

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH

**AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA ASSOCIADOS A POLÍTICAS
DE OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIO NA BACIA DO RIO MOXOTÓ, SEMI-
ÁRIDO BRASILEIRO.**

LUIS GUSTAVO DE MOURA REIS

*Dissertação de Mestrado submetida ao programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental.*

Orientador: Prof. PhD. ANTÔNIO EDUARDO LEÃO LANNA.

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. JOEL AVRUCH GOLDENFUM – IPH/UFRGS

PROF. DR. JOÃO SOARES VIEGAS FILHO – UFPEL

PROF. DR. VALMIR DE ALBUQUERQUE PEDROSA - UFAL

Porto Alegre, agosto de 2002.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória dos meus avós, Horácio da Silva Moura e Olga Calheiros de Moura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente a Deus, por ter me dado forças para iniciar e desenvolver e concluir este trabalho, mantendo-me com saúde, socorrendo-me nas horas da angústia, da falta de esperança e zelando pelos meus familiares e amigos distantes.

Aos meus pais pelo apoio que me foi dado nesta jornada, pessoas de quem eu certamente fui responsável por várias noites de insônia estando distante dos seus olhos, porém sempre perto dos seus corações.

À Rysleyne Cristina por ter apoiado e incentivado desde o início neste projeto, por ter acreditado junto comigo que muitas vezes é preciso perder para ganhar, por ter estado sempre se mostrando capaz de estar ao meu lado na busca de muitos sonhos que virão pela frente.

Ao Programa Especial de Treinamento do curso de engenharia civil da UFAL, o PET, responsável em grande parte pelo meus sucessos.

Ao apoio do prof. Roberaldo Carvalho de Souza, desde as salas de aula até a vida, dedicando sempre a sua vida profissional ao sucesso dos seus alunos.

Ao Valmir Pedrosa, meu primeiro professor de Hidrologia, orientador de iniciação científica, supervisor de estágio, colega de pós-graduação e profissão. Sempre pronto a dividir com seus eternos alunos um pouco do seu vasto conhecimento e da sua bagagem cultural infinita.

Ao professor Adeildo Soares, meu grande mestre do cálculo numérico.

Ao professor Gustavo Carvalho meu orientador de estágio, hoje meu colega de profissão, amigo e parceiro de bola algumas vezes no ano. Sempre a postos para ajudar os amigos, devo-lhe bastante pela consideração e presteza que sempre me é dispensada.

Ao grande amigo, colega e professor Jaildo Pereira, cuja companhia ao longo da execução deste trabalho me proporcionou grande aprendizado técnico além de uma imensa satisfação por estar ao lado de um grande ser humano.

Ao amigo e professor Henrique Lima, grande analista, que dividiu comigo um pouco da sua grande experiência nos açudes do Nordeste. Tendo eu, nesta data, o privilégio de poder trabalhar ao seu lado.

Ao amigo e prof. João Viegas, sempre paciente, didático e prestativo. cuja paixão pela modelagem contagia seus colegas e seus alunos.

Dentre os meus grandes mestres, sou grato ao Prof. Eduardo Lanna, meu orientador de mestrado, que me proporcionou estar mais próximo do Nordeste mesmo que morando na capital gaúcha. Sempre com soluções brilhantes para os nossos problemas mais difíceis e sem solução, e sempre com um bom humor incentivador, o prof. Lanna transcende a sua própria pessoa através dos seus

alunos que levam consigo os preceitos de dividir conhecimento, inovar, ousar e aceitar desafios. Obrigado por ter me proposto este desafio, acreditado que eu fosse capaz de vencê-lo e ter sido paciente com a evolução do meu conhecimento técnico.

À COHIDRO na pessoa do Dr. Wellington Coimbra Lôu e à SERHI-AL através dos colegas Gustavo Carvalho e Eduardo Normande, por terem me cedido as informações para este trabalho.

À CAPES por ter viabilizado os meus estudos desde a graduação através do programa PET até a conclusão do mestrado.

À CONCREMAT, nas pessoas dos Srs. José de Ribamar Sousa e Henrique Lima, sempre incentivando o engrandecimento profissional e o desenvolvimento da capacidade crítica do nosso grupo. Agradeço o incentivo a conclusão deste trabalho e ao início de outros desafios.

Aos professores do IPH, nas pessoas do Prof. Joel Goldenfun, Edith Beatriz, Robin Clarke, David Marques, André Silveira, Carlos Tucci, Rogério Maestri e Adolfo Villanueva.

A Dona Ligia e Nadir Solari sempre colocando em ordem a nossa vida acadêmica. As nossas grandes apoiadoras da biblioteca, Bete, Sandra e Juçaras.

Aos amigos e colegas da Pós, sempre prontos para discutir debater e engrandecer: Joana, Vlad, Fábio, Adriano, Renato, Diego, Conceição, Eduardo, Costi, Sefione, Marllus, Omar, Laudizio, Giulliano, Roberto Kirtchen, Márcio, Ruth, Daniel, Sávio, todos os Paulos, Manica, Ane, Aquiles, Emília, Jaime, Sidnei, Marcus Cruz, Bia, Luciana, Jean, Karine, Graziela, Arima, Valter e todos os outros. Tenho certeza que ainda os verei brilhando.

