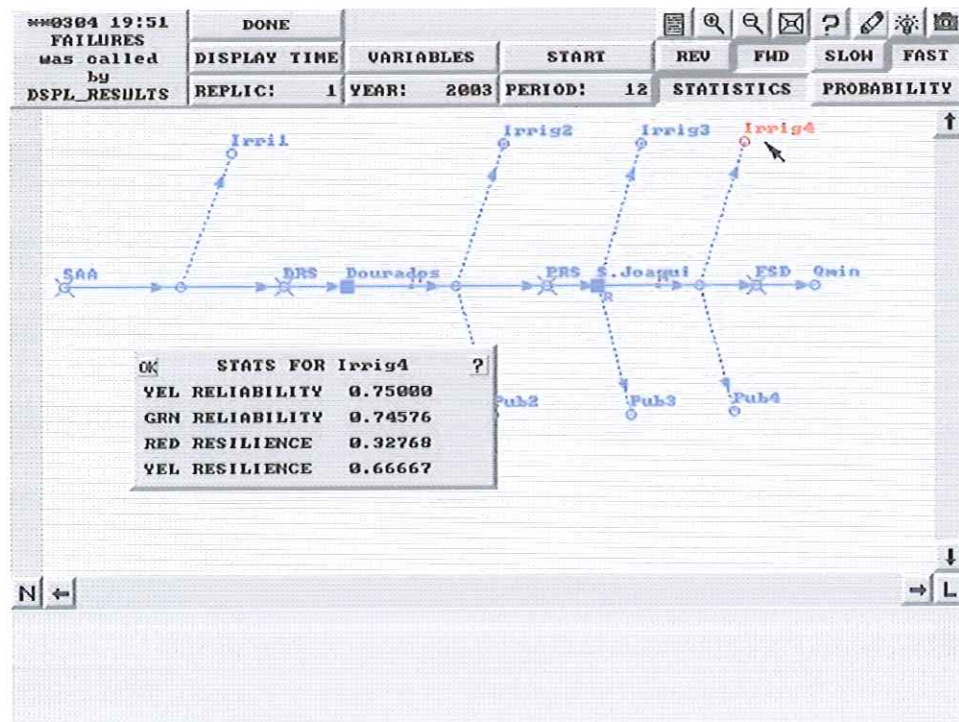


Figura 32 – Indicadores estatísticos para irrigação na sub-bacia Córrego do Lageado.

Para o consumo da irrigação 4, as confiabilidades amarela e verde também são de 75%. A resiliência vermelha é de 33%. Com relação à recuperação do sistema da zona média para a zona elevada, ou seja da amarela para a verde, a resiliência amarela é de 67%.

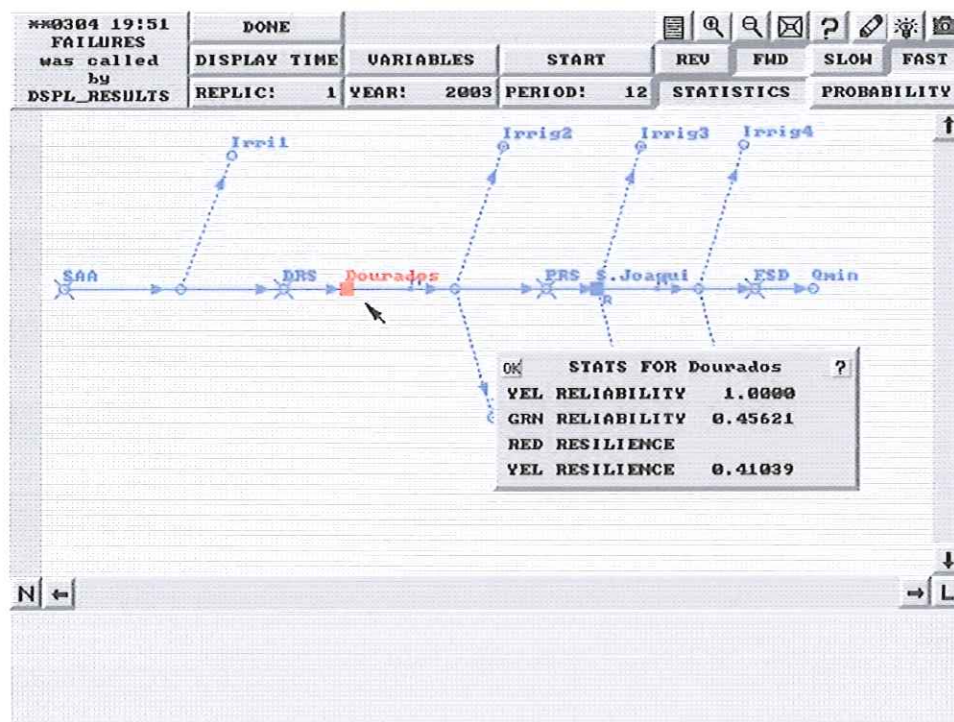


Figura 33 – Confiabilidade e resiliência no reservatório de Dourados.

O reservatório de Dourados apresenta 100% de confiabilidade amarela, mostrando que a totalidade dos objetivos simulados foram atingidos em relação aos limites definidos. A confiabilidade verde foi de 46%, indicando que 54% dos valores simulados encontram-se na zona elevada (zona de advertência) da opção 1 da tabela 11. A resiliência vermelha não foi definida, o que indica a não existência de valores da variável simulados na zona baixa (ou insatisfatória). A resiliência amarela deste reservatório foi de 41%, o que significa uma probabilidade de que 41% dos valores simulados que se encontram na zona elevada atinjam a zona média (satisfatória).

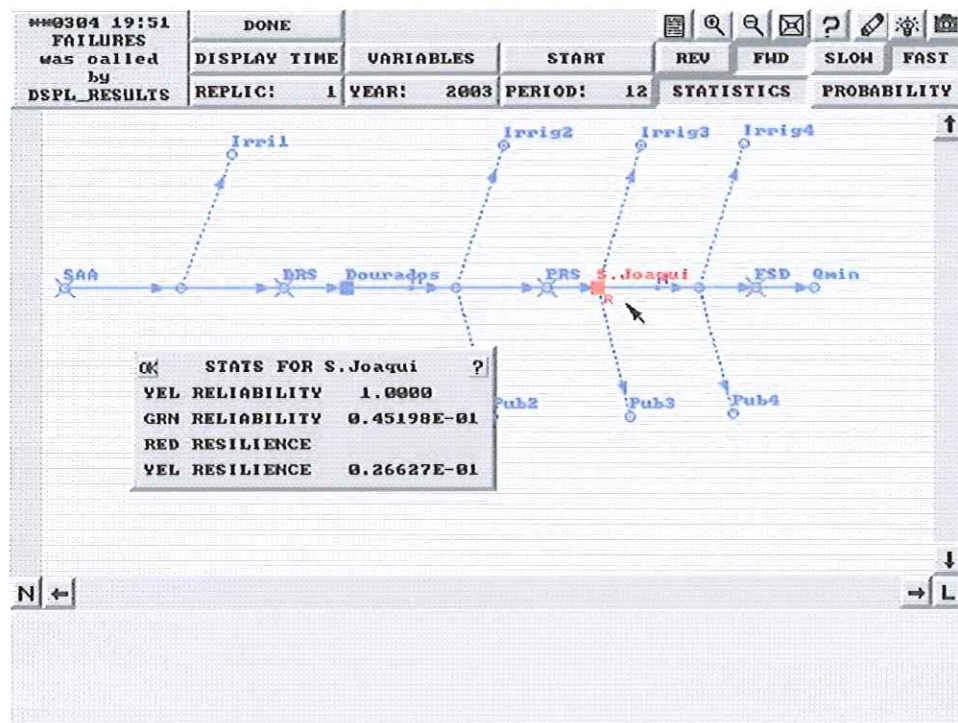


Figura 34 – Confiabilidade e resiliência no reservatório São Joaquim.

O reservatório de São Joaquim também apresentou confiabilidade amarela de 100%. No entanto, a confiabilidade verde é muito pequena, 0,45%, indicando que praticamente todos os valores encontram-se na zona elevada. A recuperação do sistema da zona amarela para a zona verde, indicado pela, resiliência amarela é de 0,26%, ou seja praticamente desprezível.

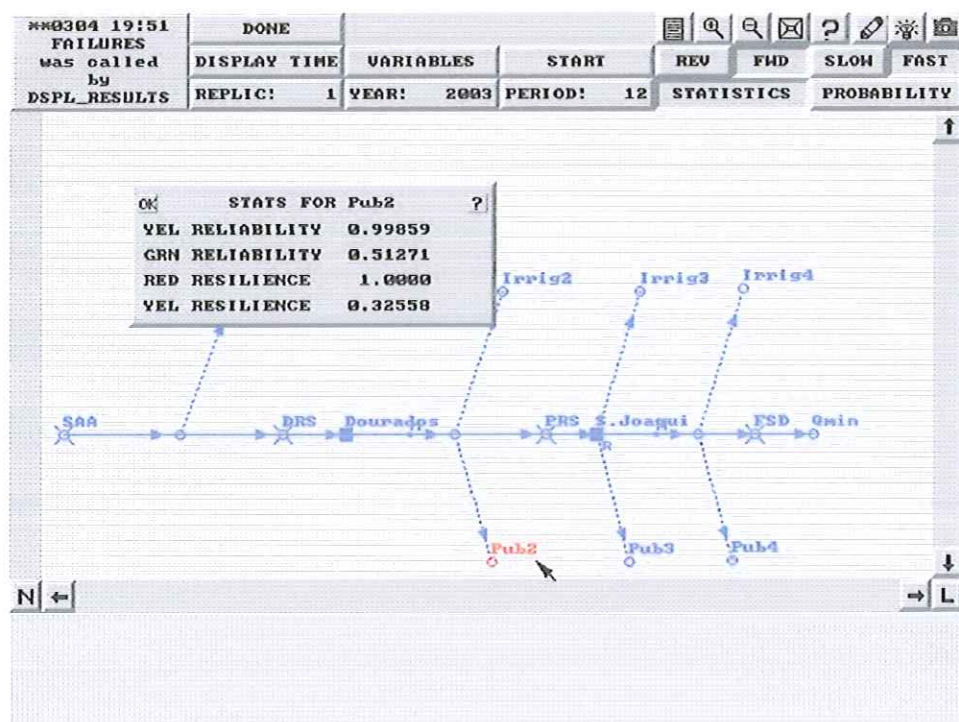


Figura 35 – Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 2.

O consumo público na sub-bacia do Médio Sapucaí apresenta confiabilidade amarela de praticamente 100%. A confiabilidade verde é de 51%. As resiliências vermelha e amarela são de 100% e 33% respectivamente.

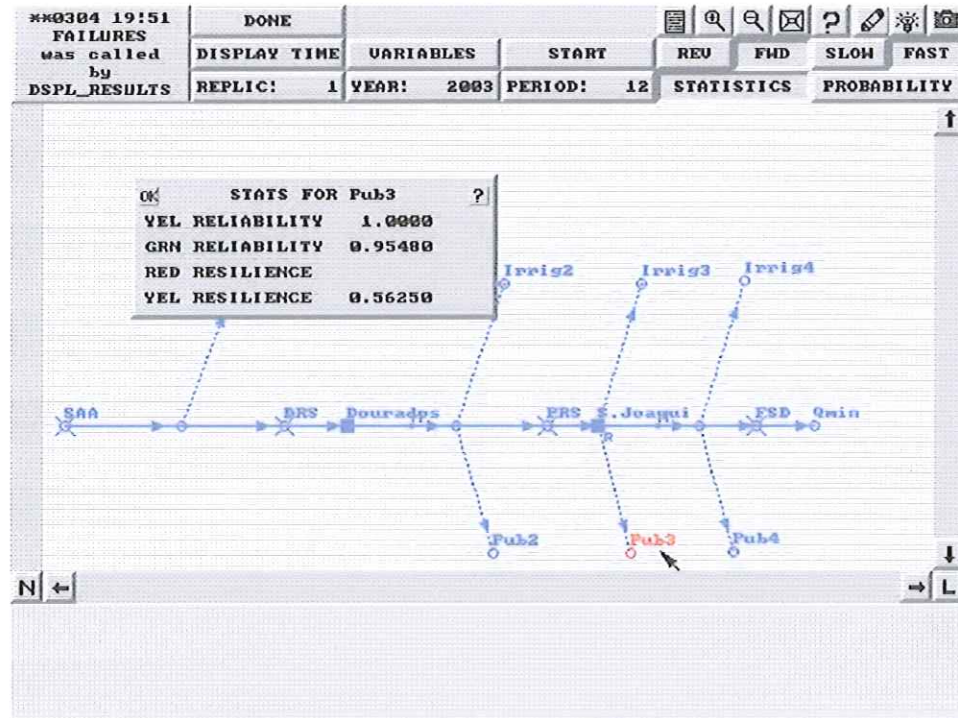


Figura 36 – Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 3.

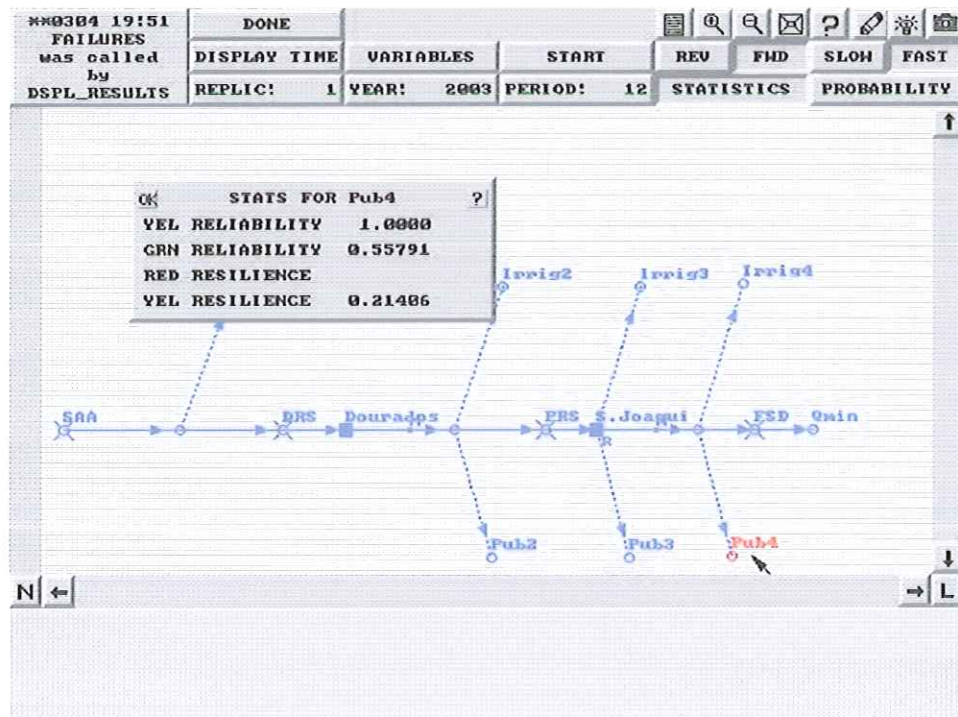


Figura 37 – Índices de confiabilidade e resiliência para consumo público 4.

As figuras 36 e 37 acima mostram os índices de confiabilidade resiliência obtidos para o consumo público 3 e 4 respectivamente.

A confiabilidade amarela do consumo público 3 é de 100%. E a confiabilidade verde é de 95%. A resiliência amarela é de 56%. O consumo público 4 também tem confiabilidade amarela de 100%. Porém a confiabilidade verde é de 56%. E a resiliência amarela é de 21%.

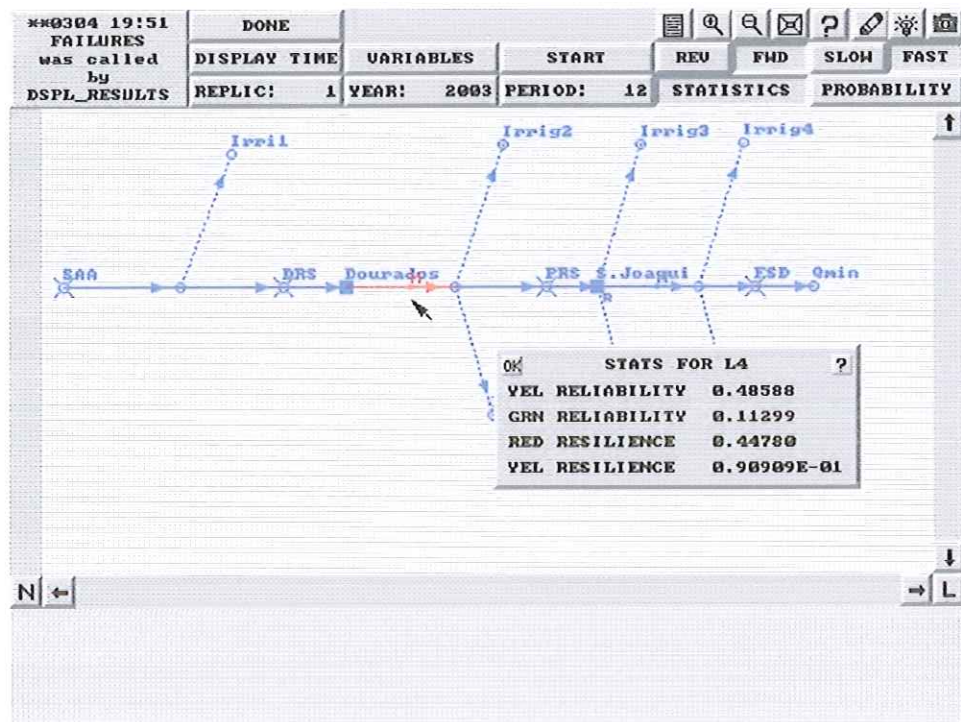


Figura 38 – Indicadores de confiabilidade e resiliência para o consumo na geração de energia em Dourados.

O consumo na geração de energia elétrica na PCH Dourados, obteve confiabilidade amarela de 49% e confiabilidade verde de 11%. Apresenta resiliência vermelha de 45% e resiliência amarela praticamente desprezível de 0,1%.

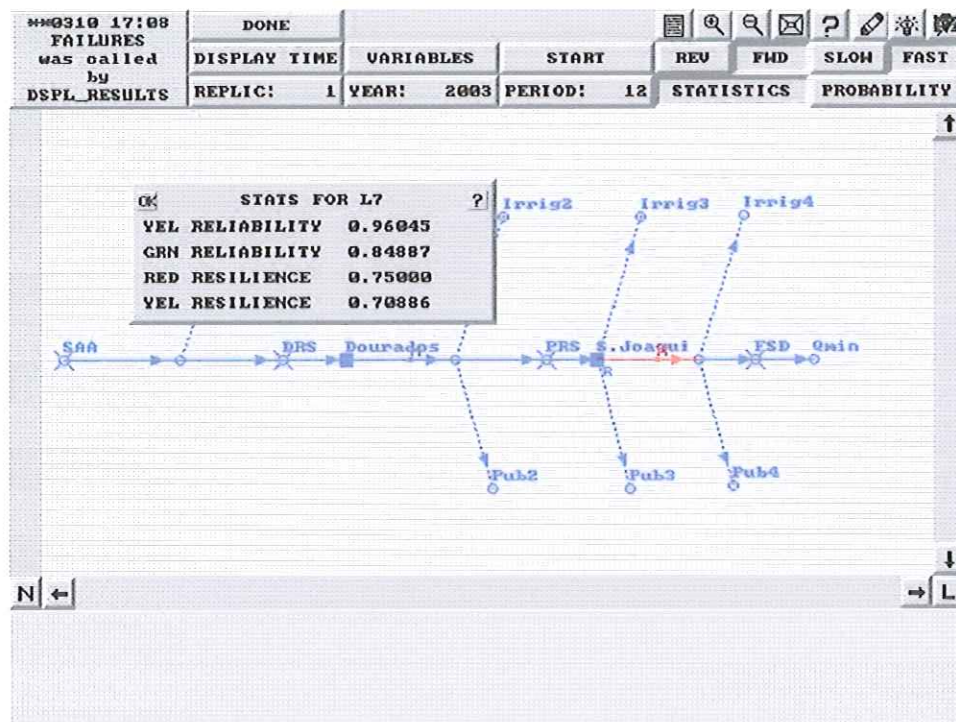


Figura 39 – Indicadores de confiabilidade e resiliência para o consumo na geração de energia em São Joaquim.