Aos amigos alagoanos que me receberam em POA, nas pessoas das excelentíssimas senhoras: Karina, Manuela e Cris. Não esquecendo das amigas Geilma e Adriana, e dos noviços Nilson e Laura.

Aos amigos externos nas pessoas dos amigos Cajú, Angélica, Marilu, Franci, Vanessa, Geruza e Cia, Felipe, Fabíola, Miguel, Sandra, Marino, Marly e a todos da Família Carrillo.

Aos amigos da Cauduro, parceiros de todos os momentos, meus companheiros, com quem divido as amarguras e felicidades da vida. Não arrisco tentar escrever em tão pouco espaço o que todos sabem que há de grandioso entre nós. Faço questão de lembrar de todos que por lá passaram, immortalizando seus nomes informais: Fruta pão, Bigode, Gilliovo, Rolinha, Dudu e Rufa.

À turma do racha de domingo do parque redenção que me proporcionou várias colunas esportivas.

A todos aqueles que agora esqueço e que depois certamente me lembrarei e consequentemente os farão inesquecíveis.

Mar Português

Fernado Pessoa (1888-1935)

*Ó mar salgado, quanto do teu sal
São lágrimas de Portugal!
Por te cruzarmos, quantas mães choraram,
Quantos filhos em vão rezaram!
Quantas noivas ficaram por casar
Para que fosses nosso, ó mar!*

*Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.*

DA MINHA ALDEIA

*Da minha aldeia vejo quando da terra se pode ver no Universo....
Por isso a minha aldeia é grande como outra qualquer
Porque eu sou do tamanho do que vejo
E não do tamanho da minha altura...*

*Nas cidades a vida é mais pequena
Que aqui na minha casa no cimo deste outeiro.
Na cidade as grandes casas fecham a vista a chave,
Escondem o horizonte, empurram nosso olhar para longe de todo o céu,
Tornam-nos pequenos porque nos tiram o que os nossos olhos nos podem dar,
E tornam-nos pobres porque a única riqueza é ver.*

Alberto Caeiro, em "O Guardador
de Rebanhos".

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS -----	1
1.1 OBJETIVOS -----	3
1.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO -----	5
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -----	6
2.1 UM BREVE HISTÓRICO DAS SECAS NO NORDESTE -----	7
2.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS -----	13
2.2.1 OUTORGA: ASPECTOS CONCEITUAIS E ESTADO DA ARTE -----	17
2.3 OUTORGA & SEMI-ÁRIDO I: PECULIARIDADES E OBSTÁCULOS LEGAIS-----	23
2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO -----	23
2.3.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS-----	26
2.4 OUTORGA & SEMI-ÁRIDO II: A OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E OS CRITÉRIOS DE OUTORGA -----	32
2.4.1 TIPOS DE RESERVATÓRIOS-----	32
2.4.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA OFERTA -----	35
2.4.3 ANÁLISE DE SISTEMAS, POLÍTICAS DE OPERAÇÃO E A CONTRIBUIÇÃO ENGENHARIA DE SISTEMAS -----	37
2.4.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO -----	40
2.4.5 PRÁTICA DA OUTORGA NO SEMI-ÁRIDO -----	44
3 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA: A BACIA DO RIO MOXOTÓ -----	50
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA -----	50
3.2 DIVISÃO MUNICIPAL -----	52
3.3 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA BACIA-----	53

3.4 HIDROLOGIA E CLIMA	55
3.5 HIDROGEOLOGIA	58
3.6 INFRA-ESTRUTURA HIDRÁULICA	59
3.6.1 ACUMULAÇÃO	59
3.6.2 ADUTORAS E POÇOS	60
3.7 TOPOLOGIA	60
3.8 SANEAMENTO BÁSICO	61
3.8.1 DIAGNÓSTICO	61
3.8.2 TENDÊNCIAS	62
3.9 IRRIGAÇÃO	65
3.9.1 DIAGNÓSTICO	65
3.9.2 TENDÊNCIAS	65
3.10 PECUÁRIA	66
3.10.1 DIAGNÓSTICO	66
3.10.2 TENDÊNCIAS	67
<u>4 - METODOLOGIA DE ANÁLISE E SIMULAÇÃO: CONCEBENDO UM SISTEMA DE APOIO À OUTORGA EM RESERVATÓRIOS.</u>	<u>68</u>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO	68
4.2 SIMULAÇÃO DA OUTORGA	71
4.2.1 VOLUME ANUAL RESERVADO À DEMANDA PRIORITÁRIA	72
4.2.2 VOLUME ANUAL RESERVADO À DEMANDA SECUNDÁRIA	73
4.2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PERDAS E EFICIÊNCIA NA QUANTIFICAÇÃO DAS DEMANDAS ANUAIS	76
4.3 POLÍTICAS DE OPERAÇÃO	77
4.3.1 POLÍTICA PADRÃO COM PLANEJAMENTO ANUAL	78
4.3.2 POLÍTICA DE OPERAÇÃO BASEADA EM VOLUMES DE ALERTA	91
4.4 OPERAÇÃO DOS PROJETOS DE IRRIGAÇÃO	97
4.5 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS IRRIGADAS	102
4.6 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS PARA O ATENDIMENTO DA DEMANDA PRIMÁRIA	105
4.7 AVALIAÇÃO BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DO ATENDIMENTO DA DEMANDA AGRÍCOLA	109
4.7.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO (SERVIÇO DA DÍVIDA)	109
4.7.2 CUSTO DE EXPLORAÇÃO (CUSTEIO)	110
4.7.3 CUSTO DE OPERAÇÃO ADMINISTRAÇÃO MANUTENÇÃO (OAM)	111

4.7.4 BENEFÍCIO BRUTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA-----	111
4.7.5 BENEFÍCIO LÍQUIDO DA PRODUÇÃO-----	112
4.6 SUBSÍDIOS PARA A AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA POLÍTICA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA -----	112
4.6.1 DISTRIBUIÇÃO DAS OUTORGAS -----	112
4.6.2 ÁREA IRRIGADA-----	112
4.6.3 NÍVEL DE ATENDIMENTO POR FAIXA DE ATENDIMENTO NAS CLASSE DE DEMANDA -----	113
4.6.4 DÉFICITS HÍDRICOS POR FAIXA DE ATENDIMENTO PARA OS CULTIVOS CONSIDERANDO O UNIVERSO AMOSTRAL REDUZIDO -----	114
4.6.5 ÁREA, PRODUTIVIDADE, CUSTEIO E RECEITAS BRUTAS POR CULTIVO -----	115
4.6.6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA AGRÍCOLA TOTAL -----	116
4.6.7 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS PARA SUPRIMENTO DA DEMANDA PRIMÁRIA -----	118
4.6.8 CONFIABILIDADE ANUAL NAS CLASSES DE DEMANDA -----	119
 5 - APLICAÇÃO E RESULTADOS -----	120
 5.1 INFORMAÇÕES PRELIMINARES-----	121
5.1.1 DEMANDA PRIMÁRIA -----	121
5.1.2 DEMANDA SECUNDÁRIA -----	123
5.1.3 ESTIMATIVA DE CUSTOS E RECEITAS-----	126
5.2 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES REGULARIZADAS PELOS RESERVATÓRIOS -----	127
5.2.1 RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ -----	128
5.3 SIMULAÇÃO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA NO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ-----	134
5.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE A PO PADRÃO E A PO VOL. DE ALERTA SUPRINDO 50% EM REGIME DE RACIONAMENTO -----	135
 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS-----	140
 6.1 BENEFÍCIOS E CUSTOS INCREMENTAIS DA OFERTA DE ÁGUA PELA PO PADRÃO -----	140
6.2 A POLÍTICA DE OPERAÇÃO PADRÃO E O “RECOLHIMENTO COMPULSÓRIO” -----	143
6.3 ANÁLISE DOS CUSTOS E BENEFÍCIOS DA PO VOLUMES DE ALERTA -----	144
6.4 PO VOLUMES DE ALERTA E O “RECOLHIMENTO COMPULSÓRIO” -----	146
6.5 COTEJANDO O SUPRIMENTO EM REGIME DE RACIONAMENTO -----	149
6.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CONTINGENTE POPULACIONAL ABASTECIDO PELO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ SOBRE OS BENEFÍCIOS DA OPERAÇÃO.-----	149

6.7 COMPARAÇÃO ENTRE AS CONFIABILIDADES MENSAIS E ANUAIS -----	151
<u>7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES-----</u>	<u>154</u>
7.1 OPERAR O SISTEMA COM MAIOR OU MENOR CONFIABILIDADE? -----	154
7.2 AS PERDAS POR EVAPORAÇÃO JUSTIFICAM A OFERTA DE ÁGUA COM MENOR CONFIABILIDADE? -----	155
7.3 A ANÁLISE ECONÔMICA, EXCLUSIVAMENTE, DO PONTO DE VISTA DO SETOR AGRÍCOLA É SUFICIENTE PARA SUBSIDIAR DIRETRIZES OPERACIONAIS ?-----	157
7.4 QUANDO A CONFIABILIDADE (GARANTIA) DA VAZÃO OFERTADA SIGNIFICA SUCESSO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA?-----	158
7.5 OFERTAR QUOTAS ASSOCIADAS A CONFIABILIDADES DIFERENCIADAS É UMA BOA PRÁTICA? -----	158
7.6 QUAL A MELHOR POLÍTICA DE OPERAÇÃO: PADRÃO OU VOLUMES DE ALERTA ?-----	159
7.7 RECOMENDAÇÕES-----	160
7.7.1 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS-----	160
7.7.2 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES AGRÍCOLAS E PEDOLÓGICAS -----	161
7.7.3 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES SOBRE AS DEMANDAS -----	162
7.7.4 ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS -----	162
7.7.5 TRANSFERÊNCIA DE INFORMAÇÕES PARA BACIAS SEMELHANTES -----	163
7.7.6 A GESTÃO PARTICIPATIVA E A OPERAÇÃO DE AÇUDES -----	163
<u>8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----</u>	<u>165</u>
<u>A – ANEXO -----</u>	<u>171</u>