Com relação ao consumo na geração de energia elétrica na PCH São Joaquim, a confiabilidade amarela é de 96%, enquanto que a confiabilidade verde é de 85%. A resiliência vermelha foi de 75% e a amarela de 71%.

Tabela 23 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 1*

Índices	Dourados		São Joaquim	
	Armazenamento	Geração	Armazenamento	Geração
Confiabil. Amarela	1,00	1,00	0,49	0,96
Confiabil. Verde	0,46	0,045	0,11	0,85
Resil. Vermelha			0,45	0,75
Resil. Amarela	0,41	0,026	0,10	0,70

* Referente aos reservatórios e PCHs

Tabela 24 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 2*

Índices	Dourados		São Joaquim	
	Armazenamento	Geração	Armazenamento	Geração
Confiabil. Amarela	1,00	1,00	0,39	0,89
Confiabil. Verde	0,55	0,019	0,04	0,71
Resil. Vermelha			0,37	0,68
Resil. Amarela	0,54	0,017	0,04	0,46

* Referente aos reservatórios e PCHs

Tabela 25 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 1*

	Dou.	S.Jq.	Palm.	Anha.	Ret.	Dou.	S.Jq.	Palm.	Anha.	Ret.
	Armazenamento					Geração				
Conf. Amarela	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,49	0,96	0,96	0,95	0,95
Conf. Verde	0,46	0,045	1,00	1,00	1,00	0,11	0,85	0,85	0,82	0,82
Res. Vermelha						0,45	0,75	0,75	0,75	0,73
Res. Amarela	0,41	0,26				0,10	0,70	0,67	0,61	0,60

* Referente aos reservatórios e PCHs

Tabela 26 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 2*

	Dou.	S.Jq.	Palm.	Anha.	Ret.	Dou.	S.Jq.	Palm.	Anha.	Ret.
	Armazenamento					Geração				
Conf. Amarela	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,89	0,89	0,87	0,86
Conf. Verde	0,55	0,02	1,00	1,00	1,00	0,04	0,71	0,71	0,68	0,68
Res. Vermelha						0,38	0,69	0,69	0,66	0,64
Res. Amarela	0,54	0,02				0,04	0,46	0,47	0,50	0,51

* Referente aos reservatórios e PCHs

Tabela 27 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 1*

	Irrig. 1	Irrig. 2	Irrig. 3	Irrig. 4	Publ. 2	Publ. 3	Publ. 4
Confiabil. Amarela	0,72	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00
Confiabil. Verde	0,25	0,25	0,75	0,75	0,51	0,95	0,56
Resil. Vermelha	0,29	0,33	0,33	0,33	1,00		
Resil. Amarela				0,67	0,33	0,56	0,21

* Referente às aflúências

Tabela 28 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 1 / hipótese 2*

	Irrig. 1	Irrig. 2	Irrig. 3	Irrig. 4	Publ. 2	Publ. 3	Publ. 4
Confiabil. Amarela	0,67	0,74	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00
Confiabil. Verde	0,25	0,25	0,75	0,74	0,48	0,98	0,67
Resil. Vermelha	0,26	0,33	0,33	0,32	0,35		
Resil. Amarela				0,40		0,85	0,34

* Referente às aflúências

Tabela 29 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 1*

	Irrig. 1	Irrig. 2	Irrig. 3	Irrig. 4	Publ. 2	Publ. 3	Publ. 4
Confiabil. Amarela	0,72	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00
Confiabil. Verde	0,25	0,25	0,75	0,75	0,51	0,95	0,56
Resil. Vermelha	0,29	0,33	0,33	0,33	1,00		
Resil. Amarela				0,67	0,33	0,56	0,21

* Referente às aflúências



Tabela 30 – Índices de confiabilidade e resiliência para cenário 2 / hipótese 2*

	Irrig. 1	Irrig. 2	Irrig. 3	Irrig. 4	Publ. 2	Publ. 3	Publ. 4
Confiabil. Amarela	0,67	0,74	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00
Confiabil. Verde	0,25	0,25	0,75	0,74	0,48	0,98	0,67
Resil. Vermelha	0,26	0,33	0,33	0,32			
Resil. Amarela				0,40	0,35	0,85	0,34

* Referente às aflúências

5.1. Vulnerabilidade

A vulnerabilidade do “sistema” Bacia do Rio Sapucaí-Mirim/Grande 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.

No modelo IRAS é possível estimar, além dos índices estatísticos, uma função ou distribuição da frequência da vulnerabilidade, que indica a probabilidade de falhas de fornecimento com várias magnitudes. Também é possível obter a distribuição da frequência da resiliência que indica a probabilidade de ocorrência de várias seqüências contínuas de valores insatisfatórios.

Estas distribuições de probabilidade de falha são definidas nas figuras como Advertência ou “Warning” para 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 “Failures” para uma falha de mais de 25% do objetivo de consumo.

Apresenta-se em seguida a distribuição das probabilidades de falha para a simulação da hipótese 1 do cenário 2.

Em relação ao armazenamento no reservatório de Dourados a figura 40 mostra no canto superior esquerdo a distribuição de probabilidade da resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências com diversas durações em até onze períodos, com máxima probabilidade de 14% no terceiro período. No canto superior direito indicam-se as probabilidades de ocorrência de advertência de vulnerabilidade, com probabilidade máxima de 53% corresponde à magnitude de 0,003 (hm³/mês). Está indicado, no canto inferior esquerdo, a probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 53% correspondente à

magnitude de aproximadamente $1,5 \text{ (hm}^3\text{/ano)}$. No canto inferior direito apresenta-se as probabilidades condicionadas de advertências de resiliência ocorrida em vários períodos, com probabilidade máxima de 22% para o período três.

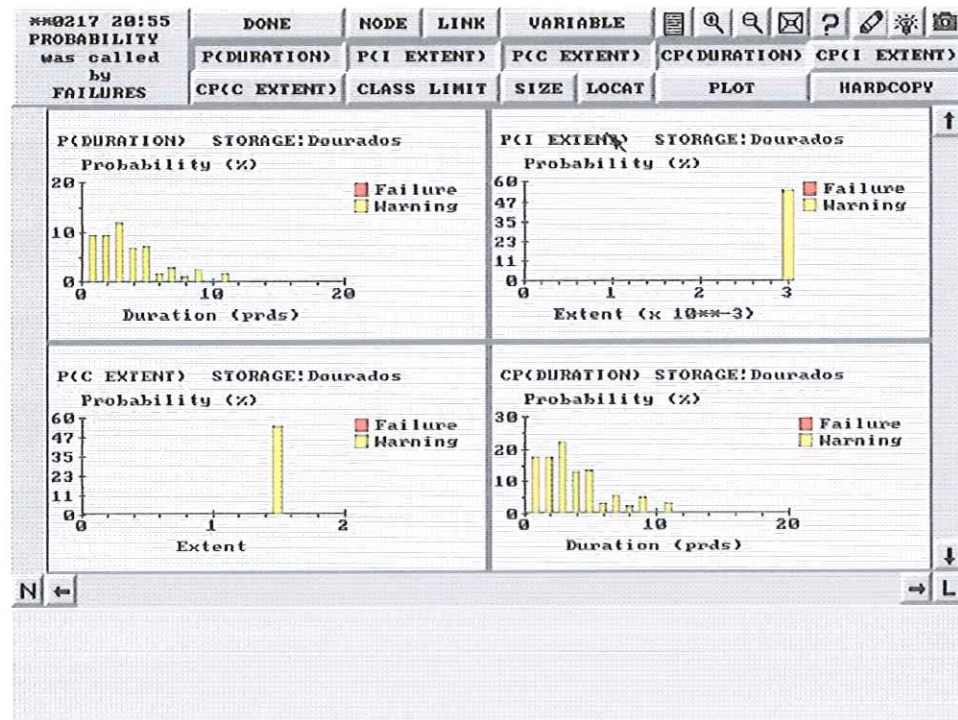


Figura 40 – Distribuição das probabilidades em relação ao armazenamento de Dourados.

Na figura 41 estão apresentadas as distribuições de probabilidade para o armazenamento no reservatório de São Joaquim. É apresentada no canto superior esquerdo a distribuição da probabilidade de resiliência, indicando a probabilidade de ocorrência de advertência de 90% para um período aproximado de 150 meses. No canto superior direito indica-se a probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade, com probabilidade máxima de 90% corresponde à magnitude de $0,20 \text{ (hm}^3\text{/mês)}$. Indica-se no canto inferior esquerdo a probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 90% correspondente à magnitude de cerca de $1,0 \text{ (hm}^3\text{/ano)}$. Apresenta-se no canto inferior direito a probabilidade condicionada de advertência de resiliência com probabilidade máxima de 90% para um período de aproximadamente 150.

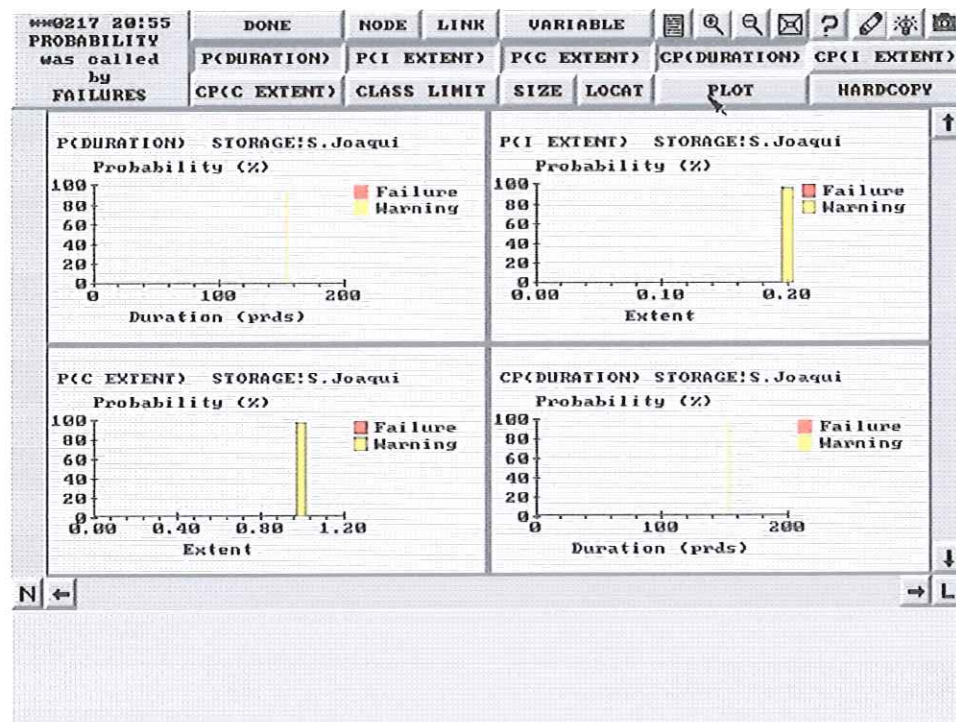


Figura 41 – Distribuição das probabilidades em relação ao armazenamento de São Joaquim.

Mostra-se na figura 42 as probabilidades de ocorrência de advertências e falhas de resiliência e vulnerabilidade em relação às afluências para irrigação 1. No canto superior esquerdo tem-se a distribuição da probabilidade de ocorrência de falhas e advertências com diversas durações em seis períodos. O período três apresenta falha máxima de cerca de 18%, a advertência de resiliência tem probabilidade máxima de 35% para o sexto período. No canto superior direito são mostradas as probabilidades de ocorrência de falhas e advertências de vulnerabilidade, com probabilidade máxima de advertência de 45% correspondente à magnitude aproximada de 0,5 ($\text{hm}^3/\text{mês}$) e falha com probabilidade de 25% de mesma magnitude. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de falha consecutiva da vulnerabilidade para diversas magnitudes com probabilidade máxima de 60% correspondente à magnitude aproximada de 2,0. No canto inferior direito encontram-se as probabilidades condicionadas de falha e advertência da resiliência ocorridas em vários períodos, com probabilidades máximas de 28% no terceiro período (falha) e 50% no sexto período.

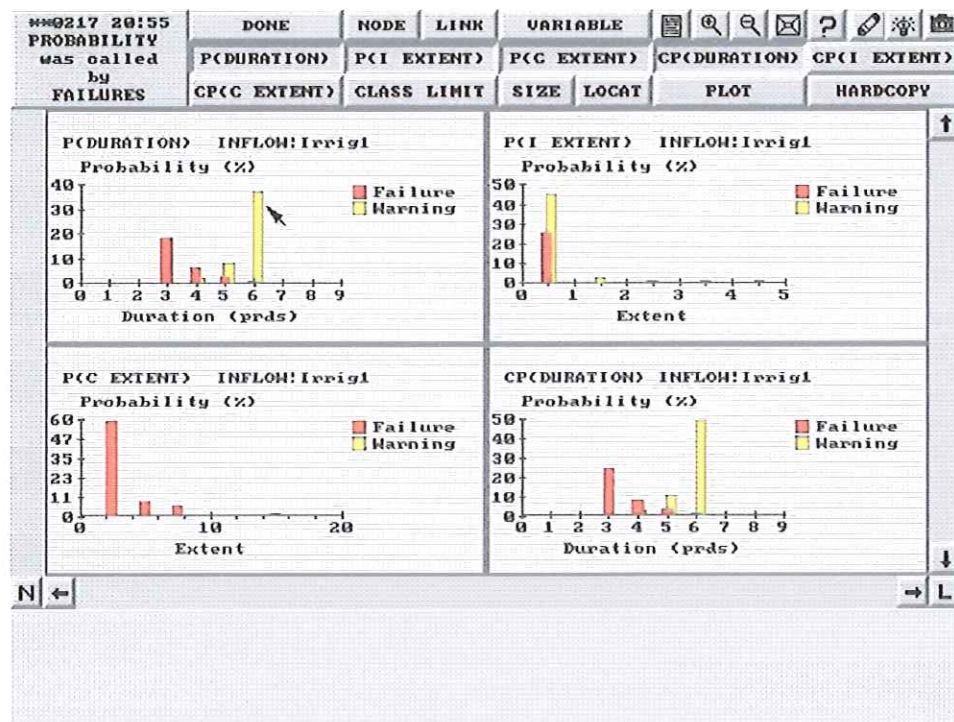


Figura 42 – Distribuição das probabilidades de afluições para irrigação 1.

Apresenta-se na figura 43 as probabilidades de ocorrência de advertências e falhas de resiliência e vulnerabilidade em relação às afluições para irrigação 2. No canto superior esquerdo tem-se a distribuição da probabilidade de ocorrência de falhas e advertências para quatro períodos. O período três apresenta falha máxima de cerca de 25%, a advertência de resiliência tem probabilidade máxima de 48% para o sexto período. No canto superior direito são mostradas as probabilidades de ocorrência de falhas e advertências de vulnerabilidade, com probabilidade máxima de advertência de 50% correspondente à magnitude aproximada de 0,5 ($\text{hm}^3/\text{mês}$) e falha com probabilidade de 25% de mesma magnitude. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de falha consecutiva da vulnerabilidade com probabilidade máxima de 75% correspondente à magnitude aproximada de 1,5. No canto inferior direito encontram-se as probabilidades condicionadas de falha e advertência da resiliência ocorridas em vários períodos, com probabilidades máximas de 35% no terceiro período (falha) e 60% no sexto período.



Figura 43 – Distribuição das probabilidades de afluições para irrigação 2.

Na figura 44 são mostradas as probabilidades de ocorrência de falhas de resiliência e vulnerabilidade em relação às afluições para irrigação 3. No canto superior esquerdo tem-se a distribuição da probabilidade de ocorrência de falha com probabilidade de 25%, correspondente ao período três. No canto superior direito é mostrada a probabilidade de ocorrência de falha de vulnerabilidade, com probabilidade de 25% e magnitude 2×10^{-10} . No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de falha consecutiva da vulnerabilidade com probabilidade de 25% correspondente à magnitude aproximada de 6×10^{-10} . No canto inferior direito encontra-se a probabilidade condicionada de falha da resiliência, com probabilidade de 100% no terceiro período.

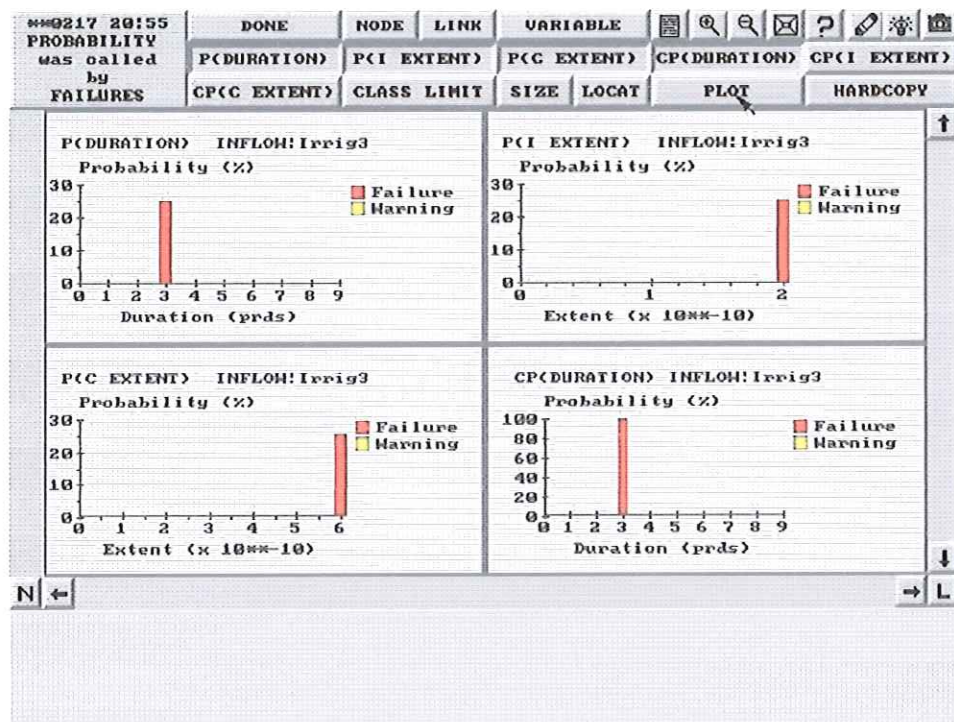


Figura 44 – Distribuição das probabilidades de afluências para irrigação 3.

Em relação às afluências para irrigação 4 a figura 45 mostra no canto superior esquerdo a distribuição da probabilidade de ocorrência de falha de resiliência com probabilidade de 25%, correspondente ao período três. No canto superior direito é mostra-se a probabilidade de ocorrência de falha de vulnerabilidade, com probabilidade de 25% e magnitude 0,6. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de falha consecutiva da vulnerabilidade com probabilidade de 25% correspondente à magnitude de 4,0. No canto inferior direito encontra-se a probabilidade condicionada de falha da resiliência, com probabilidade de 100% no terceiro período.