LISTA DE VARIÁVEIS

$Area_{irr}$	-Área máxima irrigada diante do volume disponível para outorga.
$Bbruto(i)$	- Benefício bruto da produção agrícola.
$BL_médio$	- Benefício líquido médio anual.
$BLeq(i)$	- Anuidade equivalente do Benefício Líquido.
CC	- Capacidade de Campo.
$CO_{falhas}(t)$	- Custo operacional de falhas no mês t.
$CO_{falhas}(i)$	- Custo operacional de falhas no ano i.
CO_{falha_eq}	- Anuidade equivalente dos custos operacionais em regime de falha.
\overline{CO}_{rac}	- Custo operacional unitário em regime de racionamento.
\overline{CO}_{reg}	- Custo operacional unitário em regime de suprimento regular.
CI	- Custo de implantação do projeto por unidade de área.
$custeio(i)$	- Valor anual relativo ao custeio no ano i.
$CE(j)$	- Custo unitário anual de exploração.
$Dívida(i)$	- Anuidade equivalente ao investimento nos anos em que se deseja pagar o investimento.
$D_{percap}(t)$	- Demanda de consumo humano per capita no mês t.
$D_{pri,anual}$	- Demanda anual de uso prioritário.
$D_{percap,min}(t)$	- Demanda mínima admissível a ser suprida em regime de racionamento.
$D_{percap}(t)$	- Demanda de consumo humano per capita no mês t.
$D_{sec,anual}$	- Demanda anual cujo nível de prioridade é secundária.
$d(t, j)$	- Profundidade das raízes no mês t.
$E[t, t + 1]$	- Evaporação líquida média mensal da superfície livre do reservatório.
$efic1$	-Eficiência no processo de adução, tratamento e distribuição de água para abastecimento humano.
$efic2$	-Eficiência global de irrigação.
$ETm(t, j)$	-Evapotranspiração máxima do cultivo j, no mês t.
$ETr(t, j)$	- Evaporação real do cultivo j, no mês t.
F	- Subconjunto dos estados insatisfatórios do sistema (estado de falha).
$frac$	- Fração de racionamento para a PO volumes de Alerta.
$fc1$	- Fator de Conversão de Unidades 1.
fr	- Fator de redução de demandas aplicado ao cultivo temporário.
$flag$	- Variável indicadora de falhas para a PO volumes de Alerta.
g	- Garantia ou Confiabilidade mensal da PO associada à série simulada.

$ganual$	- Garantia financeira anual da atividade agrícola.
$Investimento$	- Valor necessário à implantação do projeto.
j	- Índice de cultivo.
$k_c(j)$	- Coeficiente de cultivo da cultura j .
k_y	- Coeficiente de resposta ao déficit.
$L_{irr}(j, t^*)$	- Lâmina de irrigação aplicada na cultura j no dia t^* .
nc	- Número de cultivos.
nt	- Total de intervalos mensais de simulação.
$nhab$	- Número de habitantes.
$nanos$	- Número de anos em que se deseja amortizar a dívida.
$N(z)$	- Índice dos meses em que se cultiva uma cultura j .
$OAM(i)$	- Custo de operação, administração e manutenção.
$Pef(t^*)$	- Precipitação efetiva sobre o perímetro irrigado no dia t^* .
$perc(j)$	- Percentual da área total ocupada pelo cultivo j .
p	- Fração de água disponível no solo.
PM	- Ponto de Murcha Permanente.
$Q_{disp,uso}$	- Estimativa do volume disponível para uso no início do ano durante a fase de planejamento anual de acordo com a PO padrão.
Q_{falha}	- Volume operado no caso da disponibilidade ser inferior ao outorgado.
$Q_{disp,sec}$	- Volume anual disponível a usos secundários.
$Q_{out,anual}$	- Volume anual disponibilizado para Outorga.
$Q1_{falha}$	- Parcela do volume anual disponibilizado em caso de falha que é alocado à demanda de uso secundário.
$Q2_{falha}$	- Parcela do volume anual disponibilizado em caso de falha que é alocado à demanda de uso prioritário
$Q2_{temp,anual}$	- Parcela do volume de falha alocado ao uso secundário que é destinado ao cultivo temporário.
$Q2_{perm,anual}$	- Parcela do volume de falha alocado ao uso secundário que é destinado ao suprimento do cultivo permanente.
RBC	- Relação benefício custo.
R_v	- Confiabilidade Volumétrica.
$S(t)$	- Armazenamento médio mensal do reservatório no mês t .
$S_{dezembro}$	- Armazenamento em dezembro a ser considerado na estimativa do volume disponível no início de cada ano para uso no planejamento anual da operação pela regra padrão.
S_{min}	- Armazenamento mínimo operacional do reservatório.
S	- Subconjunto dos estados satisfatórios do sistema.