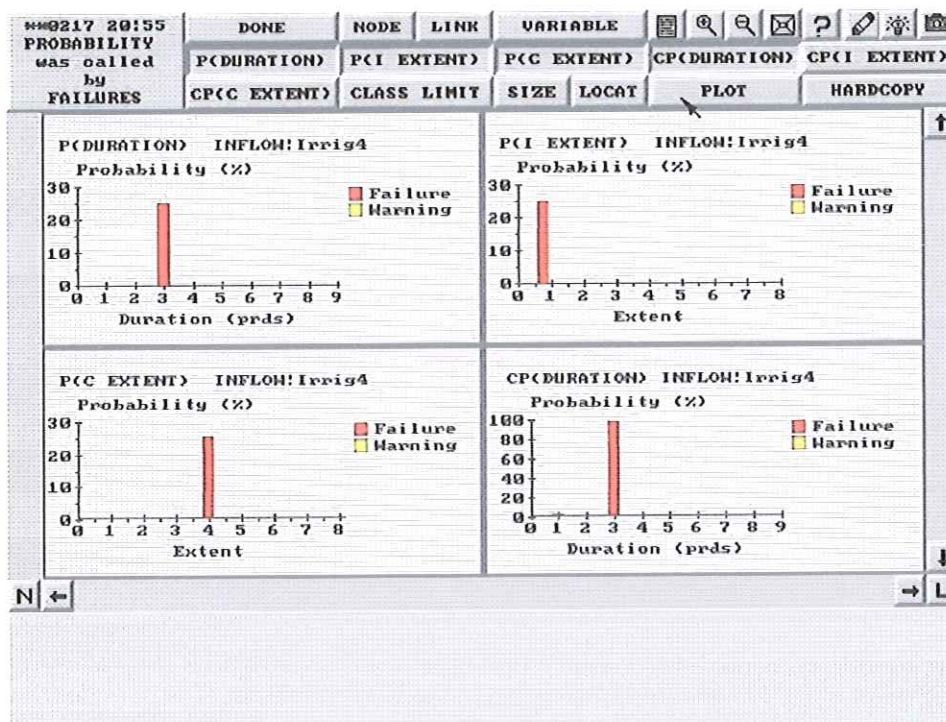


Figura 45 – Distribuição das probabilidades de afluições para irrigação 4.

Com relação à afluição para o consumo público 2 a figura 46 mostra em seu canto superior esquerdo a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências em vários períodos, com probabilidade máxima de 20% para o período 6. No canto superior direito está indicada uma probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade de 50% correspondente à magnitude de 0,8. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 50% correspondente à magnitude aproximada de 0,04. São mostradas no canto inferior direito as probabilidades condicionadas de advertência de resiliência em diversos períodos, sendo a probabilidade máxima de 40% referente ao período 6.

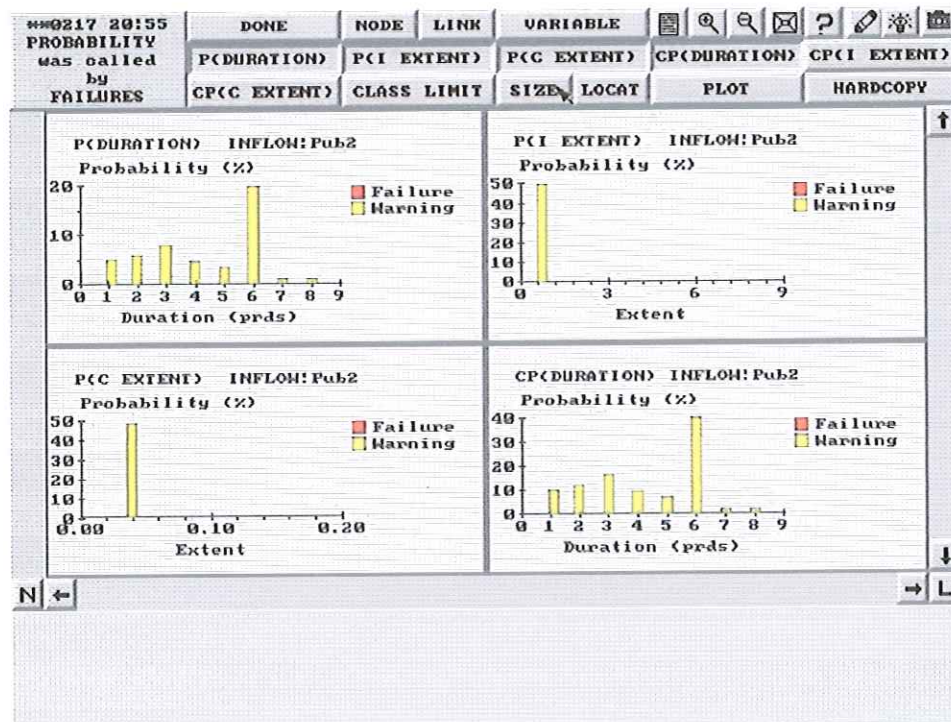


Figura 46 – Distribuição das probabilidades de afluições para o consumo público 2.

Com relação à afluição para o consumo público 3 a figura 47 mostra em seu canto superior esquerdo a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências em quatro períodos, com probabilidade máxima de 1,5% no período 1. No canto superior direito está indicada uma probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade de 4,5% correspondente à magnitude de 2. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 4,5% correspondente à magnitude aproximada de 10. São mostradas no canto inferior direito as probabilidades condicionadas de advertência de resiliência em quatro períodos, sendo a probabilidade máxima de 32% referente ao período 1.

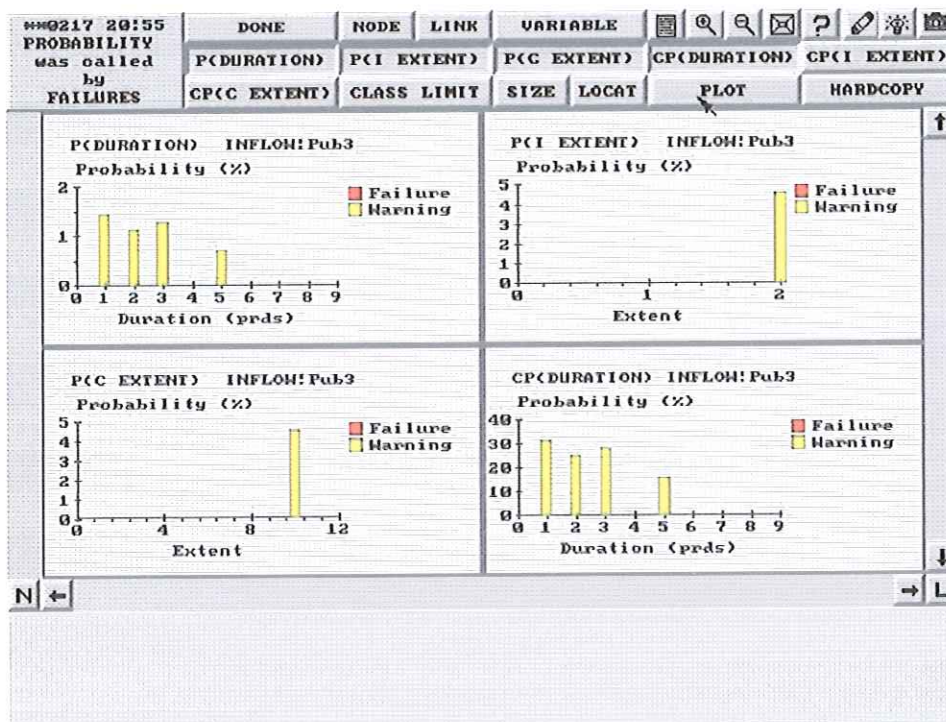


Figura 47 – Distribuição das probabilidades de aflúências para o consumo público 3.

Com relação à aflúência para o consumo público 4 a figura 48 mostra em seu canto superior esquerdo a distribuição de probabilidade de resiliência indicando a probabilidade de ocorrência de advertências em vários períodos, com probabilidade máxima de 18% no período 6. No canto superior direito está indicada uma probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade de 45% correspondente à magnitude de 2. No canto inferior esquerdo indica-se a probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade com probabilidade máxima de 45% correspondente à magnitude aproximada de 10. São mostradas no canto inferior direito as probabilidades condicionadas de advertência de resiliência em vários períodos, sendo a probabilidade máxima de 35% referente ao período 6.

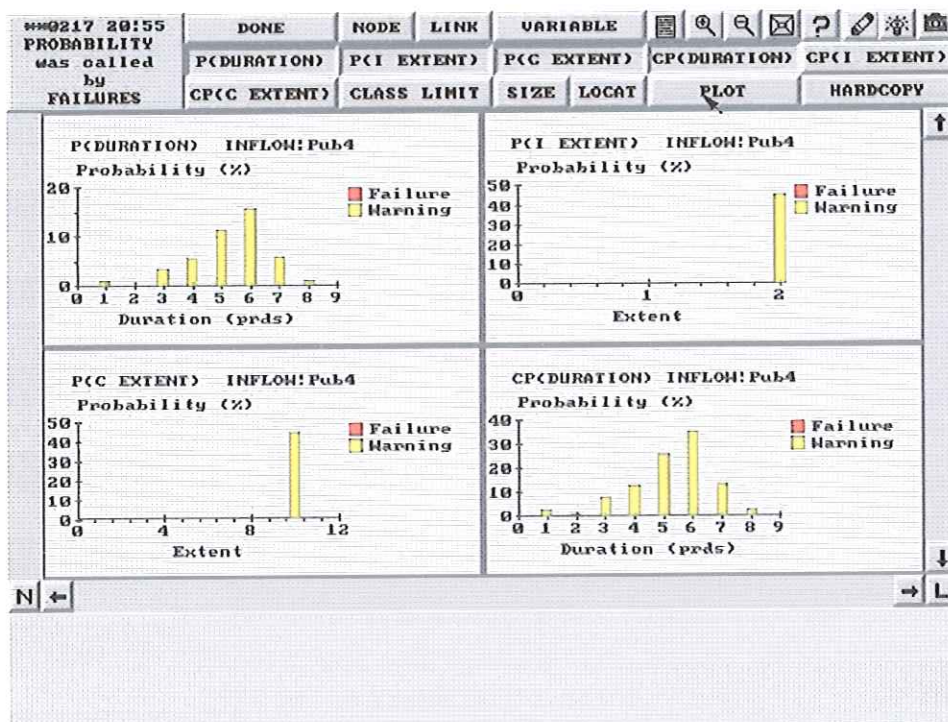


Figura 48 – Distribuição das probabilidades de afluências para o consumo público 4.

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram representados dois cenários para efeito de estudo de simulação computacional. Estudou-se duas hipóteses para cada cenário, ambas considerando a série de afluência. A hipótese um considerou vazões médias mensais, enquanto que na hipótese dois foram utilizadas vazões mínimas mensais. O primeiro cenário considerou o esquema atual do sistema Sapucaí-Mirim/Grande. O segundo cenário considerou uma situação futura onde três pequenos aproveitamentos hidrelétricos em projeto básico foram incorporados ao sistema: PCH Palmeiras, PCH Anhanguera e PCH Retiro.

Para o reservatório de Dourados, os índices de desempenho apontaram os mesmos valores dentro dos dois cenários considerados. Com relação ao armazenamento, os resultados mostram índices de confiabilidade de 100% e 55%. A recuperação do sistema foi média, indicada por uma resiliência de 54%.

Os indicadores apontaram valores muito próximos entre os dois cenários e as duas hipóteses consideradas para o reservatório de São Joaquim. Os resultados de confiabilidade do sistema são de 100% e 4,5%. A resiliência para recuperação do sistema é baixa, 2,6%.

No que diz respeito à geração de energia, os resultados mostraram que alguns índices apresentaram variabilidade considerável (20% a 24%) entre a hipótese um e a hipótese dois. Para a hipótese mais provável (hipótese um), a PCH Dourados apresentou índices médios de confiabilidade, 49% e 11%, e resiliência ,45% e 10%. O funcionamento do sistema de geração de energia elétrica das PCH's São Joaquim, Palmeiras, Anhanguera e Retiro, apresentou grande confiabilidade com índices de 96% e 85%, 96% e 85%, 95% e 82%, 95% e 82%, respectivamente. As PCH's também apresentaram boa

resiliência para recuperação do sistema, os índices ficaram em torno de 75% e 65%.

Com exceção da região do Alto Sapucaí, as regiões do Médio Sapucaí, Baixo Sapucaí e Ribeirão do Jardim apresentaram resultados com valores muito próximos para o consumo na irrigação. Os melhores resultados de confiabilidade e resiliência para a irrigação nestas regiões são de 75% e 67% respectivamente. A irrigação no Alto Sapucaí apresentou confiabilidade de 67% e resiliência de 26%.

Em ambas as hipóteses e cenários, as regiões do Médio Sapucaí, Baixo Sapucaí e Ribeirão do Jardim apresentaram bons resultados para o consumo no abastecimento público. O consumo público 3 obteve os melhores índices, confiabilidade de 100% e 98% e resiliência para recuperação do sistema de 85%.

Na exploração de qualquer componente do sistema, para os 59 anos de aflúncias simuladas, a severidade das falhas em porcentagem do volume das necessidades que são efetivamente satisfeitas é uma medida da vulnerabilidade; assim como a duração destas falhas é uma medida da sua resiliência.

As duas hipóteses consideradas para o reservatório de Dourados apresentaram baixa vulnerabilidade. O armazenamento deste reservatório apresenta distribuição de probabilidade de resiliência baixa com diversas durações. A máxima probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade é de 53% correspondente à magnitude de 0,003 ($\text{hm}^3/\text{mês}$). A probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade atinge no máximo 53% com magnitude de 1,5 ($\text{hm}^3/\text{mês}$). As probabilidade condicionada de advertência de resiliência atinge 22%.

Em relação ao armazenamento no reservatório de São Joaquim, a distribuição de probabilidade de resiliência indica a probabilidade de ocorrência de advertência de 90% para um período aproximado de 150 (meses). A probabilidade condicionada de advertência da resiliência também é de 90% para um período aproximado de 150. Estes valores são considerados pequenos se levados em consideração o número total de períodos (708). A probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade foi de 90% correspondente à magnitude de 0,2, enquanto que a probabilidade de

ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade é de 90% correspondendo à magnitude 1,0.

Devido às pequenas dimensões, de um modo geral, a vulnerabilidade e resiliência nos reservatórios de Dourados e São Joaquim são baixas.

Em relação às aflúências para irrigação, o sistema é mais vulnerável para a hipótese dois. A irrigação 2, na região do Médio Sapucaí, apresenta os melhores resultados. Falha e advertência de resiliência com probabilidade máxima de 50%. A probabilidade de falha e advertência de vulnerabilidade apresenta percentual máximo de 50% correspondente à magnitude de 0,2. A probabilidade de ocorrência de falha consecutiva de vulnerabilidade atinge 75% para a magnitude 0,5. A probabilidade condicionada de falha e advertência de resiliência apresenta probabilidade máxima de 70%. O melhor desempenho da irrigação nesta região é justificado pelo baixo consumo de água face ao volume oferecido pelo rio. O alto volume de água destinado à irrigação 4 faz com que a região do Ribeirão do Jardim apresente menor desempenho quando comparada com as demais. Apresentou ocorrência de falha de resiliência com probabilidade máxima de 25% no período três e probabilidade de ocorrência de falha de vulnerabilidade de 25% correspondente à magnitude 2,0. A probabilidade de falha consecutiva de vulnerabilidade atinge 25% para a magnitude 10. E, a probabilidade condicionada de falha de resiliência é de 90%.

A vulnerabilidade do sistema de abastecimento público é baixa em todas regiões, devido à grande disponibilidade de água face ao volume necessário para suprir as demandas. Na hipótese dois, o abastecimento público 2 apresenta probabilidade de advertência de resiliência máxima de 13%. A probabilidade de ocorrência de advertência de vulnerabilidade é de 60% no máximo com magnitude 0,002. Tem-se probabilidade de advertência consecutiva de vulnerabilidade da ordem de 60%, e probabilidade condicionada de advertência de resiliência de 25%. O consumo público 3 apresenta vulnerabilidade baixa, 2%. A probabilidade de advertência de resiliência é de 1,5%. Para este mesmo consumo, indica-se uma probabilidade de advertência consecutiva de vulnerabilidade de 2% e probabilidade condicionada de advertência de resiliência de 70%. A vulnerabilidade do consumo público 4 é de

35% com magnitude 2,0 e probabilidade de advertência de resiliência de 10%. A probabilidade de ocorrência de advertência consecutiva de vulnerabilidade é de 35% e a probabilidade condicionada de ocorrência de advertência de resiliência é de no máximo 35%.

Os reservatórios de Palmeiras, Anhanguera e Retiro, assim como as cinco PCH's estudadas não apresentaram advertências ou falhas de vulnerabilidade e resiliência.

No geral, os indicadores de desempenho do sistema foram bons, e foi possível estabelecer parâmetros de estudo para a Bacia do Sapucaí-Mirim/Grande quantificados pelos indicadores de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade.

Comparando-se cenários, a análise dos resultados mostra que os indicadores de desempenho praticamente não variaram quando consideradas as mesmas hipóteses. Na comparação entre hipóteses, verifica-se uma diferença percentual média em torno de 5 a 10%, o que indica uma variabilidade não tão grande entre os índices. Apesar da PCH Dourados ter apresentado os menores índices entre as usinas, sua capacidade de geração não foi comprometida, pois não foram indicadas falhas ou advertências de vulnerabilidade e resiliência. O sistema de afluência para irrigação chegou a apresentar 100% de probabilidade de falha, demandando uma monitoração mais efetiva.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAYA, A.B. et al. (2003). Optimization of Nebhana Reservoir Water Allocation by Stochastic Dynamic Programming. *Water Resources Management*, v.17, n.4, p.259-272, ago.

ALI, M.D.H.; SHUI, L.T. (2001). Optimal Allocation of Monthly Water Withdrawals in Reservoir Systems. *Water Resources Management*, v.15, n.5, p.323-341, out.

ANDREU, J.; CAPILLA, J.; SANCHÍS, E. (1996). AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, v.177, n.3-4, p.269-291, abr.

AZEVEDO, L.G.T, PORTO, R.L. & FILHO, K.Z. (1997). *Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo*, Capítulo 4 in *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, ABRH-EUFRGS.

AZEVEDO, L.G.T.; PORTO, R.L.L.; PORTO, M. (1998). Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 1, p. 21-51. Jan/Mar.

BECKER, L.; YEH, W. (1974). Optimization of real time operation of a multiple-reservoir system. *Water Resources Research*, v. 10, n. 6, p. 1107-1112. Dez.

BELAINEH, G.; PERALTA, R.C.; HUGHES, T.C. (1999). Simulation/Optimization Modeling for Water Resources Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 125, n. 3, p. 154-161. Maio/Jun.

BRADLEY, C. (2002). Simulation of the Annual Water Table Dynamics of a Floodplain Wetland, Narborough Bog, UK. *Journal of Hydrology*, v.261, n.1-4 ,p.150-172, abr.

BRAGA, B.P.F. (1987). Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: *Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 1, Nobel/ ABRH.

BRAGA, B.P.F. (2002). Redefinindo Prioridades no Uso da Água. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 05 fev.

BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F. (2001). Multiobjective Real-Time Reservoir Operation With a Network Flow Algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, v.37, n.4, p.837-852, ago.

BRAGA,B.; BARBOSA P. S.; NAKAYAMA, P.T. (1988). Sistemas de suporte à decisão em Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n.3, p. 73-95. Jul/Set.

BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R. (2000). Hydrological simulation of the international catchment of Guadiana river. *Phys. Chem. Earth*, v. 25, n. 3, p. 329-339. Mar.

BURAS, N. (1972). *Scientific allocation of water resources*. New York: American Elsevier publishing company, inc.

CAI, X.; MCKINNEY, D.C.; LASDON, L.S. (2003). Integrated Hydrologic-Agronomic-Economic Model for River Basin Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.129, n.1, p.4-17, jan/fev.

CÂMARA, A.S.; et al. (1986). Water resources management of a watershed in Algarve. In: *Systems analysis applied to water and related land resources: proceedings of the IFAC conference*. IFAC proceedings series, Lisbon, 1986. n. 4.

CAMPOS, N. (2003). Conflitos em Gestão de Águas. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. *Gestão das Águas: princípios e práticas*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH. p.91-112.

COIMBRA, R.; ROCHA, C.L.; BEEKMAN, G.B. (1999). *Recursos Hídricos: conceitos, desafios e capacitação*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SAPUCAÍ-MIRIM/GRANDE. Relatório Zero: Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da bacia hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande. (CD-ROM). 1999.

CORREIA, F.N.; SANTOS, M.A.; RODRIGUES, R.R. (1986). Risk, resilience and vulnerability in regional drought studies. In: *Systems analysis applied to water and related land resources: proceedings of the IFAC conference*. IFAC proceedings series, Lisbon, 1986. n. 4.

DANDY, G.C.; CONNARTY, M.C.; LOUCKS, D.P. (1997). Comparison of Methods for Yield Assessment of Multiple Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.123, n.6, p.350-358, nov/dez.

DOLAN, L.S.; DELUCA, D.K. (1993). Use of a hydrologic model in a basin-wide water allocation proceeding. *Water Resources Bulletin*, v. 29, n. 1, p. 107-117. Fev.

DUCKSTEIN, L.; OPRICOVIC, S. (1980). Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resources Research*, v.16, n.1, p. 14-20. Fev.

ESCHENBACH, E.A. et al. (2001). Goal Programming Decision Support System for Multiobjective Operation on Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.127, n.2, p.108-120, mar/abr.

FAHMY, H. (2001). Modification and Re-calibration of the Simulation Model of Lake Nasser. *Water International*, v.26, n.1, p.129-135, mar.

FERNADES, W.S. et al. (2003). MSD-30: Um Modelo de Simulação de Descargas Médias Mensais. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. 1 CD-ROM.

FROUKH, M.L. (2001). Decision – Support System for Domestic Water Demand Forecasting and Management. *Water Resources Management*, v.15, n.6, p.363-382, dez.

GUPTA, R.S. (2001). *Hydrology and Hydraulic Systems*. 2.ed. Illinois: Prospect Heights.

HALL, W.A.; DRACUP, J.A. (1970). *Water Resources System and Engineering*. New York: MacGraw-Hill, inc.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J.R.; LOUCKS, D.P. (1982). Reliability, Resilience and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation. *Water Resources Research*, v.18, n.1, p.14-20, fev.

HELWEG, O.J. (1992). *Water Resources Planning and Management*. Florida: Krieger Publishing Company.

HUFSCHMIDT, M.M.; FIERING, M.B. (1966). *Simulation Techniques for Design of Water Resources Systems*. Massachusetts: Harvard University Press.

HSU, N.S.; CHENG, K.W. (2002). Network flow optimization for basin-scale water supply planning. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 128, n. 2, p. 102-112. Mar/Abr.

IRAS – Interactive River-Aquifer Simulation (1994). Cornell University and Resources Planning Associates, Incorporated. Version: 1.00.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.com.br>. (17 Nov. 2003).

KADEN, S. (1986). Multi-Criteria analysis and simulation for long term water management in open-pit lignite mining areas. In: *Systems analysis applied to water and related land resources: proceedings of the IFAC conference*. IFAC proceedings series, Lisbon, 1986. n. 4.

KITE, G. (2001). Modeling the Mekong: hydrological simulation for environmental impact studies. *Journal of Hydrology*, v.253, n.1-4, p. 1-13, nov.

KOUTSOYIANNIS, D.; EFSTRATIADIS, A.; KARAVOKIROS, G. (2002). A Decision Support Tool for the Management of Multi-Reservoir Systems. *Journal of the American Water Resources Association*, v.38, n.4, p.945-958, ago.

LABADIE, J.W.; FONTANE, D.G.; KO, S.K. (1992). Multiobjective optimization of reservoir systems operation. *Water Resources Bulletin*, v. 28, n. 1, p. 111-128. Fev.

LEVY S.B.; BAECHER, G.B. (1999). NileSim: A Windows-Based Hydrologic Simulator of the Nile River Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*. v.125, n.2, p.100-106, mar/abr.

LIMA, A.A. et al. (2003). Rio Grande – Modelo de Simulação e Previsão Hidrológica. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. 1 CD-ROM.

LIMA, G. (2002). *Aplicação de Simulação Computacional na Análise dos Conflitos entre os Usos Múltiplos da água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo*. 129p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. (1999). O Uso da Irrigação no Brasil. In: *O Estado das Águas no Brasil: Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos*. (CD ROM). Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999.

LOUCKS, D.P.; STEDINGER, J.R.; HAITH, D.A. (1981). *Water Resources Planning and Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, inc.

MATALAS, N. C. (1967). Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology. *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, p. 937-945.

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

MAUAD, F.F.; CORREA FILHO, C.R.R. (2003). Avaliação de Conflitos de Usos Múltiplos de Água na Bacia do Rio Paraíba do Sul, um Estudo de Caso. In: XV

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. 1 CD-ROM.

META SYSTEMS INC. (1975). *Systems analysis in Water Resources Planning*. New York: Water Information Center, inc.

NEELAKANTAN, T.R.; PUNDARIKANTHAN, N.V. (2001). Hedging rule optimization for water supply reservoir systems. *Water Resources Management*, v. 37, n. 7, p. 409-426. Jul.

OLIVEIRA, R. (1995). Simulação do Empreendimento de Alqueva. Relatório 333/95, LNEC.

PEIXOTO, L.S. (2002). *A Utilização de Simulação Computacional no Gerenciamento de Usos Múltiplos da Água na Bacia do Sapucaí Grande no Estado de São Paulo*. 130p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP.

PEREIRA, M.V.F.; PINTO, L.M.V. (1985). Stochastic Optimization of a Multireservoir Hydroelectric System: A Decomposition Approach. *Water Resources Research*, v.21, n.6, p.779-792, jun.

PIPER, B.S. et al. (1989). A Simulation Model for Planning Water Resource Developments in the Chi River Basin. *Water Resources Management*, v.3, n.2, p.141-153.

Plano Estadual de Recursos Hídricos. <http://www.recursoshidricos.sp.gov.br>. (07 Mai. 2003).

Projeto Lupa. <http://www.cati.sp.gov.br>. (28 Nov. 2003).

RAO, Z. et al. (2001). An Interactive Management System for Operational Control of Kirazdere Reservoir (Turkey). *Water Resources Managemet*, v.15, n.4, p.223-234, ago.

RASKIN, P. et al. (1992). Simulation of Water Supply and Demand in the Aral Sea Region. *Water International*, v.17, n.2, p.55-67, jun.

RITSCHARD, R.L.; CRUISE, J.F.; HATCH, L.U. (1999). Spatial and Temporal Analysis of agricultural Water Requirements in the Gulf Coast of the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, v.35, n.6, p.1585-1596, dez.

SAHU, M.K.; GUPTA, A.D. (2001). Reservoir Operation of Downstream Flow Augmentation. *Journal of the American Water Resources Association*, v.37, n.3, p.675-684, jun.

SALAS, J.D. et al. (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

SANTO, C.M.E. et al. (2001). Simulação hidrológica de pequena bacia na Amazônia tropical. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 2, p. 107-115. Abr/Jun.

SETTI, A.A.L. et al. (2001). *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Agência Nacional de Águas. Brasília.

SHIM, K.; FONTANE, D.G.; LABADIE, J.W. (2002). Sapatial Decision Support System for Integrated River Basin Flood control. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.128, n.3, p.190-201, mai/jun.

SILVEIRA, C.A.C. et al. (1999). Água e energia elétrica. In: *O Estado das Águas no Brasil: Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos*. (CD ROM). Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999.

SIMONIVC, S.; MILORADOV, L.M. (1986). Optimization in water resources master plans. In: *Systems analysis applied to water and related land resources: proceedings of the IFAC conference*. IFAC proceedings series, Lisbon, 1986. n. 4.

SINHA, A.K.; RAO B.V.; LALL, U. (1999). Yield Model for Screening Multipurpose Reservoirs System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.125, n.6, p.325-332, nov/dez.

SRINIVASAN, K.; PHILIPOSE, M. (1996). Evaluation and Selection of Hedging Policies Using Stochastic Reservoir Simulation. *Water Resources Management*, v.10, n.3 , p.163-188, jun.

SRIVASTAVA, D.K.; PATEL, I.A. (1992). Optimization-Simulation Models for the Design of an Irrigation Project. *Water Resources Management*, v.6, n.4 , p.315-338.

SOUZA FILHO, F.A.; GOUVEIA, S. X. (2003). Sistemas de Suporte às Decisões. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. *Gestão das Águas: princípios e práticas*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH. p.91-112.

SYLLA, C. (1995). A Penalty-Based Optimization for Reservoirs System Management. *Computers ind. Engng*, v.28, n.2, p.409-422, abr.

TATE, E.L.; FARQUHARSON, F.A.K. (2001). Simulating reservoir management under the threat of sedimentation: the case of Tarbela dam on the river Indus. *Water Resources Management*, v. 15, n. 1, p. 191-208. Fev.

TEIXEIRA, C.A. (2003). Geração de séries sintéticas de vazões mensais através de um modelo multivariado auto-regressivo de 1ª ordem – AR(1) para a bacia do rio Piracicaba. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. 1 CD-ROM.

THIESSEN, E.M.; LOUCKS, D.P. (1992). Computer assisted negotiation of multiobjective water resources conflicts. *Water Resources Bulletin*, v. 28, n. 1, p. 163-178. Fev.

TUCCI, C.E.M. (1987). Modelos Determinísticos. In: *Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 1, Nobel/ ABRH.

VAZ, A.C. (1986). Reliability in water resources planning. In: *Systems analysis applied to water and related land resources: proceedings of the IFAC conference*. IFAC proceedings series, Lisbon, 1986. n. 4.

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

YEH, W-G.; BECKER, L. (1982). Multiobjective Analysis of Multireservoir Operations. *Water Resources Research*, v. 18, n. 5, p. 1326-1336. Out.

YEN, J.H.; CHEN, C.Y. (2001). Allocation Strategy Analysis of Water Resources in South Taiwan. *Water Resources Management*, v.15, n.5 , p.283-297, out.

ANEXO A: Geração de séries sintéticas de vazões dos postos fluviométricos, utilizando o modelo Estacionário Multivariado Autoregressivo de 1ª ordem, AR(1).

Foram considerados quatro postos fluviométricos localizados ao longo do rio Sapucaí – Santo Antonio da Alegria, Usina Dourados, Pioneiros e Fazenda São Domingos – conforme mostrado na figura 6. O período de observação das afluições para cada um destes postos é informado na tabela 12.

Utilizou-se o Modelo Multivariado Autoregressivo de 1ª ordem para geração de série sintética de vazões para o período de 1945 a 2003. O modelo AR (1) pode ser expresso na forma matricial por:

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (45)$$

onde $\mathbf{Z}(t)$ corresponde ao vetor de vazões da série histórica dos quatro postos, \mathbf{A} e \mathbf{B} são matrizes $n \times n$, sendo n o número de postos analisados, $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é um vetor de ruídos brancos com distribuição normal, média zero e desvio padrão um, e $\mathbf{Z}(t-1)$ é o vetor de vazões nos quatro postos no tempo $t-1$. A eq. (45) pode ser escrita na seguinte forma expandida:

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ \vdots \\ Z_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ \vdots \\ Z_n(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) \end{bmatrix} \quad (46)$$

O primeiro passo para a aplicação do modelo AR (1) é a sazonalização da série histórica. As variáveis a serem consideradas são:

$Y_1(t)$: série de vazões no Posto Santo Antonio da Alegria

$Y_2(t)$: série de vazões no Posto Usina Dourados

$Y_3(t)$: série de vazões no Posto Pioneiros

$Y_4(t)$: série de vazões no Posto Fazenda São Domingos

A sazonalização das variáveis foi feita através da expressão:

$$Z_i(t) = \frac{Y_i(t) - \bar{Y}_i(t)}{\sigma_i(t)} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (47)$$

onde $Y_i(t)$, é o ln da série observada de cada posto, $\bar{Y}_i(t)$, são as médias de cada variável, $\sigma_i(t)$, é o desvio padrão das variáveis $Y_i(t)$ e $Z_i(t)$ é a variável de vazão normalizada, média zero e desvio padrão um.

Em seguida, determinam-se os parâmetros matriciais A e B através das seguintes equações:

$$M_0 = A \cdot M_1^T + B \cdot B^T$$

$$M_1 = A \cdot M_0$$

$$B \cdot B^T = M_0 - A \cdot M_1^T = D$$

$$A = M_1 \cdot M_0^{-1}$$

Os valores obtidos para as matrizes de covariância M_0 e M_1 , para o caso das vazões médias mensais, foram:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0,9190 & 0,9519 & 0,9030 \\ 0,9193 & 1 & 0,9470 & 0,8732 \\ 0,9519 & 0,9470 & 1 & 0,9368 \\ 0,9030 & 0,8732 & 0,9368 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0,8114 & 0,7695 & 0,8014 & 0,7721 \\ 0,7695 & 0,8171 & 0,8012 & 0,7501 \\ 0,8014 & 0,7991 & 0,8358 & 0,8020 \\ 0,7756 & 0,7540 & 0,8085 & 0,8525 \end{bmatrix}$$

Os valores dos parâmetros A e B foram estabelecidos com o resultado de M_0 e M_1 .

$$D = \begin{bmatrix} 0,329 & 0,273 & 0,275 & 0,240 \\ 0,273 & 0,324 & 0,270 & 0,226 \\ 0,275 & 0,270 & 0,294 & 0,245 \\ 0,240 & 0,226 & 0,245 & 0,273 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0,500 & 0,005 & 0,170 & 0,159 \\ -0,330 & 0,605 & 0,148 & 0,115 \\ 0,012 & 0,121 & 0,501 & 0,221 \\ -0,011 & 0,022 & 0,014 & 0,830 \end{bmatrix} \text{ e } B = \begin{bmatrix} 0,574 & 0 & 0 & 0 \\ 0,475 & 0,313 & 0 & 0 \\ 0,479 & 0,135 & 0,215 & 0 \\ 0,418 & 0,884 & 0,152 & 0,259 \end{bmatrix}$$

Os valores de $\varepsilon_i(t)$, foram gerados com o auxílio da ferramenta Análise de Dados (opção Geração de Números Aleatórios) da planilha eletrônica Excel. O passo seguinte é a geração das séries. Após geradas faz-se o inverso da normalização das séries. Elas são transformadas em séries com variações sazonais multiplicando-se o valor de vazão gerado pelo desvio padrão, a esse produto adiciona-se a média.

Na tabela 31 são mostradas as séries de vazões dos quatro postos fluviométricos utilizados na simulação.

Tabela31 – Série sintética de vazões

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
jan/80	29,44	248,17	317,79	450,11
fev/80	58,06	450,66	583,62	859,03
mar/80	45,34	466,27	548,74	813,33
abr/80	30,56	259,71	333,44	498,28
mai/80	22,84	161,48	225,16	336,77
jun/80	15,55	95,68	155,89	237,80
jul/80	15,35	75,01	120,81	190,44
ago/80	9,95	51,95	78,88	133,77
set/80	9,28	42,08	68,47	120,96
out/80	14,39	62,73	108,96	150,06
nov/80	20,33	97,71	164,48	202,07
dez/80	16,99	119,47	146,02	192,39
jan/81	30,47	237,10	328,52	535,59
fev/81	69,04	471,52	549,43	844,08
mar/81	76,62	599,52	713,38	908,69
abr/81	42,51	316,87	423,86	556,24
mai/81	27,86	177,80	277,20	411,90
jun/81	20,97	159,07	222,07	330,82
jul/81	11,47	93,15	138,06	208,50
ago/81	8,23	72,20	101,70	147,48
set/81	3,72	34,46	53,73	82,89

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
out/81	4,86	37,60	60,78	76,15
nov/81	8,74	60,15	88,27	115,50
dez/81	8,77	80,31	82,87	108,57
jan/82	14,10	130,06	144,76	170,17
fev/82	25,75	247,29	251,26	236,70
mar/82	34,53	269,82	330,41	327,47
abr/82	25,88	218,05	253,17	331,56
mai/82	20,39	151,17	199,01	224,37
jun/82	12,90	91,08	115,06	127,38
jul/82	7,94	62,23	86,36	106,02
ago/82	5,86	42,07	66,80	87,23
set/82	4,77	42,17	64,71	89,49
out/82	7,60	55,46	83,67	106,11
nov/82	10,10	74,88	116,48	141,35
dez/82	10,15	104,37	162,27	199,70
jan/83	30,87	272,66	336,81	382,81
fev/83	33,41	337,01	384,17	458,59
mar/83	29,74	269,07	329,10	449,16
abr/83	15,88	139,67	169,51	230,56
mai/83	11,67	78,99	118,93	189,09
jun/83	10,31	79,58	120,62	187,27
jul/83	11,58	68,41	119,56	200,93
ago/83	10,54	63,01	99,00	146,40
set/83	10,47	49,08	91,04	141,84
out/83	9,49	54,65	92,82	119,16
nov/83	12,66	73,79	126,01	136,85
dez/83	17,15	118,10	164,85	215,03
jan/84	38,32	239,18	351,15	435,57
fev/84	40,35	343,48	358,75	468,83
mar/84	26,68	254,35	299,08	449,41
abr/84	33,71	262,91	323,23	478,39
mai/84	31,48	206,03	261,81	477,23
jun/84	21,96	159,60	211,84	332,01
jul/84	10,95	85,76	118,21	184,13
ago/84	6,97	45,92	70,49	119,52
set/84	6,10	48,21	62,72	104,76
out/84	5,80	51,04	72,78	90,80
nov/84	7,82	71,00	98,09	126,80
dez/84	11,22	100,58	125,67	194,90
jan/85	29,80	248,66	264,98	373,99
fev/85	51,47	368,43	477,42	568,72
mar/85	25,70	201,52	339,60	361,80
abr/85	12,21	115,79	157,05	199,36
mai/85	10,87	109,21	145,22	190,82
jun/85	12,67	95,46	137,86	187,47
jul/85	6,86	50,96	78,79	121,64
ago/85	5,49	39,74	64,11	103,43
set/85	2,88	23,70	37,53	76,02
out/85	4,19	32,24	44,59	65,24

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
nov/85	6,46	62,51	79,80	88,27
dez/85	6,01	68,13	69,11	77,18
jan/86	14,79	137,81	155,68	153,54
fev/86	20,21	169,02	202,55	242,87
mar/86	20,25	159,06	195,63	241,43
abr/86	21,32	159,17	175,26	225,15
mai/86	14,84	112,44	136,54	167,17
jun/86	10,93	75,11	110,08	150,51
jul/86	9,53	55,30	87,31	123,43
ago/86	4,40	29,23	46,50	78,76
set/86	3,41	29,96	45,97	78,14
out/86	6,36	49,50	68,74	88,61
nov/86	6,88	49,89	78,37	86,08
dez/86	8,20	41,88	70,61	103,64
jan/87	21,06	140,76	189,80	207,28
fev/87	25,29	204,05	248,88	283,68
mar/87	24,85	187,08	257,09	321,52
abr/87	16,87	120,23	173,32	287,00
mai/87	16,07	98,57	155,19	244,66
jun/87	13,04	91,35	139,31	200,79
jul/87	7,52	61,32	99,99	142,50
ago/87	4,73	32,98	53,28	84,26
set/87	2,81	23,11	45,96	72,29
out/87	6,62	37,50	63,56	72,18
nov/87	14,44	78,44	111,13	154,87
dez/87	28,33	197,35	224,34	284,53
jan/88	34,44	239,44	249,47	277,72
fev/88	41,02	356,35	391,68	366,46
mar/88	39,40	498,99	494,95	635,30
abr/88	34,37	326,29	361,77	468,07
mai/88	25,57	201,02	260,42	324,56
jun/88	20,08	148,70	218,74	300,87
jul/88	12,21	90,57	130,19	204,58
ago/88	7,78	50,68	88,63	139,94
set/88	5,94	44,29	71,21	109,93
out/88	8,53	58,03	85,48	115,49
nov/88	13,26	90,15	137,00	178,93
dez/88	30,04	159,24	254,75	265,28
jan/89	39,63	240,25	362,59	408,97
fev/89	42,14	227,41	383,38	412,07
mar/89	42,84	274,28	412,02	500,82
abr/89	30,12	189,34	303,51	441,86
mai/89	19,00	124,27	187,75	298,91
jun/89	13,91	106,12	164,29	239,09
jul/89	16,18	111,83	166,70	250,42
ago/89	10,64	73,46	104,54	166,87
set/89	10,98	66,30	94,83	143,10
out/89	11,28	67,77	100,56	164,72
nov/89	13,77	69,54	129,22	177,90