t	- Intervalo de tempo mensal.
t^*	- Intervalo de tempo diário.
$Tr(t, j)$	- Turno de rega para a cultura j no mês t .
$U(t^*)$	- Umidade do solo no dia t^*
$V(t)$	- Vertimento do reservatório no mês t .
$Valorprod(j)$	- Valor de mercado da produção no ano j .
$V_{irr}(t, j)$	- Volume disponível para o cultivo j no intervalo mensal t .
$V_{evaporado}$	- Total evaporado durante a estimativa do volume disponível no início do ano.
$V_{esc}(j, t^*)$	- Lâmina escoada na parcela da cultura j no dia t^* .
$VPBL$	- Valor presente dos benefícios líquidos.
$VPCOfalha$	- Valor presente do custo operacional de falhas.
X_t	- Variável indicativa do estado do sistema.
Y_r	- Produtividade real do cultivo.
Y_m	- Produtividade máxima do cultivo.
z	- Índice dos meses em que se cultiva uma cultura j .
$\alpha(t)$	- Coeficiente de distribuição intra-anual da vazão ofertada.
β	- Confiabilidade de Hashimoto.
γ	- Resiliência.
ν	- Vulnerabilidade.

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 3.1 - Localização geográfica da bacia do rio Moxotó.
- Figura 3.2 - Delimitação do Polígono das Secas.
- Figura 3.3 - Porções municipais limitrófes à bacia do rio Moxotó.
- Figura 3.4 - Variação anual dos totais precipitados e deflúvios.
- Figura 3.5 - Variação intra-anual da precipitação e ETP.
- Figura 3.6 - Diagrama unifilar da bacia do rio Moxotó.
- Figura 4.1 - Funcionamento do Modelo.
- Figura 4.2 - Representação das prioridades durante o atendimento às demandas
- Figura 4.3 - Ilustração da distribuição de água disponível no sistema radicular.
- Figura 4.4 - Ilustração da evaporação real em função das condições de umidade no solo e da lâmina disponível no turno de rega.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 - Municípios Pertencentes à bacia do rio Moxotó.
- Tabela 3.2 - Acumulação na bacia do rio Moxotó.
- Tabela 3.3 - Censo IBGE 1996 para os municípios da Bacia do Rio Moxotó.
- Tabela 3.4 - Previsão populacional para os municípios que integram a bacia do rio Moxotó
- Tabela 3.5 - Previsão populacional das porções municipais dentro dos limites das bacia
- Tabela 3.6 - Populações urbana e rural listadas por pontos característicos (PCs) no cenário de longo prazo 2017.
- Tabela 3.7 - Matriz de contribuição populacional difusa.
- Tabela 3.8 - Distribuição dos perímetros irrigados nos pontos característicos (PCs).
- Tabela 3.10 - Distribuição de BEDAs por porção municipal dentro da bacia.
- Tabela 3.11 - Distribuição de BEDAS por PC.
- Tabela 4.1 - Custos de Fontes Alternativas de Água no Nordeste Brasileiro.
- Tabela 4.2 - Distribuição dos níveis de atendimento.
- Tabela 4.3 - Listagem por cultivo.
- Tabela 4.4 - Listagem da análise econômica da agricultura.
- Tabela 5.1 - Consumos per capita adotados na simulação.
- Tabela 5.2 - PCs atendidos pelo reservatório Poço da Cruz.
- Tabela 5.3 - Calendário agrícola.
- Tabela 5.4 - Coeficientes de cultivo K_c para as culturas do plano de cultivo.
- Tabela 5.5 - Coeficientes de resposta ao déficit K_y .
- Tabela 5.6 - Preços de mercado, produtividade máxima (Y_m) e percentual de ocupação do cultivo (Modificado de SERHI-AL, 1998).
- Tabela 5.7 - Custos de investimento iniciais para implantação e reabilitação (Modificado de SERHI-AL, 1998).
- Tabela 5.8 - Custos de exploração (Modificado de SERHI-AL, 1998).
- Tabela 5.9 - Vazões regularizadas operando-se segundo a PO Padrão no açude Poço da Cruz.
- Tabela 5.10 - Vazões mínimas regularizadas operando-se segundo a PO volumes de alerta no açude Poço da Cruz, considerando a vazão de racionamento igual a 50% da vazão de referência.

- Tabela 5.11 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q80, considerando a vazão de racinamento igual a 50% da vazão de referência.
- Tabela 5.12 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q90, considerando a vazão de racinamento igual a 50% da vazão de referência.
- Tabela 5.13 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q95, considerando a vazão de racinamento igual a 50% da vazão de referência.
- Tabela 5.14 - Vazões regularizadas máximas operando-se segundo a PO de volumes de alerta no açude Poço da Cruz – considerando a vazão de racionamento igual a 30% da vazão de referência.
- Tabela 5.15 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q80 para a vazão de racionamento igual a 30% da vazão de referência.
- Tabela 5.16 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q90 para a vazão de racionamento igual a 30% da vazão de referência.
- Tabela 5.17 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q95 para a vazão de racionamento igual a 30% da vazão de referência.
- Tabela 5.18 - Vazões de referência a serem simuladas no reservatório Poço da Cruz.
- Tabela 5.19 - Resultados da simulação Q95
- Tabela 5.20 - Resultado da simulação 90% da Q95
- Tabela 5.21 - Resultado da simulação 80% da Q95
- Tabela 5.22 - Resultado da simulação 100% da Q90
- Tabela 5.23 - Resultado da simulação 90% da Q90
- Tabela 5.24 - Resultado da simulação 80% da Q90
- Tabela 5.25 - Resultado da simulação 100% da Q80
- Tabela 5.26 - Resultado da simulação 90% da Q80
- Tabela 5.27 - Resultado da simulação 80% da Q80
- Tabela 6.1 - Anuidades Equivalentes dos Benefícios da Oferta de Água pela PO padrão.
- Tabela 6.2 - Análise dos benefícios líquidos em função da oferta e total evaporado
- Tabela 6.3 - Resumo dos Benefícios decorrentes da PO Volume de Alerta
- Tabela 6.4 - Análise dos benefícios em função da oferta e do total evaporado, PO Volume de Alerta suprimindo 50% no regime de racionamento.
- Tabela 6.5 - Análise dos benefícios em função da oferta e do total evaporado, PO Volume de Alerta suprimindo 30% no regime de racionamento.
- Tabela 6.6 - Resultados da simulação Q₉₅ (Suprimento em regime de racionamento corresponde a 50% do período regular)
- Tabela 6.7 - Resultados da simulação Q₉₀ (Suprimento em regime de racionamento

corresponde a 30% do período regular)

- Tabela 6.8 - Comparação entre as confiabilidades (g) Anuais e Mensais decorrentes das PO Padrão e Volume de Alerta (50% de Suprimento em regime de racionamento).
- Tabela A.1 – Registros pluviométricos (mm) utilizados na simulação para a bacia do rio Moxotó.
- Tabela A.2 -Série fluviométrica (mm) afluyente ao reservatório Poço da Cruz (Francisco Sabóia).
- Tabela A.3 - Evaporação média mensal na bacia do rio Moxotó.
- Tabela A.4 – Curva área Volume do reservatório Poço da Cruz (Francisco Sabóia).
- Tabela A.5 – Arquivo de saída do modelo, quadro de atendimento às demandas
- Tabela A.6 – Arquivo de saída do modelo: estatísticas de falhas no atendimento das demandas primária e secundária.
- Tabela A.7 – Arquivo de saída do modelo: Estatísticas de déficits hídricos para o cultivo do milho.
- Tabela A.8 – Arquivo de saída do modelo: Estatísticas de déficits hídricos para o cultivo de citrus.
- Tabela A.9 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para o cultivo do milho.
- Tabela A.10 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para o cultivo do feijão.
- Tabela A.11 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para todos os cultivos.

RESUMO

Os critérios de outorga adotados nas legislações dos estados inseridos no semi-árido - a fim de regulamentar a vazão de referência a partir de açudes - tem se baseado simplesmente em volumes (vazões) associados a níveis de confiabilidade de atendimento à demanda, não estabelecendo políticas operacionais que tornem seus usos menos vulneráveis às falhas prolongadas e concentradas que são comuns à região.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar as vazões de referência segundo as políticas de operação (PO) padrão e volumes de alerta. A primeira é uma operação menos arrojada se comparada com a segunda. Isto decorre do fato que na primeira não há maiores preocupações com a vulnerabilidade nos períodos de falha. Já a política de operação baseada em volumes de alerta assegura que na pior situação um suprimento mínimo será realizado.

Foi elaborado um modelo de simulação com sub-tarefas de operação de reservatório, operação de projetos hidroagrícolas, operação de atendimento às demandas, avaliação econômica dos déficits e fornecimento de indicadores para subsidiar as avaliações.

Dentre os indicadores fornecidos pelo modelo destacam-se: *confiabilidade mensal da demanda primária, confiabilidade mensal da demanda secundária, confiabilidade anual do sucesso da atividade agrícola, anuidade equivalente dos custos de falha na demanda primária, anuidade equivalente dos benefícios líquidos da agricultura, anuidade líquida equivalente e total evaporado.*

Diante da análise de tais indicadores chegou-se à conclusão de que a PO volumes de alerta apresentou resultados superiores à operação padrão. O fato de assegurar o suprimento durante os longos e concentrados períodos de falha gera uma economia que não é superada pelo incremento de água oferecido pela PO padrão. Constatou-se também que a PO padrão coloca todas as categorias de demanda sob o mesmo patamar de vulnerabilidade, enquanto que na PO volumes de alerta as cotas são oferecidas com garantias diferenciadas, sendo mais atraentes do ponto de vista do gerenciamento.