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
dez/89	10,48	86,09	121,76	213,04
jan/90	18,58	121,48	209,62	363,14
fev/90	24,50	173,56	240,53	426,54
mar/90	31,39	187,33	292,89	470,33
abr/90	26,57	192,77	272,06	363,86
mai/90	16,30	132,54	166,54	227,44
jun/90	9,68	79,68	99,53	142,29
jul/90	7,18	54,80	81,58	122,65
ago/90	6,03	44,48	76,00	120,53
set/90	4,14	33,18	49,80	90,91
out/90	8,36	58,05	89,89	125,90
nov/90	11,55	80,66	116,64	169,23
dez/90	17,67	119,33	192,61	292,64
jan/91	25,88	226,87	263,10	357,98
fev/91	24,11	220,88	247,61	359,03
mar/91	33,67	212,79	303,39	403,43
abr/91	23,67	193,71	240,92	362,54
mai/91	17,00	116,41	186,11	264,75
jun/91	18,73	127,57	196,77	310,23
jul/91	19,79	100,11	177,64	283,76
ago/91	12,59	69,68	113,17	200,30
set/91	11,75	65,37	122,24	194,93
out/91	10,05	60,80	103,44	159,65
nov/91	15,90	111,16	188,04	271,46
dez/91	31,83	193,41	298,91	536,40
jan/92	57,01	337,27	471,24	673,64
fev/92	64,58	319,45	464,34	799,92
mar/92	36,39	246,58	344,31	668,02
abr/92	30,70	204,24	272,54	525,88
mai/92	16,47	117,45	197,26	283,21
jun/92	18,99	128,67	181,56	242,71
jul/92	16,16	91,50	134,48	188,97
ago/92	13,67	69,67	115,90	158,33
set/92	12,44	56,89	106,22	173,40
out/92	10,44	50,52	90,29	153,98
nov/92	13,67	76,92	145,46	186,32
dez/92	32,50	147,84	231,21	238,52
jan/93	43,92	262,85	384,25	451,74
fev/93	49,27	357,87	509,05	482,20
mar/93	38,18	292,26	394,17	461,62
abr/93	23,99	153,99	254,21	344,93
mai/93	19,80	141,68	184,97	261,18
jun/93	14,77	118,01	160,57	258,27
jul/93	11,86	77,39	121,64	206,82
ago/93	8,31	52,52	92,94	142,02
set/93	12,09	55,86	98,82	139,76
out/93	9,72	68,06	112,85	145,00
nov/93	15,56	95,82	160,01	208,73
dez/93	28,21	189,69	234,40	405,22

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
jan/94	46,49	347,83	406,30	614,99
fev/94	50,46	438,39	483,02	701,39
mar/94	37,62	293,34	382,61	451,17
abr/94	25,43	224,12	283,36	378,32
mai/94	19,60	149,68	227,61	313,58
jun/94	16,14	128,55	181,58	264,61
jul/94	8,49	75,94	99,78	156,56
ago/94	7,41	52,10	87,55	141,60
set/94	6,68	46,13	72,13	138,61
out/94	7,42	53,13	84,38	124,80
nov/94	12,08	74,69	126,12	178,55
dez/94	16,18	89,03	149,98	205,46
jan/95	26,19	164,78	236,28	258,84
fev/95	32,34	265,97	316,89	350,97
mar/95	47,61	446,83	389,60	483,56
abr/95	23,35	192,25	226,36	342,05
mai/95	10,44	103,68	130,36	169,41
jun/95	8,57	83,35	102,57	137,54
jul/95	7,05	57,59	82,33	106,96
ago/95	4,60	34,35	54,82	84,16
set/95	2,75	25,60	42,32	70,51
out/95	4,50	38,62	50,96	72,23
nov/95	6,21	63,72	80,53	100,04
dez/95	9,93	80,87	102,96	144,64
jan/96	14,55	165,16	171,94	234,15
fev/96	23,42	216,74	249,88	369,46
mar/96	17,96	135,18	185,58	256,19
abr/96	14,58	113,31	172,34	255,51
mai/96	10,07	87,01	120,15	146,11
jun/96	5,98	58,90	79,40	89,33
jul/96	3,44	33,05	48,78	64,10
ago/96	2,14	20,30	33,32	52,29
set/96	2,41	24,30	37,57	65,40
out/96	3,61	28,07	44,56	62,90
nov/96	8,04	52,84	93,04	117,84
dez/96	14,60	116,65	137,28	174,04
jan/97	34,63	245,48	247,92	302,23
fev/97	43,17	377,06	352,87	420,04
mar/97	41,12	346,91	412,85	436,90
abr/97	35,84	280,07	351,93	361,82
mai/97	23,74	236,01	291,07	383,67
jun/97	14,72	137,55	177,81	244,68
jul/97	15,05	131,93	177,77	221,20
ago/97	12,20	104,36	153,99	189,94
set/97	6,83	58,05	101,83	130,34
out/97	8,20	56,97	83,24	119,99
nov/97	9,21	73,10	103,31	148,71
dez/97	12,92	119,77	160,63	225,07
jan/98	14,94	105,03	148,86	209,56

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
fev/98	20,79	194,50	249,62	315,15
mar/98	29,94	265,48	333,26	408,64
abr/98	29,25	218,60	249,02	285,54
mai/98	20,08	168,45	210,04	255,69
jun/98	25,07	163,30	228,52	264,77
jul/98	27,38	165,83	229,75	306,09
ago/98	16,34	107,47	152,13	206,80
set/98	9,16	66,77	99,32	185,22
out/98	13,95	89,43	123,68	204,97
nov/98	16,99	131,67	164,52	274,69
dez/98	26,51	224,26	260,70	372,48
jan/99	39,60	298,05	352,88	498,38
fev/99	43,53	329,20	450,12	540,65
mar/99	52,09	428,31	594,18	604,65
abr/99	26,32	225,19	310,93	397,68
mai/99	23,76	189,69	240,97	407,08
jun/99	19,76	119,26	184,55	310,87
jul/99	11,00	84,62	114,14	185,46
ago/99	12,91	86,91	126,63	180,37
set/99	10,88	65,98	108,50	198,12
out/99	11,31	76,30	111,36	212,58
nov/99	21,86	123,62	195,63	368,08
dez/99	89,60	511,67	633,89	1181,37
jan/00	104,04	534,35	638,30	962,29
fev/00	80,34	475,17	630,87	754,60
mar/00	83,77	515,82	890,49	1367,34
abr/00	64,61	474,80	742,93	1025,83
mai/00	29,71	204,81	323,78	412,96
jun/00	16,47	130,88	189,72	269,34
jul/00	12,51	88,50	129,53	181,92
ago/00	8,04	64,16	100,79	146,06
set/00	8,30	68,74	95,38	137,09
out/00	10,45	74,32	109,14	154,85
nov/00	17,41	108,68	151,09	216,37
dez/00	27,10	142,23	224,15	350,75
jan/01	38,69	223,36	321,26	669,32
fev/01	65,31	433,02	567,51	861,80
mar/01	33,19	293,31	360,76	611,18
abr/01	24,04	236,87	265,43	351,16
mai/01	17,91	194,83	214,53	290,42
jun/01	14,59	125,03	191,26	270,75
jul/01	13,90	86,85	148,99	205,01
ago/01	11,29	71,57	110,62	144,35
set/01	12,48	68,13	119,08	136,12
out/01	11,28	77,69	126,85	181,08
nov/01	15,14	110,55	151,62	218,16
dez/01	22,71	181,75	242,76	384,29
jan/02	22,37	176,90	219,91	314,37
fev/02	27,78	210,22	318,40	427,96

Período	Postos Fluviométricos			
	Sto Antonio da Alegria	Dourados	Pioneiros	Faz. São Domingos
mar/02	56,36	370,02	532,99	638,40
abr/02	29,16	205,25	287,30	398,22
mai/02	30,47	202,80	252,08	352,18
jun/02	21,90	142,06	196,04	264,19
jul/02	11,40	82,12	108,90	151,20
ago/02	7,98	68,75	88,11	120,38
set/02	7,81	64,97	93,99	132,33
out/02	11,78	89,36	121,82	152,94
nov/02	21,34	141,70	188,07	256,78
dez/02	40,79	304,35	327,03	477,24
jan/03	52,19	309,76	367,58	424,64
fev/03	27,00	231,12	238,23	302,81
mar/03	18,12	171,20	189,96	231,42
abr/03	19,31	170,17	208,74	249,19
mai/03	15,51	100,86	144,11	202,79
jun/03	13,83	92,55	121,07	170,14
jul/03	11,34	73,82	99,45	117,99
ago/03	7,83	51,26	75,80	101,63
set/03	6,68	46,05	63,83	98,00
out/03	9,67	65,99	94,07	124,36
nov/03	12,89	88,16	131,34	161,49
dez/03	18,55	140,69	201,36	350,36

As figuras abaixo mostram a comparação entre as séries geradas e as séries históricas para cada posto fluviométrico.

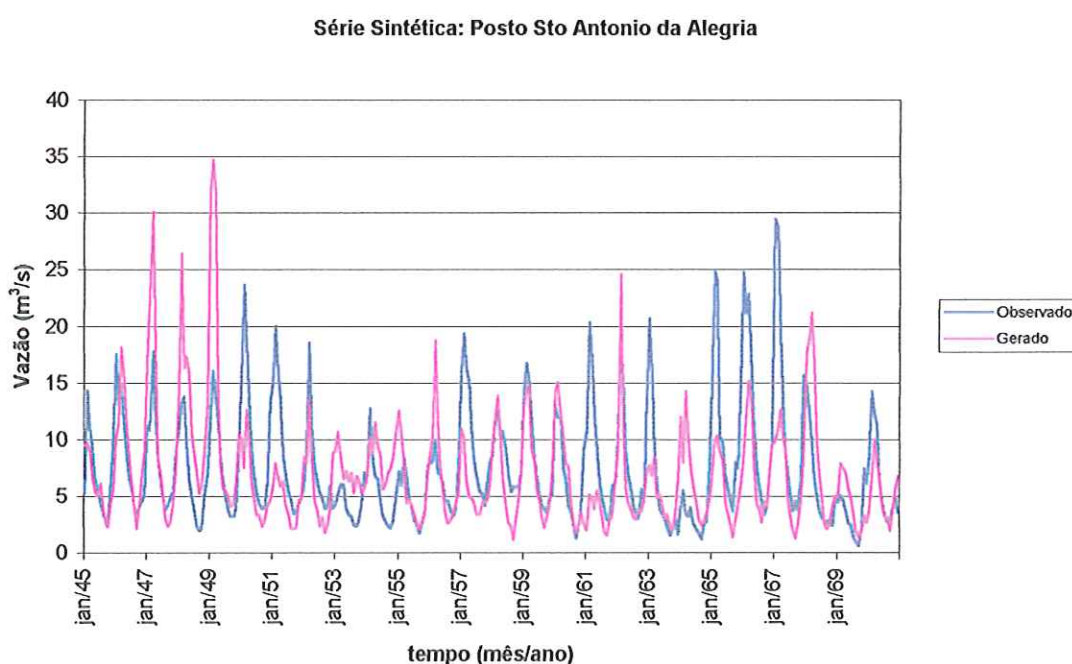


Figura 49 – Comparação das séries para o posto Sto Antonio da Alegria

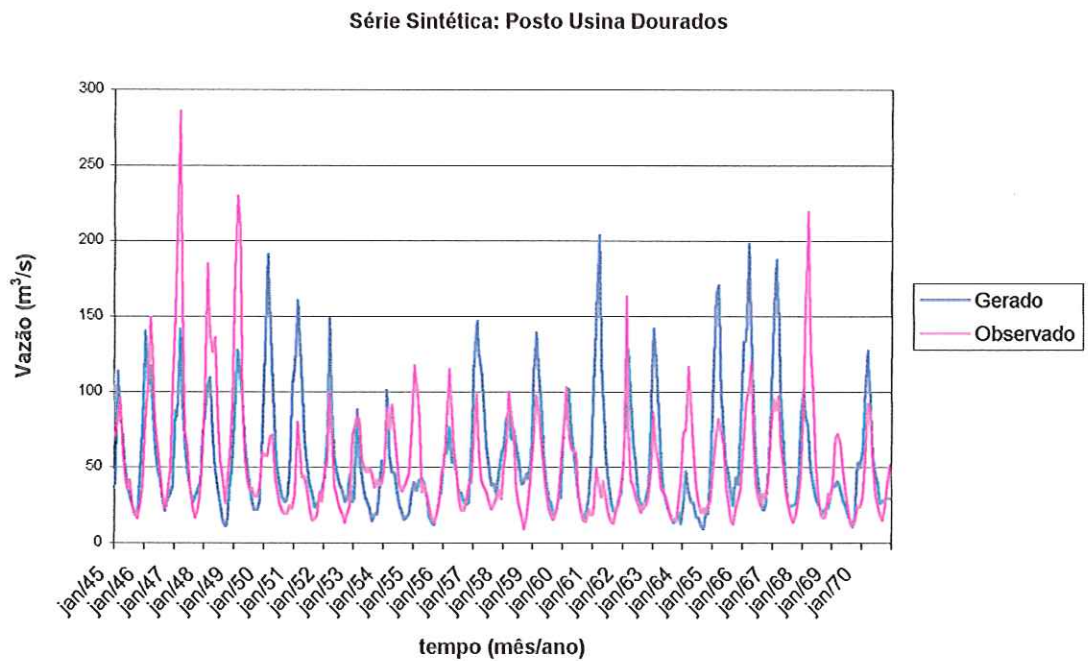


Figura 50 – Comparação das séries para o posto Usina Dourados

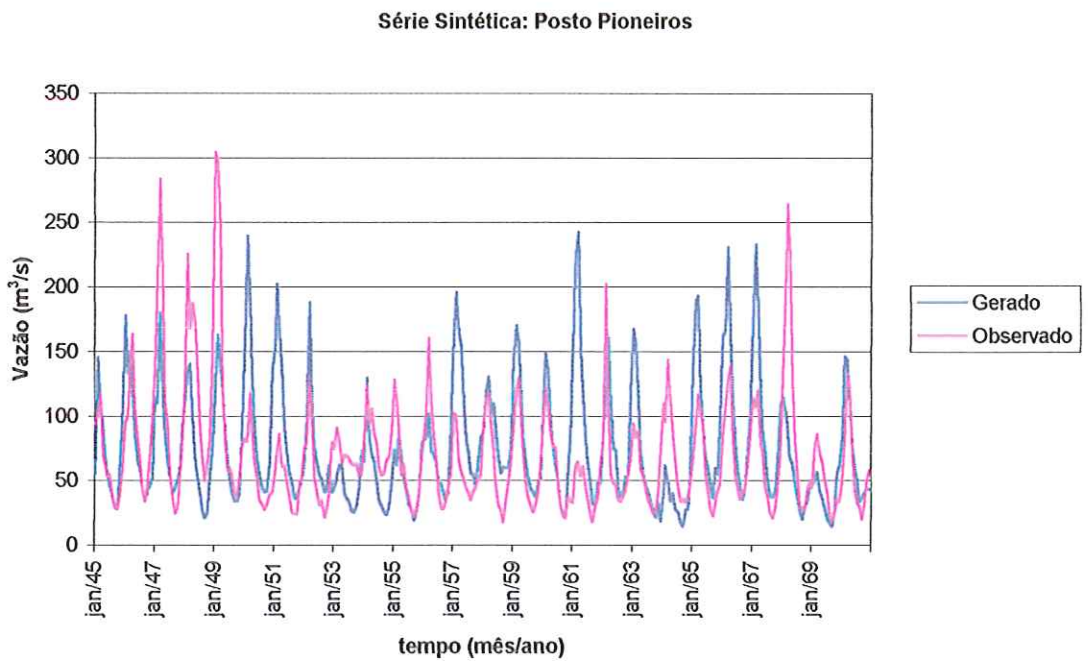


Figura 51 – Comparação das séries para o posto Pioneiros

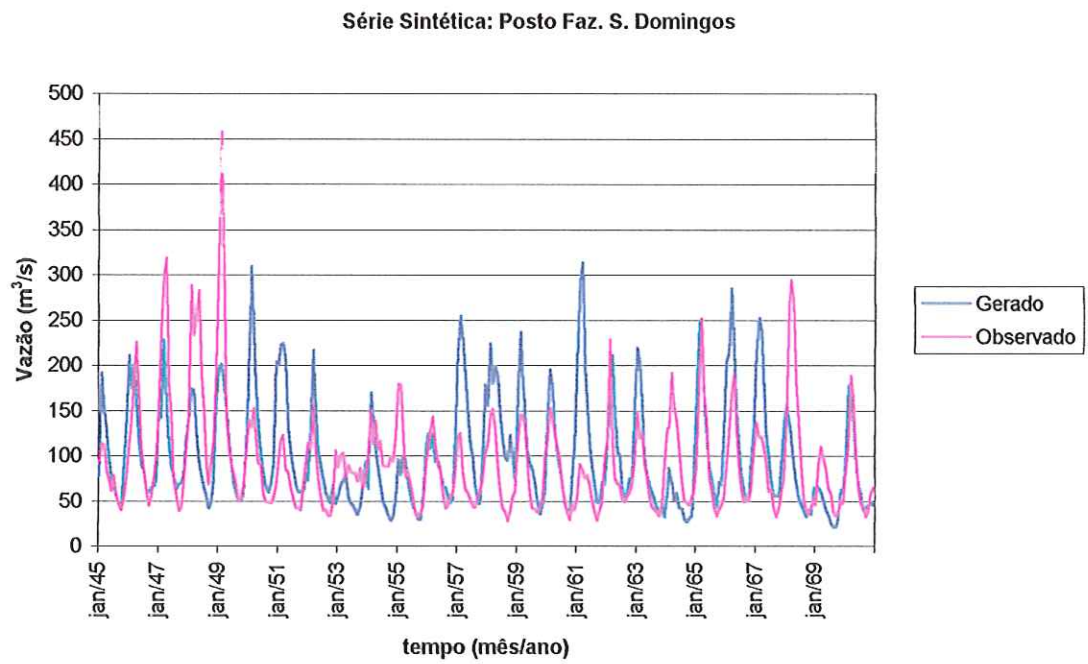


Figura 52 – Comparação das séries para o posto Faz. São Domingos

ANEXO B: Arquivos de fluxo (Sapucaimed.flw e Sapucaimin.flw) utilizados no modelo IRAS.

O arquivo de fluxo é elaborado a partir das seqüências de vazões médias para etapa de tempo de simulação em cada um dos anos a serem simulados.

A primeira linha do arquivo deve começar com a palavra FLOWFILE seguida da constante de conversão de armazenamento. Neste estudo esta constante assume o valor 0.033333, correspondente a 1/30 do mês, e transforma as unidades dos dados de entrada que estão em $\text{hm}^3/\text{mês}$ para hm^3/dia .

A segunda linha deve conter cinco números inteiros, todos separados por espaços. O primeiro inteiro diz respeito ao ano de início do registro de dados. O segundo é o número de anos contidos na série hidrológica. O terceiro inteiro é o número de etapas de tempo de simulação. O quarto número é o número total de seqüências hidrológicas. O quinto é o número de postos fluviométricos utilizados no estudo.

As linhas seguintes devem conter o nome do posto fluviométrico, seguido da constante de conversão de fluxo, 1.0 neste estudo. As linhas que se seguem são os registros das vazões, com o primeiro número da linha indicando o ano, o segundo indicando a etapa de tempo de simulação depois o número de seqüências hidrológicas e as vazões dos postos.