ABSTRACT

Water permits criteria adopted by states which are inserted in semi-arid Northeastern of Brazil – in the aim to regulate reference releases from reservoirs - have been based only on reliability performance index, not establishing a reservoir operation policy able to decrease water uses vulnerability under long range failure, so often in such region.

The aim of this work is to evaluate reference releases criteria following *standard reservoir operation policy* and *Alert level storage policy*. The first *operation policy (OP)* is more daring than the second OP. This comes from the fact that in the former there is less concern about vulnerability under failure period. On the other side *Alert level storage policy* ensures a minimum water supply level.

For this purpose, a simulation model with sub-tasks such as reservoir operation, irrigation operation plants, water supply economic evaluation and output table of performance indices was developed.

Among all indices evaluated by the model, the most important are: monthly reliability of priority uses, monthly reliability of non-priority uses, annual successful reliability of farm activity, equivalent installment both for failure costs in priority uses and farm net benefits and total height evaporation loss.

The results of application of the simulation model, lead to the conclusion that *Alert level storage OP* leads to better results than *Standard OP*. The ensurance of a minimum water supply level under long range droughts generates a benefit not overwhelmed by the incremental water released under *Standard PO*.

It was also seen that *Standard PO* submit any kind of water use to the same vulnerability level, while *Alert Storage Level PO* allows allocation of water releases under different warranty levels, being most attractive by management activity.

1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O regime fluvial de intermitência dos rios do semi-árido, bem como suas condições climáticas severas, exigiram que uma infra-estrutura de acumulação de água fosse criada para transpor disponibilidades dos períodos úmidos para os períodos secos.

Diversas obras de acumulação (açudes) foram construídas com as seguintes finalidades: (a) regularizar volumes dentro do ano (reservatórios intra-anuais) e (b) por vários anos seguidos (reservatórios interanuais). Estes últimos são capazes de atravessar grandes períodos secos com reservas dos anos úmidos, sendo sua capacidade superior ao deflúvio médio anual.

Os reservatórios interanuais são de fundamental importância para as bacias inseridas no semi-árido, mesmo sabendo-se que em bacias com grande potencial de acumulação e regularização artificial a distribuição de água não é assegurada diante das limitações tecnológicas da adução, levando à existência de regiões sem vazios hídricos. Não desprezando o papel dos pequenos açudes, somente os grandes são capazes de perenizar os vales dos rios intermitentes assegurando a manutenção da vida no seu entorno.

Sendo essas reservas quase sempre as únicas alternativas de suprimento confiável, o gerenciamento adequado dos recursos dessas bacias passa por questões de operação de sistemas, necessitando de políticas de operação onde sejam estabelecidas não somente a quantidade outorgada associada a níveis de falha, mas também prioridades de atendimento e regras de operação simplificadas, que tornem as demandas menos vulneráveis às falhas.

A incidência de falhas no atendimento à demanda provoca prejuízos em todos os pontos da cadeia produtiva da água, principalmente quando as mesmas são prolongadas e a base produtiva da região é sustentada no setor agropastoril.

Os decretos estaduais que regulamentam a outorga pelo uso da água nos diversos Estados da Federação, em sua maioria, estabelecem vazões de referência às outorgas concedidas aos usuários. Tais referências são simplesmente associadas a níveis de atendimento mensal, conhecidos no jargão hidrológico como *garantia*.

No tratamento dado à outorga a partir de reservatórios, nada é abordado sobre as políticas de operação dos sistemas, somente são explicitadas as vazões de referência. Para a mesma referência de vazão existem operações mais arrojadas e mais conservadoras. As primeiras, tem a propriedade de ofertar um maior volume de água e deixar o sistema vulnerável durante as falhas. Já as operações mais conservadoras, ofertam um menor volume de água, no entanto, nos períodos críticos, permitem que sejam reprimidos os usos menos nobres conseguindo atender a um percentual da vazão operada.

Raros estudos abordam os impactos econômicos da oferta de água segundo as políticas de operação conservadoras e arrojadas. Mesmo estabelecendo-se o *modus operandi* segundo o qual a vazão de referência será oferecida, desconhecem-se os impactos da oferta incremental de água sobre os usuários. Correntes se dividem em opiniões baseadas em argumentos factuais incapazes de por si só, tirar uma conclusão a respeito da política de operação adequada as peculiaridades do semi-árido.

Se por um lado as operações arrojadas permitiam uma maior oferta, poderia se esperar que estes benefícios gerados nos períodos de atendimento normal fossem suficientes para cobrir os prejuízos durante o período de seca. Do outro lado, as operações conservadoras seriam capazes de manter - nas piores situações - níveis de atendimento que mitigariam os prejuízos decorrente da incidência de falhas sobre o atendimento à demanda, isto às custas de menor oferta de água e maiores perdas evaporativas.

O presente trabalho vem avaliar os benefícios econômicos dos critérios de outorga a partir de reservatórios adotados nas legislações estaduais e as políticas de operação utilizadas para determinar estas vazões de referência e operar o sistema.