FLOWFILE .033333

! Este arquivo contém dados de vazões médias mensais do Rio Sapucaí [$\text{hm}^3/\text{mês}$]

1980 24 12 1 4

SAA 1! Corresponde à série do posto Santo Antonio da Alegria

DRS 1! Corresponde à série do posto Usina Dourados

PRS 1! Corresponde à série do posto Pioneiros

FSD 1! Corresponde à série do posto Fazenda São Domingos

1980	1	1	29,44	248,17	317,79	450,11	261,38
1980	2	1	58,06	450,66	583,62	859,03	487,84
1980	3	1	45,34	466,27	548,74	813,33	468,42
1980	4	1	30,56	259,71	333,44	498,28	280,50
1980	5	1	22,84	161,48	225,16	336,77	186,56
1980	6	1	15,55	95,68	155,89	237,80	126,23
1980	7	1	15,35	75,01	120,81	190,44	100,40
1980	8	1	9,95	51,95	78,88	133,77	68,64
1980	9	1	9,28	42,08	68,47	120,96	60,20

1980	10	1	14,39	62,73	108,96	150,06	84,04
1980	11	1	20,33	97,71	164,48	202,07	121,15
1980	12	1	16,99	119,47	146,02	192,39	118,72
1981	1	1	30,47	237,10	328,52	535,59	282,92
1981	2	1	69,04	471,52	549,43	844,08	483,52
1981	3	1	76,62	599,52	713,38	908,69	574,55
1981	4	1	42,51	316,87	423,86	556,24	334,87
1981	5	1	27,86	177,80	277,20	411,90	223,69
1981	6	1	20,97	159,07	222,07	330,82	183,23
1981	7	1	11,47	93,15	138,06	208,50	112,80
1981	8	1	8,23	72,20	101,70	147,48	82,40
1981	9	1	3,72	34,46	53,73	82,89	43,70
1981	10	1	4,86	37,60	60,78	76,15	44,85
1981	11	1	8,74	60,15	88,27	115,50	68,17
1981	12	1	8,77	80,31	82,87	108,57	70,13
1982	1	1	14,10	130,06	144,76	170,17	114,77
1982	2	1	25,75	247,29	251,26	236,70	190,25
1982	3	1	34,53	269,82	330,41	327,47	240,56
1982	4	1	25,88	218,05	253,17	331,56	207,16
1982	5	1	20,39	151,17	199,01	224,37	148,74
1982	6	1	12,90	91,08	115,06	127,38	86,61
1982	7	1	7,94	62,23	86,36	106,02	65,64
1982	8	1	5,86	42,07	66,80	87,23	50,49
1982	9	1	4,77	42,17	64,71	89,49	50,28
1982	10	1	7,60	55,46	83,67	106,11	63,21
1982	11	1	10,10	74,88	116,48	141,35	85,70
1982	12	1	10,15	104,37	162,27	199,70	119,13
1983	1	1	30,87	272,66	336,81	382,81	255,79
1983	2	1	33,41	337,01	384,17	458,59	303,29
1983	3	1	29,74	269,07	329,10	449,16	269,27
1983	4	1	15,88	139,67	169,51	230,56	138,90
1983	5	1	11,67	78,99	118,93	189,09	99,67
1983	6	1	10,31	79,58	120,62	187,27	99,45
1983	7	1	11,58	68,41	119,56	200,93	100,12
1983	8	1	10,54	63,01	99,00	146,40	79,74
1983	9	1	10,47	49,08	91,04	141,84	73,10
1983	10	1	9,49	54,65	92,82	119,16	69,03
1983	11	1	12,66	73,79	126,01	136,85	87,33
1983	12	1	17,15	118,10	164,85	215,03	128,78
1984	1	1	38,32	239,18	351,15	435,57	266,05
1984	2	1	40,35	343,48	358,75	468,83	302,85
1984	3	1	26,68	254,35	299,08	449,41	257,38
1984	4	1	33,71	262,91	323,23	478,39	274,56
1984	5	1	31,48	206,03	261,81	477,23	244,14
1984	6	1	21,96	159,60	211,84	332,01	181,35
1984	7	1	10,95	85,76	118,21	184,13	99,76
1984	8	1	6,97	45,92	70,49	119,52	60,73
1984	9	1	6,10	48,21	62,72	104,76	55,45
1984	10	1	5,80	51,04	72,78	90,80	55,11
1984	11	1	7,82	71,00	98,09	126,80	75,93
1984	12	1	11,22	100,58	125,67	194,90	108,09

1985	1	1	29,80	248,66	264,98	373,99	229,36
1985	2	1	51,47	368,43	477,42	568,72	366,51
1985	3	1	25,70	201,52	339,60	361,80	232,16
1985	4	1	12,21	115,79	157,05	199,36	121,10
1985	5	1	10,87	109,21	145,22	190,82	114,03
1985	6	1	12,67	95,46	137,86	187,47	108,36
1985	7	1	6,86	50,96	78,79	121,64	64,56
1985	8	1	5,49	39,74	64,11	103,43	53,19
1985	9	1	2,88	23,70	37,53	76,02	35,03
1985	10	1	4,19	32,24	44,59	65,24	36,56
1985	11	1	6,46	62,51	79,80	88,27	59,26
1985	12	1	6,01	68,13	69,11	77,18	55,11
1986	1	1	14,79	137,81	155,68	153,54	115,46
1986	2	1	20,21	169,02	202,55	242,87	158,66
1986	3	1	20,25	159,06	195,63	241,43	154,09
1986	4	1	21,32	159,17	175,26	225,15	145,23
1986	5	1	14,84	112,44	136,54	167,17	107,75
1986	6	1	10,93	75,11	110,08	150,51	86,66
1986	7	1	9,53	55,30	87,31	123,43	68,89
1986	8	1	4,40	29,23	46,50	78,76	39,72
1986	9	1	3,41	29,96	45,97	78,14	39,37
1986	10	1	6,36	49,50	68,74	88,61	53,30
1986	11	1	6,88	49,89	78,37	86,08	55,30
1986	12	1	8,20	41,88	70,61	103,64	56,08
1987	1	1	21,06	140,76	189,80	207,28	139,73
1987	2	1	25,29	204,05	248,88	283,68	190,47
1987	3	1	24,85	187,08	257,09	321,52	197,63
1987	4	1	16,87	120,23	173,32	287,00	149,35
1987	5	1	16,07	98,57	155,19	244,66	128,63
1987	6	1	13,04	91,35	139,31	200,79	111,12
1987	7	1	7,52	61,32	99,99	142,50	77,83
1987	8	1	4,73	32,98	53,28	84,26	43,81
1987	9	1	2,81	23,11	45,96	72,29	36,04
1987	10	1	6,62	37,50	63,56	72,18	44,96
1987	11	1	14,44	78,44	111,13	154,87	89,72
1987	12	1	28,33	197,35	224,34	284,53	183,64
1988	1	1	34,44	239,44	249,47	277,72	200,27
1988	2	1	41,02	356,35	391,68	366,46	288,88
1988	3	1	39,40	498,99	494,95	635,30	417,16
1988	4	1	34,37	326,29	361,77	468,07	297,63
1988	5	1	25,57	201,02	260,42	324,56	202,89
1988	6	1	20,08	148,70	218,74	300,87	172,10
1988	7	1	12,21	90,57	130,19	204,58	109,39
1988	8	1	7,78	50,68	88,63	139,94	71,76
1988	9	1	5,94	44,29	71,21	109,93	57,84
1988	10	1	8,53	58,03	85,48	115,49	66,88
1988	11	1	13,26	90,15	137,00	178,93	104,84
1988	12	1	30,04	159,24	254,75	265,28	177,33
1989	1	1	39,63	240,25	362,59	408,97	262,86
1989	2	1	42,14	227,41	383,38	412,07	266,25
1989	3	1	42,84	274,28	412,02	500,82	307,49

1989	4	1	30,12	189,34	303,51	441,86	241,21
1989	5	1	19,00	124,27	187,75	298,91	157,48
1989	6	1	13,91	106,12	164,29	239,09	130,85
1989	7	1	16,18	111,83	166,70	250,42	136,28
1989	8	1	10,64	73,46	104,54	166,87	88,88
1989	9	1	10,98	66,30	94,83	143,10	78,80
1989	10	1	11,28	67,77	100,56	164,72	86,08
1989	11	1	13,77	69,54	129,22	177,90	97,61
1989	12	1	10,48	86,09	121,76	213,04	107,84
1990	1	1	18,58	121,48	209,62	363,14	178,21
1990	2	1	24,50	173,56	240,53	426,54	216,28
1990	3	1	31,39	187,33	292,89	470,33	245,48
1990	4	1	26,57	192,77	272,06	363,86	213,81
1990	5	1	16,30	132,54	166,54	227,44	135,70
1990	6	1	9,68	79,68	99,53	142,29	82,80
1990	7	1	7,18	54,80	81,58	122,65	66,55
1990	8	1	6,03	44,48	76,00	120,53	61,76
1990	9	1	4,14	33,18	49,80	90,91	44,51
1990	10	1	8,36	58,05	89,89	125,90	70,55
1990	11	1	11,55	80,66	116,64	169,23	94,52
1990	12	1	17,67	119,33	192,61	292,64	155,56
1991	1	1	25,88	226,87	263,10	357,98	218,46
1991	2	1	24,11	220,88	247,61	359,03	212,91
1991	3	1	33,67	212,79	303,39	403,43	238,32
1991	4	1	23,67	193,71	240,92	362,54	205,21
1991	5	1	17,00	116,41	186,11	264,75	146,07
1991	6	1	18,73	127,57	196,77	310,23	163,33
1991	7	1	19,79	100,11	177,64	283,76	145,33
1991	8	1	12,59	69,68	113,17	200,30	98,93
1991	9	1	11,75	65,37	122,24	194,93	98,57
1991	10	1	10,05	60,80	103,44	159,65	83,48
1991	11	1	15,90	111,16	188,04	271,46	146,64
1991	12	1	31,83	193,41	298,91	536,40	265,14
1992	1	1	57,01	337,27	471,24	673,64	384,79
1992	2	1	64,58	319,45	464,34	799,92	412,07
1992	3	1	36,39	246,58	344,31	668,02	323,82
1992	4	1	30,70	204,24	272,54	525,88	258,34
1992	5	1	16,47	117,45	197,26	283,21	153,60
1992	6	1	18,99	128,67	181,56	242,71	142,98
1992	7	1	16,16	91,50	134,48	188,97	107,78
1992	8	1	13,67	69,67	115,90	158,33	89,39
1992	9	1	12,44	56,89	106,22	173,40	87,24
1992	10	1	10,44	50,52	90,29	153,98	76,31
1992	11	1	13,67	76,92	145,46	186,32	105,59
1992	12	1	32,50	147,84	231,21	238,52	162,52
1993	1	1	43,92	262,85	384,25	451,74	285,69
1993	2	1	49,27	357,87	509,05	482,20	349,60
1993	3	1	38,18	292,26	394,17	461,62	296,56
1993	4	1	23,99	153,99	254,21	344,93	194,28
1993	5	1	19,80	141,68	184,97	261,18	151,91
1993	6	1	14,77	118,01	160,57	258,27	137,91

1993	7	1	11,86	77,39	121,64	206,82	104,43
1993	8	1	8,31	52,52	92,94	142,02	73,95
1993	9	1	12,09	55,86	98,82	139,76	76,64
1993	10	1	9,72	68,06	112,85	145,00	83,91
1993	11	1	15,56	95,82	160,01	208,73	120,03
1993	12	1	28,21	189,69	234,40	405,22	214,38
1994	1	1	46,49	347,83	406,30	614,99	353,90
1994	2	1	50,46	438,39	483,02	701,39	418,31
1994	3	1	37,62	293,34	382,61	451,17	291,19
1994	4	1	25,43	224,12	283,36	378,32	227,81
1994	5	1	19,60	149,68	227,61	313,58	177,62
1994	6	1	16,14	128,55	181,58	264,61	147,72
1994	7	1	8,49	75,94	99,78	156,56	85,19
1994	8	1	7,41	52,10	87,55	141,60	72,17
1994	9	1	6,68	46,13	72,13	138,61	65,89
1994	10	1	7,42	53,13	84,38	124,80	67,43
1994	11	1	12,08	74,69	126,12	178,55	97,86
1994	12	1	16,18	89,03	149,98	205,46	115,16
1995	1	1	26,19	164,78	236,28	258,84	171,52
1995	2	1	32,34	265,97	316,89	350,97	241,54
1995	3	1	47,61	446,83	389,60	483,56	341,90
1995	4	1	23,35	192,25	226,36	342,05	196,00
1995	5	1	10,44	103,68	130,36	169,41	103,47
1995	6	1	8,57	83,35	102,57	137,54	83,01
1995	7	1	7,05	57,59	82,33	106,96	63,48
1995	8	1	4,60	34,35	54,82	84,16	44,48
1995	9	1	2,75	25,60	42,32	70,51	35,30
1995	10	1	4,50	38,62	50,96	72,23	41,58
1995	11	1	6,21	63,72	80,53	100,04	62,62
1995	12	1	9,93	80,87	102,96	144,64	84,60
1996	1	1	14,55	165,16	171,94	234,15	146,45
1996	2	1	23,42	216,74	249,88	369,46	214,87
1996	3	1	17,96	135,18	185,58	256,19	148,73
1996	4	1	14,58	113,31	172,34	255,51	138,94
1996	5	1	10,07	87,01	120,15	146,11	90,83
1996	6	1	5,98	58,90	79,40	89,33	58,40
1996	7	1	3,44	33,05	48,78	64,10	37,34
1996	8	1	2,14	20,30	33,32	52,29	27,01
1996	9	1	2,41	24,30	37,57	65,40	32,42
1996	10	1	3,61	28,07	44,56	62,90	34,78
1996	11	1	8,04	52,84	93,04	117,84	67,94
1996	12	1	14,60	116,65	137,28	174,04	110,64
1997	1	1	34,63	245,48	247,92	302,23	207,57
1997	2	1	43,17	377,06	352,87	420,04	298,28
1997	3	1	41,12	346,91	412,85	436,90	309,45
1997	4	1	35,84	280,07	351,93	361,82	257,42
1997	5	1	23,74	236,01	291,07	383,67	233,62
1997	6	1	14,72	137,55	177,81	244,68	143,69
1997	7	1	15,05	131,93	177,77	221,20	136,49
1997	8	1	12,20	104,36	153,99	189,94	115,12
1997	9	1	6,83	58,05	101,83	130,34	74,26

1997	10	1	8,20	56,97	83,24	119,99	67,10
1997	11	1	9,21	73,10	103,31	148,71	83,58
1997	12	1	12,92	119,77	160,63	225,07	129,59
1998	1	1	14,94	105,03	148,86	209,56	119,60
1998	2	1	20,79	194,50	249,62	315,15	195,02
1998	3	1	29,94	265,48	333,26	408,64	259,33
1998	4	1	29,25	218,60	249,02	285,54	195,60
1998	5	1	20,08	168,45	210,04	255,69	163,56
1998	6	1	25,07	163,30	228,52	264,77	170,41
1998	7	1	27,38	165,83	229,75	306,09	182,26
1998	8	1	16,34	107,47	152,13	206,80	120,68
1998	9	1	9,16	66,77	99,32	185,22	90,12
1998	10	1	13,95	89,43	123,68	204,97	108,01
1998	11	1	16,99	131,67	164,52	274,69	146,97
1998	12	1	26,51	224,26	260,70	372,48	220,99
1999	1	1	39,60	298,05	352,88	498,38	297,23
1999	2	1	43,53	329,20	450,12	540,65	340,87
1999	3	1	52,09	428,31	594,18	604,65	419,81
1999	4	1	26,32	225,19	310,93	397,68	240,03
1999	5	1	23,76	189,69	240,97	407,08	215,38
1999	6	1	19,76	119,26	184,55	310,87	158,61
1999	7	1	11,00	84,62	114,14	185,46	98,80
1999	8	1	12,91	86,91	126,63	180,37	101,70
1999	9	1	10,88	65,98	108,50	198,12	95,87
1999	10	1	11,31	76,30	111,36	212,58	102,89
1999	11	1	21,86	123,62	195,63	368,08	177,30
1999	12	1	89,60	511,67	633,89	1181,37	604,13
2000	1	1	104,04	534,35	638,30	962,29	559,74
2000	2	1	80,34	475,17	630,87	754,60	485,24
2000	3	1	83,77	515,82	890,49	1367,34	714,35
2000	4	1	64,61	474,80	742,93	1025,83	577,04
2000	5	1	29,71	204,81	323,78	412,96	242,82
2000	6	1	16,47	130,88	189,72	269,34	151,60
2000	7	1	12,51	88,50	129,53	181,92	103,11
2000	8	1	8,04	64,16	100,79	146,06	79,76
2000	9	1	8,30	68,74	95,38	137,09	77,38
2000	10	1	10,45	74,32	109,14	154,85	87,19
2000	11	1	17,41	108,68	151,09	216,37	123,39
2000	12	1	27,10	142,23	224,15	350,75	186,06
2001	1	1	38,69	223,36	321,26	669,32	313,16
2001	2	1	65,31	433,02	567,51	861,80	481,91
2001	3	1	33,19	293,31	360,76	611,18	324,61
2001	4	1	24,04	236,87	265,43	351,16	219,38
2001	5	1	17,91	194,83	214,53	290,42	179,42
2001	6	1	14,59	125,03	191,26	270,75	150,41
2001	7	1	13,90	86,85	148,99	205,01	113,69
2001	8	1	11,29	71,57	110,62	144,35	84,46
2001	9	1	12,48	68,13	119,08	136,12	83,95
2001	10	1	11,28	77,69	126,85	181,08	99,22
2001	11	1	15,14	110,55	151,62	218,16	123,87
2001	12	1	22,71	181,75	242,76	384,29	207,88

2002	1	1	22,37	176,90	219,91	314,37	183,39
2002	2	1	27,78	210,22	318,40	427,96	246,09
2002	3	1	56,36	370,02	532,99	638,40	399,44
2002	4	1	29,16	205,25	287,30	398,22	229,98
2002	5	1	30,47	202,80	252,08	352,18	209,38
2002	6	1	21,90	142,06	196,04	264,19	156,05
2002	7	1	11,40	82,12	108,90	151,20	88,41
2002	8	1	7,98	68,75	88,11	120,38	71,30
2002	9	1	7,81	64,97	93,99	132,33	74,78
2002	10	1	11,78	89,36	121,82	152,94	93,97
2002	11	1	21,34	141,70	188,07	256,78	151,97
2002	12	1	40,79	304,35	327,03	477,24	287,35
2003	1	1	52,19	309,76	367,58	424,64	288,54
2003	2	1	27,00	231,12	238,23	302,81	199,79
2003	3	1	18,12	171,20	189,96	231,42	152,68
2003	4	1	19,31	170,17	208,74	249,19	161,85
2003	5	1	15,51	100,86	144,11	202,79	115,82
2003	6	1	13,83	92,55	121,07	170,14	99,40
2003	7	1	11,34	73,82	99,45	117,99	75,65
2003	8	1	7,83	51,26	75,80	101,63	59,13
2003	9	1	6,68	46,05	63,83	98,00	53,64
2003	10	1	9,67	65,99	94,07	124,36	73,52
2003	11	1	12,89	88,16	131,34	161,49	98,47
2003	12	1	18,55	140,69	201,36	350,36	177,74

FLOWFILE .033333

! Este arquivo contém dados de vazões mínimas mensais do Rio Sapucaí [hm³/mês]

1980 24 12 1 4

SAA 1! Corresponde à série do posto Santo Antonio da Alegria

DRS 1! Corresponde à série do posto Usina Dourados

PRS 1! Corresponde à série do posto Pioneiros

FSD 1! Corresponde à série do posto Fazenda São Domingos

1980	1	1	4,99	205,13	286,98	397,16	223,56
1980	2	1	43,67	392,87	620,10	776,49	458,28
1980	3	1	31,79	410,31	605,56	816,80	466,11
1980	4	1	24,22	242,85	355,00	488,38	277,61
1980	5	1	18,05	136,22	220,15	307,48	170,48
1980	6	1	11,96	77,34	146,88	208,79	111,24
1980	7	1	11,60	51,21	94,71	143,94	75,37
1980	8	1	6,18	34,28	65,96	102,70	52,28
1980	9	1	5,13	24,68	50,63	82,56	40,75
1980	10	1	7,19	28,87	50,34	74,00	40,10
1980	11	1	7,87	37,53	61,80	86,98	48,54
1980	12	1	4,30	56,23	60,19	88,34	52,27
1981	1	1	1,01	118,76	238,63	331,31	172,43
1981	2	1	37,08	273,90	410,15	523,16	311,07

1981	3	1	40,61	324,99	402,03	542,02	327,41
1981	4	1	24,03	207,10	267,02	367,90	216,51
1981	5	1	16,55	114,02	203,14	282,72	154,11
1981	6	1	12,92	119,57	179,07	260,11	142,92
1981	7	1	7,32	78,57	122,53	182,13	97,64
1981	8	1	5,69	65,78	90,47	134,08	74,01
1981	9	1	2,40	30,19	43,30	72,99	37,22
1981	10	1	2,36	26,51	42,15	60,42	32,86
1981	11	1	4,62	32,03	57,58	80,91	43,78
1981	12	1	4,13	58,28	53,85	78,80	48,76
1982	1	1	0,41	97,83	79,25	112,19	72,42
1982	2	1	17,70	212,07	125,64	168,94	131,09
1982	3	1	24,54	194,41	166,89	224,77	152,65
1982	4	1	17,71	174,23	196,82	271,62	165,10
1982	5	1	14,41	115,27	120,54	163,95	103,54
1982	6	1	9,10	71,37	71,07	93,32	61,21
1982	7	1	5,17	50,35	55,39	88,19	49,77
1982	8	1	3,90	30,69	41,39	69,31	36,32
1982	9	1	2,83	33,19	41,72	70,88	37,16
1982	10	1	3,95	35,08	50,72	74,64	41,10
1982	11	1	4,88	41,32	65,66	92,54	51,10
1982	12	1	4,46	71,94	94,24	139,93	77,64
1983	1	1	6,82	195,52	193,70	269,93	166,50
1983	2	1	21,85	308,01	307,00	396,68	258,38
1983	3	1	21,12	224,36	299,03	403,01	236,88
1983	4	1	11,83	133,32	161,57	223,20	132,48
1983	5	1	9,11	64,25	125,64	171,21	92,55
1983	6	1	8,17	71,07	131,24	184,28	98,69
1983	7	1	9,65	51,25	115,56	172,65	87,28
1983	8	1	7,79	46,86	77,09	117,14	62,22
1983	9	1	7,05	30,92	66,07	101,84	51,47
1983	10	1	4,43	31,24	50,16	73,70	39,88
1983	11	1	5,47	33,75	52,16	73,13	41,13
1983	12	1	5,72	59,30	73,85	108,96	61,96
1984	1	1	4,14	113,18	159,72	223,34	125,09
1984	2	1	19,57	239,65	243,85	318,34	205,35
1984	3	1	14,67	195,47	276,37	372,44	214,74
1984	4	1	23,60	189,78	266,74	367,52	211,91
1984	5	1	21,66	138,73	266,87	375,91	200,79
1984	6	1	14,62	123,95	187,81	274,25	150,16
1984	7	1	7,29	74,65	111,62	167,26	90,21
1984	8	1	4,88	34,97	66,72	103,70	52,57
1984	9	1	3,97	40,03	56,44	89,96	47,60
1984	10	1	2,78	39,02	51,48	75,91	42,30
1984	11	1	4,12	49,42	73,18	103,38	57,52
1984	12	1	6,31	72,18	101,69	151,29	82,87
1985	1	1	8,78	195,69	221,86	308,43	183,69
1985	2	1	39,27	291,62	337,40	434,12	275,60
1985	3	1	16,63	171,43	217,05	292,41	174,38
1985	4	1	8,56	119,77	146,97	203,14	119,61
1985	5	1	8,73	111,61	146,64	201,18	117,04

1985	6	1	11,37	84,88	126,14	176,35	99,69
1985	7	1	5,51	45,16	79,12	122,14	62,98
1985	8	1	4,34	33,43	63,56	99,53	50,21
1985	9	1	1,96	19,75	42,60	72,05	34,09
1985	10	1	2,02	23,61	40,28	57,37	30,82
1985	11	1	3,44	45,88	53,89	75,61	44,71
1985	12	1	3,69	62,68	46,74	68,15	45,32
1986	1	1	1,17	116,43	73,13	103,68	73,60
1986	2	1	15,17	138,14	148,54	198,25	125,03
1986	3	1	14,98	138,49	152,69	205,62	127,94
1986	4	1	16,36	130,06	134,09	185,43	116,48
1986	5	1	10,72	91,89	99,08	133,62	83,83
1986	6	1	8,19	60,04	92,32	124,75	71,32
1986	7	1	6,90	38,35	59,81	94,59	49,91
1986	8	1	2,64	20,22	39,67	66,88	32,35
1986	9	1	1,86	23,02	36,59	63,91	31,35
1986	10	1	3,14	32,97	44,96	65,04	36,53
1986	11	1	3,28	25,80	42,18	58,85	32,53
1986	12	1	3,78	24,64	39,61	57,50	31,38
1987	1	1	0,78	71,55	67,65	96,04	59,00
1987	2	1	12,95	132,45	132,50	177,74	113,91
1987	3	1	14,33	128,93	164,01	220,89	132,04
1987	4	1	10,67	86,86	167,46	231,30	124,07
1987	5	1	10,89	65,66	131,15	179,06	96,69
1987	6	1	8,87	68,68	113,80	157,32	87,17
1987	7	1	4,91	51,04	82,11	126,35	66,10
1987	8	1	3,25	23,94	43,14	71,78	35,53
1987	9	1	1,59	16,94	31,37	56,61	26,63
1987	10	1	3,32	20,44	30,04	41,05	23,71
1987	11	1	6,65	32,23	58,21	81,81	44,73
1987	12	1	9,00	83,78	85,32	126,37	76,12
1988	1	1	2,10	119,43	86,50	122,27	82,57
1988	2	1	19,18	241,22	154,54	205,90	155,21
1988	3	1	21,03	372,33	381,56	514,39	322,33
1988	4	1	23,94	256,32	269,00	370,61	229,97
1988	5	1	18,01	152,51	177,88	246,13	148,63
1988	6	1	14,06	115,61	168,62	243,35	135,41
1988	7	1	8,46	74,69	121,47	180,69	96,32
1988	8	1	5,39	38,02	78,15	118,50	60,02
1988	9	1	3,75	35,08	57,75	91,59	47,04
1988	10	1	4,57	37,15	55,70	83,06	45,12
1988	11	1	6,57	49,91	78,86	111,59	61,73
1988	12	1	11,99	69,73	76,61	113,14	67,87
1989	1	1	4,02	119,70	149,02	208,63	120,34
1989	2	1	20,31	114,70	158,70	211,18	126,22
1989	3	1	20,64	153,10	215,88	290,84	170,12
1989	4	1	16,37	113,28	208,87	288,16	156,67
1989	5	1	10,86	80,95	155,63	214,08	115,38
1989	6	1	8,81	80,97	135,57	191,03	104,09
1989	7	1	11,27	82,48	129,79	191,96	103,88
1989	8	1	6,92	55,01	90,63	134,27	71,71

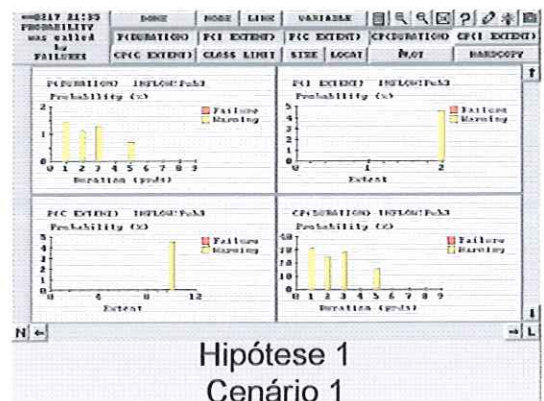
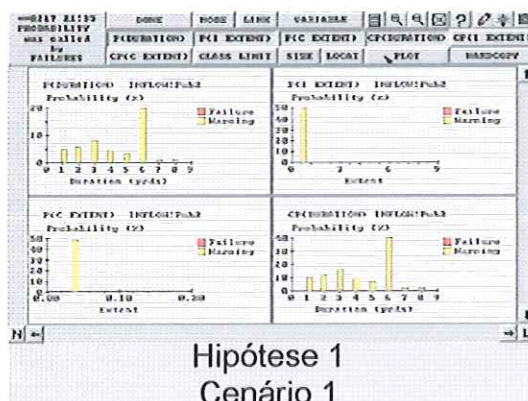
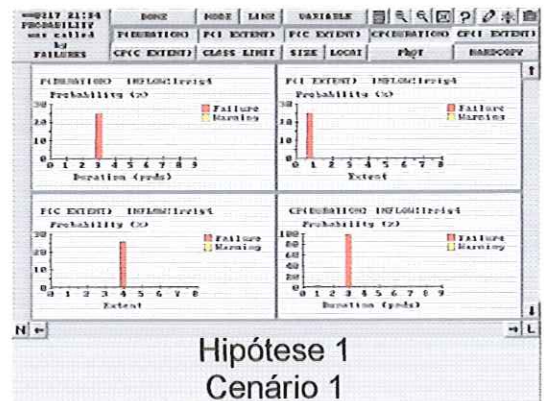
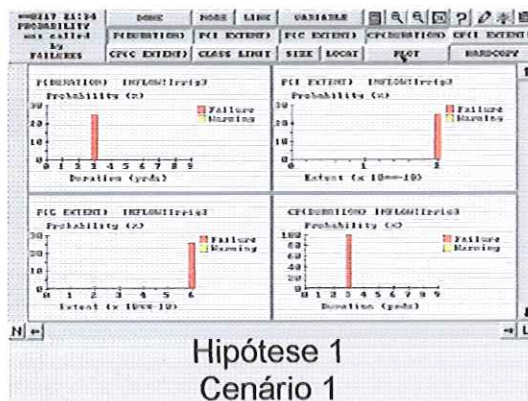
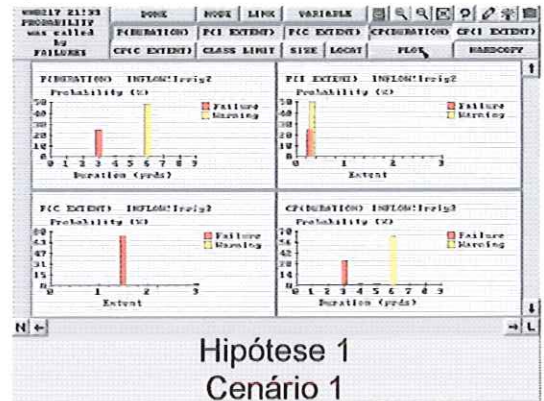
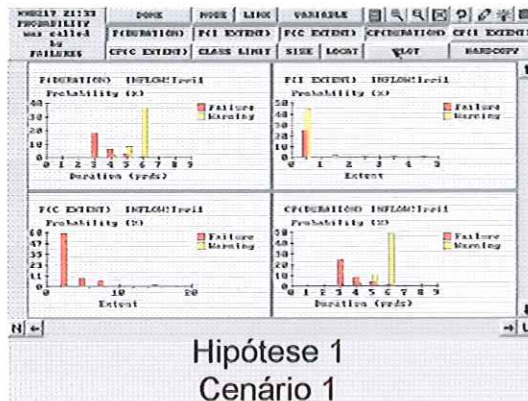
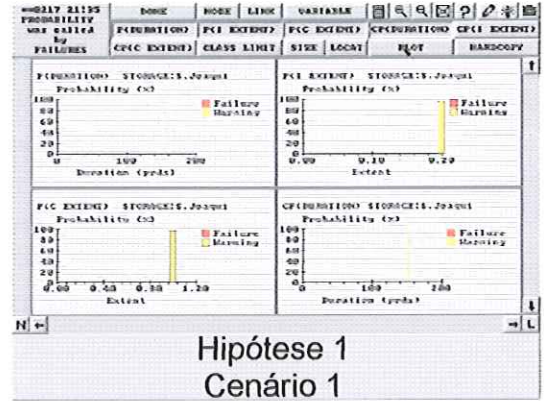
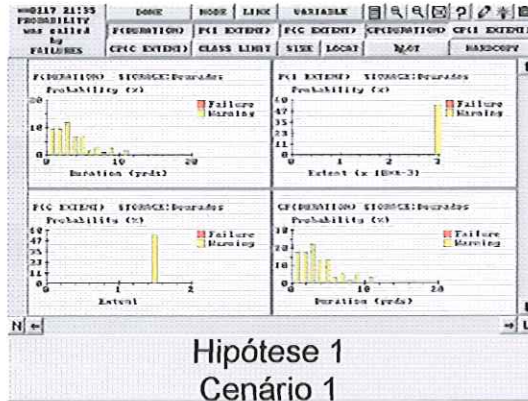
1989	9	1	7,12	46,49	70,20	106,84	57,66
1989	10	1	5,83	38,66	72,30	111,87	57,16
1989	11	1	6,16	28,47	66,17	93,26	48,51
1989	12	1	3,43	53,25	92,86	137,84	71,85
1990	1	1	0,52	64,13	176,42	246,25	121,83
1990	2	1	13,62	110,60	251,23	327,53	175,75
1990	3	1	19,54	120,68	245,17	330,34	178,93
1990	4	1	16,89	140,29	194,06	267,83	154,77
1990	5	1	10,57	106,78	134,98	184,52	109,21
1990	6	1	7,02	70,10	94,73	128,35	75,05
1990	7	1	5,29	45,36	71,65	111,56	58,46
1990	8	1	4,44	35,16	69,77	107,69	54,27
1990	9	1	2,79	26,41	48,26	79,51	39,24
1990	10	1	4,80	37,73	62,11	94,06	49,67
1990	11	1	5,87	45,68	81,16	114,93	61,91
1990	12	1	7,74	66,85	116,38	173,76	91,18
1991	1	1	2,09	169,77	195,80	272,81	160,12
1991	2	1	14,73	189,34	242,21	316,30	190,65
1991	3	1	24,15	148,96	217,13	292,53	170,69
1991	4	1	15,95	161,27	231,10	318,66	181,75
1991	5	1	12,20	89,80	157,17	216,30	118,87
1991	6	1	13,71	98,21	180,75	262,83	138,87
1991	7	1	14,83	66,29	139,40	204,90	106,35
1991	8	1	7,79	47,47	108,73	156,57	80,14
1991	9	1	6,88	45,43	112,12	154,53	79,74
1991	10	1	4,91	36,13	71,91	111,17	56,03
1991	11	1	7,39	64,62	115,60	165,01	88,16
1991	12	1	12,24	88,04	186,54	281,93	142,19
1992	1	1	20,55	182,99	311,25	430,12	236,23
1992	2	1	34,69	170,04	400,40	511,26	279,10
1992	3	1	17,84	163,47	389,00	524,43	273,68
1992	4	1	18,86	142,13	304,67	419,48	221,29
1992	5	1	10,48	90,94	164,77	227,22	123,35
1992	6	1	13,43	96,82	129,76	181,97	105,49
1992	7	1	11,10	62,44	87,03	133,25	73,46
1992	8	1	8,38	42,27	66,52	103,44	55,15
1992	9	1	6,30	31,80	77,70	115,73	57,88
1992	10	1	4,36	24,10	58,71	88,20	43,84
1992	11	1	5,26	32,15	66,11	93,18	49,17
1992	12	1	9,60	52,53	53,42	78,16	48,43
1993	1	1	2,09	103,38	131,70	184,78	105,49
1993	2	1	19,62	194,90	175,97	233,09	155,90
1993	3	1	17,23	164,36	194,72	262,29	159,65
1993	4	1	12,84	90,50	155,10	214,32	118,19
1993	5	1	11,28	91,66	127,90	174,42	101,31
1993	6	1	9,21	88,01	146,89	208,80	113,23
1993	7	1	7,91	53,73	107,25	161,27	82,54
1993	8	1	5,24	35,34	69,59	107,45	54,40
1993	9	1	7,67	31,65	54,43	87,42	45,30
1993	10	1	4,13	40,59	61,52	93,04	49,82
1993	11	1	7,01	45,48	78,51	111,09	60,53

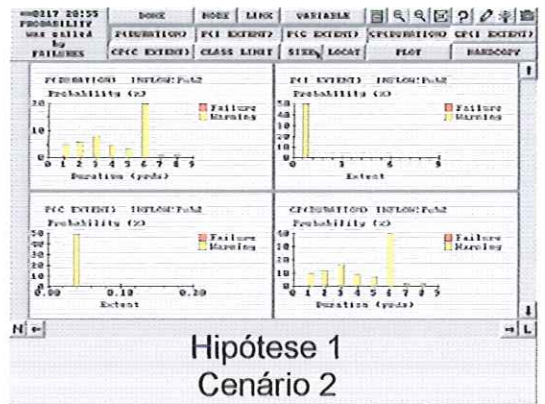
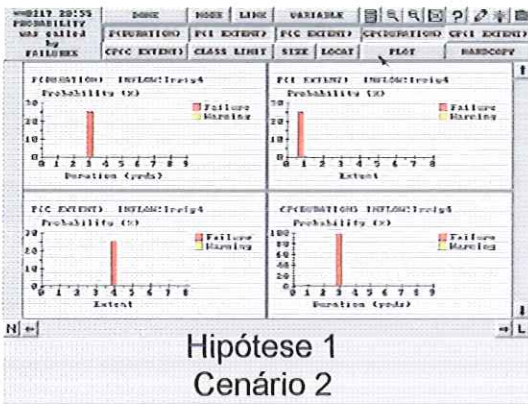
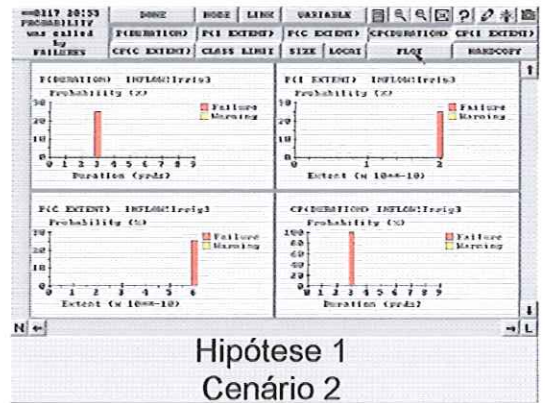
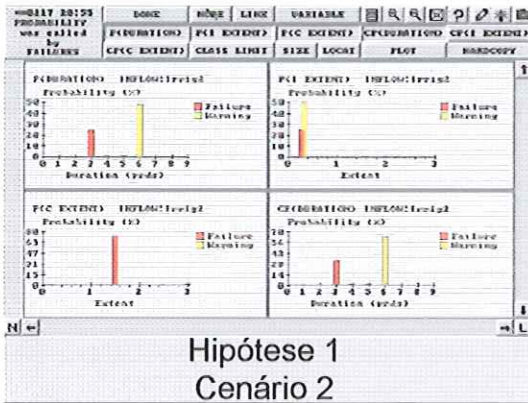
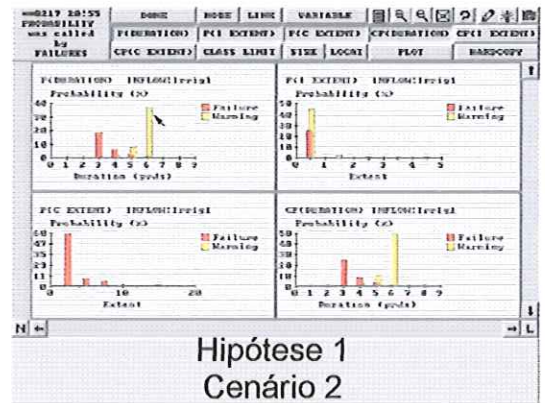
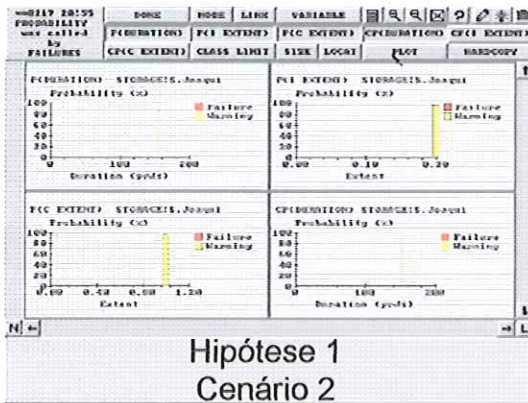
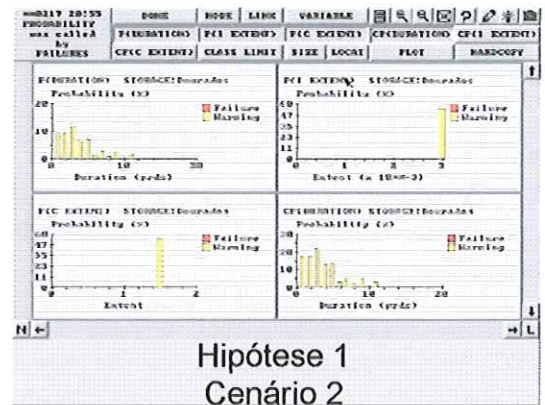
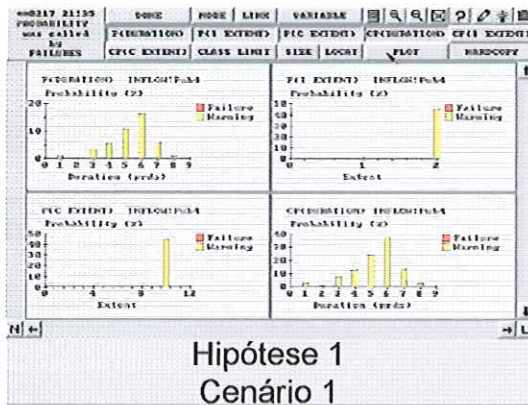
1993	12	1	9,39	82,26	134,07	200,90	106,65
1994	1	1	7,31	196,86	291,62	403,46	224,81
1994	2	1	26,71	335,18	421,32	536,76	329,99
1994	3	1	22,23	204,21	231,40	311,77	192,40
1994	4	1	16,19	182,72	225,42	310,86	183,79
1994	5	1	13,65	116,21	184,14	255,18	142,29
1994	6	1	11,72	107,95	163,83	235,68	129,80
1994	7	1	6,13	72,30	105,74	159,19	85,84
1994	8	1	5,93	42,69	86,85	129,54	66,25
1994	9	1	5,09	36,99	89,63	129,52	65,31
1994	10	1	4,07	37,16	67,68	103,74	53,16
1994	11	1	6,47	40,02	82,49	116,85	61,46
1994	12	1	6,99	49,78	77,12	113,92	61,95
1995	1	1	1,65	93,44	96,70	136,42	82,05
1995	2	1	17,29	196,60	181,51	240,10	158,88
1995	3	1	29,38	313,08	264,97	357,06	241,12
1995	4	1	15,26	154,51	211,04	291,13	167,98
1995	5	1	7,14	100,78	120,06	163,28	97,81
1995	6	1	7,12	84,73	104,35	142,89	84,77
1995	7	1	6,12	52,71	65,29	102,48	56,65
1995	8	1	3,67	28,40	48,75	79,58	40,10
1995	9	1	1,88	22,22	36,84	64,27	31,30
1995	10	1	2,27	29,54	45,50	65,94	35,81
1995	11	1	3,40	49,02	65,39	92,15	52,49
1995	12	1	6,45	60,30	76,00	112,22	63,74
1996	1	1	0,80	168,56	164,42	229,79	140,89
1996	2	1	19,61	209,20	291,62	377,66	224,52
1996	3	1	14,68	130,59	183,40	247,03	143,93
1996	4	1	11,89	108,57	188,40	260,06	142,23
1996	5	1	8,21	86,55	105,56	142,75	85,77
1996	6	1	5,26	66,34	73,78	97,27	60,66
1996	7	1	3,02	34,78	46,16	74,66	39,65
1996	8	1	1,88	19,96	35,44	60,80	29,52
1996	9	1	2,29	23,15	38,13	66,03	32,40
1996	10	1	1,99	21,35	41,48	59,33	31,04
1996	11	1	4,86	28,84	61,89	87,11	45,67
1996	12	1	7,66	76,50	80,74	119,41	71,08
1997	1	1	10,30	166,46	139,49	195,52	127,94
1997	2	1	27,79	327,26	252,96	329,68	234,42
1997	3	1	27,45	262,91	242,50	326,75	214,90
1997	4	1	25,17	215,98	190,20	262,52	173,47
1997	5	1	15,99	211,84	254,94	358,39	210,29
1997	6	1	11,35	133,19	171,76	248,37	141,17
1997	7	1	12,97	130,42	142,08	208,51	123,49
1997	8	1	10,35	106,95	127,11	178,64	105,76
1997	9	1	5,61	57,14	86,82	126,31	68,97
1997	10	1	5,14	40,51	67,21	102,93	53,95
1997	11	1	4,84	49,20	86,01	121,95	65,50
1997	12	1	6,86	88,35	120,14	179,51	98,71
1998	1	1	0,76	77,41	116,00	163,11	89,32
1998	2	1	14,39	183,39	226,72	296,94	180,36

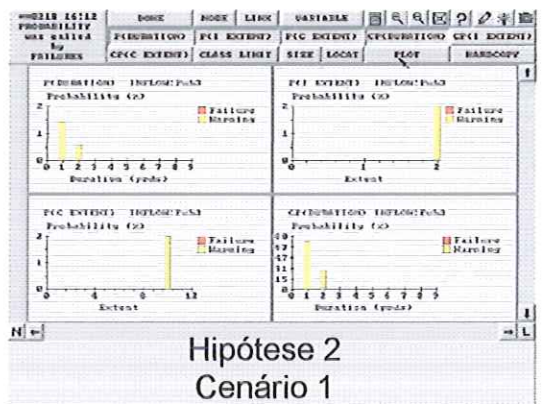
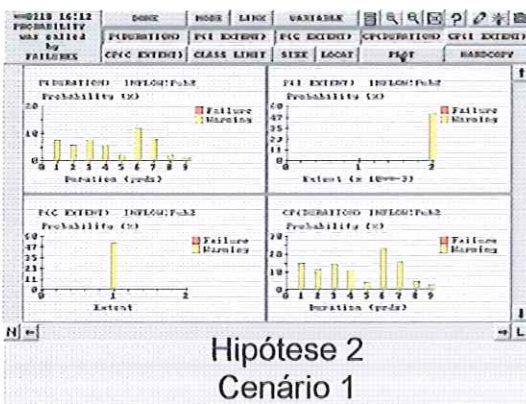
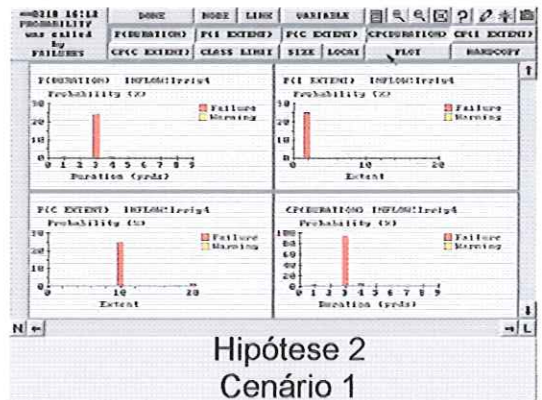
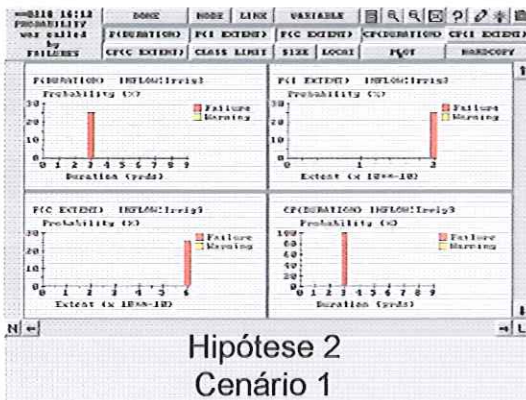
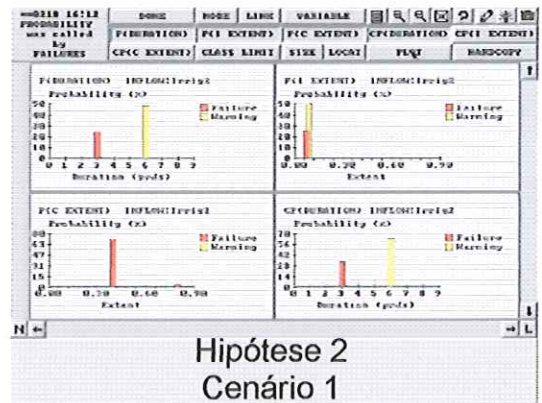
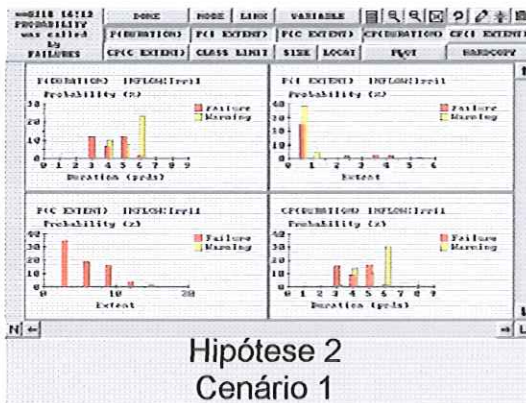
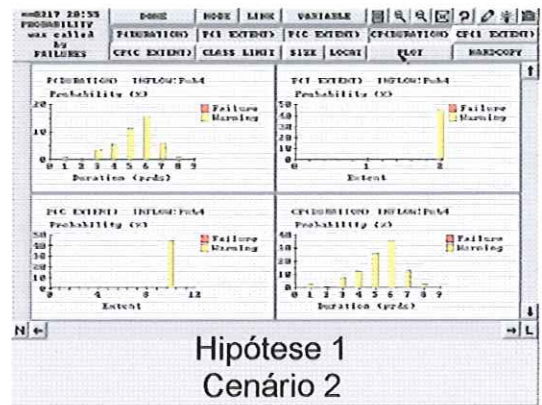
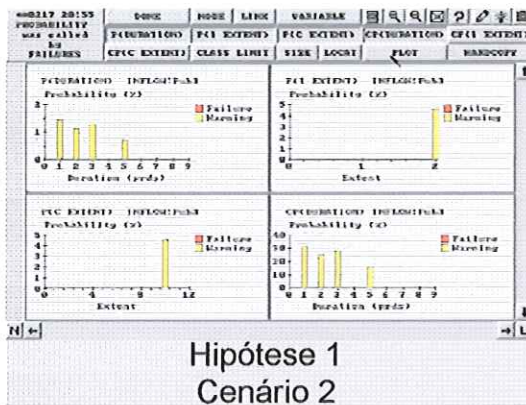
1998	3	1	23,70	234,76	276,30	372,34	226,77
1998	4	1	23,64	181,85	166,82	230,42	150,68
1998	5	1	14,60	146,97	161,20	222,08	136,21
1998	6	1	19,14	122,70	137,37	193,85	118,27
1998	7	1	20,09	122,83	152,20	222,03	129,29
1998	8	1	10,45	85,00	112,15	160,72	92,08
1998	9	1	5,30	54,73	132,86	176,65	92,39
1998	10	1	8,78	56,48	96,82	156,12	79,55
1998	11	1	8,43	90,19	134,03	191,95	106,15
1998	12	1	11,42	127,98	156,88	236,04	133,08
1999	1	1	11,16	218,42	284,52	393,81	226,98
1999	2	1	27,86	266,42	326,08	420,19	260,14
1999	3	1	34,39	310,60	325,42	438,62	277,26
1999	4	1	17,63	194,73	251,73	346,94	202,76
1999	5	1	17,29	156,00	273,58	385,78	208,16
1999	6	1	14,97	89,24	180,96	263,17	137,09
1999	7	1	7,61	75,85	119,21	177,61	95,07
1999	8	1	10,02	72,66	103,90	150,69	84,32
1999	9	1	7,97	51,48	138,24	182,26	94,99
1999	10	1	6,68	51,43	113,24	186,70	89,51
1999	11	1	12,09	68,27	155,82	223,91	115,02
1999	12	1	33,06	189,36	362,01	556,62	285,26
2000	1	1	131,44	296,06	459,92	631,21	379,66
2000	2	1	40,21	318,52	366,93	470,35	299,00
2000	3	1	43,39	280,07	665,42	897,64	471,63
2000	4	1	37,19	318,16	524,56	720,16	400,02
2000	5	1	17,82	148,06	214,72	299,57	170,04
2000	6	1	10,54	109,53	162,69	233,86	129,16
2000	7	1	8,76	71,37	99,81	151,01	82,74
2000	8	1	5,40	55,30	87,39	130,22	69,58
2000	9	1	6,09	60,86	83,48	122,47	68,22
2000	10	1	6,44	49,96	77,13	120,44	63,49
2000	11	1	9,34	60,44	92,72	131,69	73,55
2000	12	1	10,48	66,62	118,86	177,56	93,38
2001	1	1	4,57	117,53	379,47	522,57	256,04
2001	2	1	37,48	297,68	498,43	630,24	365,96
2001	3	1	18,43	233,12	406,45	547,98	301,50
2001	4	1	16,67	224,44	234,66	323,53	199,82
2001	5	1	13,57	198,27	215,06	300,07	181,74
2001	6	1	12,45	119,72	189,25	276,57	149,50
2001	7	1	12,43	71,23	117,36	175,10	94,03
2001	8	1	8,65	58,10	77,82	118,07	65,66
2001	9	1	9,16	49,93	63,18	98,32	55,15
2001	10	1	5,93	50,33	86,56	137,40	70,06
2001	11	1	7,44	68,64	101,83	144,94	80,71
2001	12	1	9,40	101,37	162,39	244,56	129,43
2002	1	1	1,34	128,16	172,68	241,12	135,82
2002	2	1	17,41	159,22	266,18	346,13	197,23
2002	3	1	39,43	233,43	319,50	430,63	255,75
2002	4	1	18,65	153,08	225,20	310,56	176,87
2002	5	1	20,46	141,78	185,41	257,02	151,17

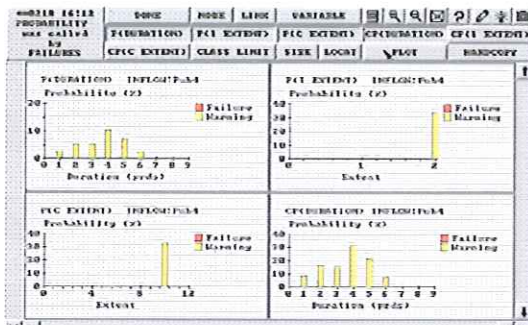
2002	6	1	14,33	102,64	136,67	192,75	111,60
2002	7	1	7,08	65,21	79,81	123,11	68,80
2002	8	1	5,09	60,51	67,27	104,42	59,32
2002	9	1	5,46	55,08	75,61	113,27	62,35
2002	10	1	7,40	60,70	72,50	112,22	63,20
2002	11	1	11,59	83,66	104,68	149,07	87,25
2002	12	1	15,23	138,49	168,15	253,45	143,83
2003	1	1	15,78	170,88	163,01	227,86	144,38
2003	2	1	12,56	177,51	166,79	221,47	144,58
2003	3	1	10,42	152,06	143,43	193,13	124,76
2003	4	1	13,86	145,06	149,51	206,62	128,76
2003	5	1	11,41	72,98	113,53	154,02	87,98
2003	6	1	9,90	69,51	96,83	131,51	76,94
2003	7	1	7,73	53,84	53,65	85,65	50,22
2003	8	1	4,83	35,17	45,43	74,97	40,10
2003	9	1	3,66	31,25	41,24	70,24	36,60
2003	10	1	4,71	38,80	53,69	79,65	44,21
2003	11	1	5,83	45,12	66,24	93,37	52,64
2003	12	1	6,84	71,63	133,58	200,15	103,05

ANEXO C: Indicadores de probabilidade de vulnerabilidade e resiliência para os dois cenários e as duas hipóteses consideradas.

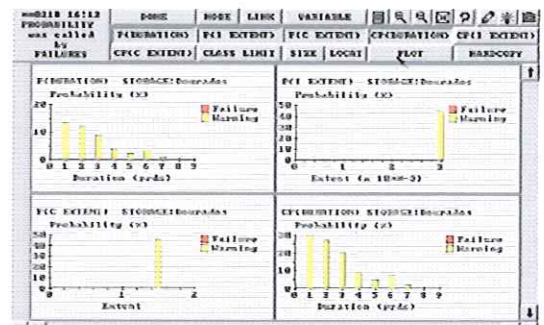




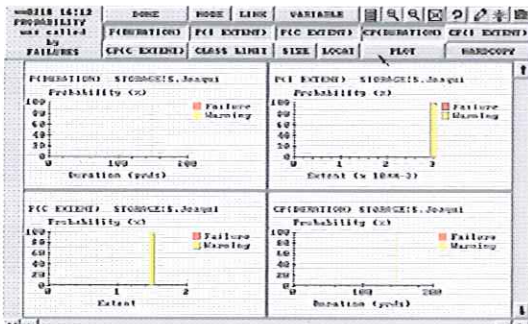




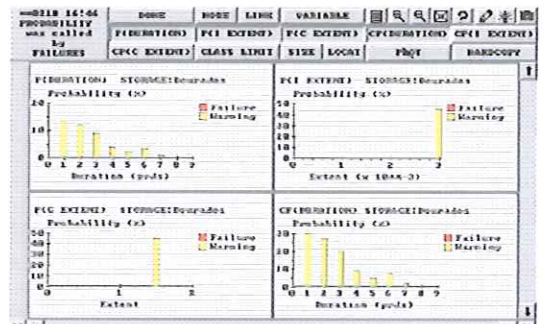
Hipótese 2
Cenário 1



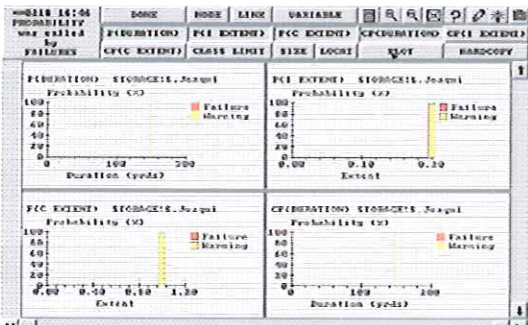
Hipótese 2
Cenário 1



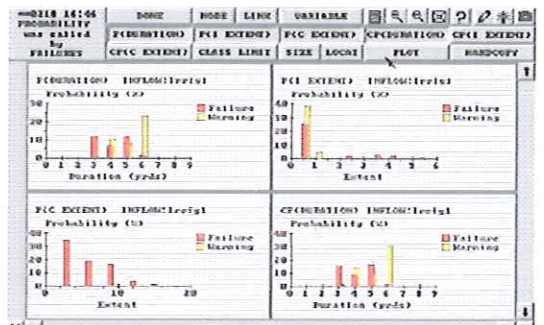
Hipótese 2
Cenário 1



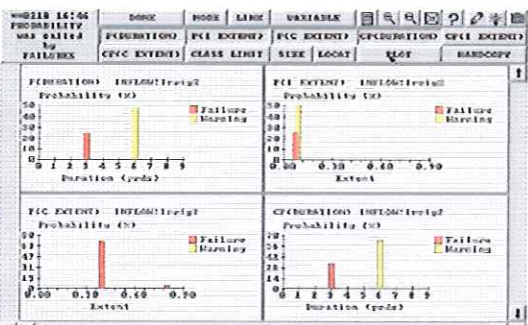
Hipótese 2
Cenário 2



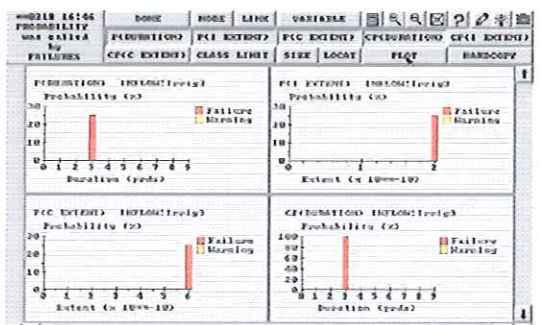
Hipótese 2
Cenário 2



Hipótese 2
Cenário 2



Hipótese 2
Cenário 2



Hipótese 2
Cenário 2