1.1 Objetivos

Supõe-se que as diversas vazões de referência regulamentadas nos decretos estaduais, quando operadas segundo diversas regras de operação, provocam impactos diferenciados sobre as demandas instaladas sobre cursos d'água perenizados por reservatórios.

Propõe-se revisar metodologias já consagradas referentes a: (1) operação de reservatórios; (2) avaliação econômica de deficits hídricos sobre agricultura e (3) valoração econômica de água para consumo humano.

Selecionados os métodos acima referidos, propõe-se reuni-los em um modelo computacional capaz de fornecer indicadores que permitam:

- a) Avaliar sob o ponto de vista econômico: as vazões de referências regulamentadas nos decretos de alguns Estados do Nordeste;
- b) Avaliar a correlação entre as garantias mensais normalmente utilizadas para se determinar a vazão de referência (80%, 90%, 95%) e o sucesso da atividade agrícola instalada;
- c) Avaliar os custos do incremento da oferta entre demandas de mesma categoria e entre demandas de categorias diferenciadas, avaliando: (1) o momento em que a produção agrícola começa a decrescer em função do aumento de falhas sobre ela própria e (2) o momento em que o incremento da oferta para a agricultura impacta o abastecimento doméstico;

d) Dar um parecer sobre a melhor política de operação a que o açude pode ser submetido de modo a aumentar os benefícios decorrentes desta oferta;

e) Basear-se nos resultados da aplicação para subsidiar decisões em bacias semelhantes.

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, enumeram-se:

a) A concepção de um modelo de apoio à outorga a partir de açudes, constituindo-se dos seguintes módulos básicos: (1) regularização de vazões; (2) operação de reservatórios; (3) simulação de atendimento às demandas; (4) modelagem hidroagrícola; (5) estimativa de benefícios econômicos; (5) fornecimento de indicadores hidrológicos e econômicos;

b) Testar a metodologia proposta através da aplicação do modelo à uma bacia hidrográfica inserida no polígono das secas, sendo escolhida a bacia do rio Moxotó;

c) Comparar a PO padrão com a PO Volumes de Alerta para o caso da bacia do rio Moxotó.

1.2 Contribuições do Trabalho

De um modo geral, este trabalho buscará dentro das limitações da metodologia adotada, responder a questionamentos tais como:

- a) Deve-se operar o sistema com maior ou menor garantia de suprimento ?
- b) A análise exclusivamente do ponto de vista de uma categoria de usuários (demanda agrícola) é suficiente para subsidiar diretrizes operacionais ?
- c) Quando a confiabilidade (garantia) da vazão outorgada significa sucesso da atividade agrícola ?
- d) Qual a melhor política operacional para um reservatório, a padrão ou a volumes de alerta ?

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante a fase de estudos metodológicos imprescindíveis para que os objetivos deste trabalho fossem atingidos, surgiu a necessidade de resgatar as iniciativas tomadas ao longo de mais de 150 anos de combate às secas.

A necessidade de informar que a seca é um problema socioeconômico, que passa por questões de distribuição de renda, desigualdade social, reforma agrária, políticas adequadas de irrigação, crédito agrícola, abastecimento, desenvolvimento regional e outras, é essencial a qualquer recomendação que se faça. Isto porque não é conveniente passar a idéia de que iniciativas isoladas no âmbito do gerenciamento de recursos hídricos são capazes de eliminar esta mazela do semi-árido brasileiro.

Porém, acredita-se que o bom gerenciamento dos estoques de água de reservatórios e gestão da demanda, vem mitigar os efeitos das adversidades climáticas do Nordeste sobre a sua população.

Outro motivo de resgatar as iniciativas de combate às secas ao longo destes últimos 150 anos, é o de divulgar, mesmo dentro do nordeste, que às nossas instituições e aos nossos técnicos não faltaram competência e criatividade para lidar com o problema.

Resgatar o passado com o olhar crítico é necessário. Condenar as iniciativas que sob as óticas do acontecido e do conhecimento atual nos parecem ter sido errôneas, não é uma boa prática.

Mesmo correndo o risco de injustiçar instituições e pessoas que dedicaram suas ações ao desenvolvimento do nordeste, seja pelo esquecimento, seja por reproduzir uma opinião não consensual em virtude da exígua revisão utilizada e da vasta literatura disponível, decidiu-se tentar

resgatar as iniciativas passadas e contemporâneas a fim de propiciar uma inserção real deste trabalho no gerenciamento de águas do semi-árido.

“Cada um dos nossos pensamentos não é mais do que um instante de nossa vida. De que serviria a vida se não fosse para corrigir os erros, vencer nossos preconceitos e, a cada dia, alargar nosso coração e nossos pensamentos? Nós utilizamos cada dia para alcançar um pouco mais de verdade. Quando chegarmos ao fim, vocês dirão então o que é que valeu nossa pena.” (grifamos)

Romain Rolland – Jean Christophe

2.1 Um Breve histórico das Secas no Nordeste

A palavra “seca” tão familiar ao nordestino, encontra diversos significados causados por uma diversidade de pontos de vista daqueles que se dedicam ao assunto. De maneira geral, a seca está relacionada à escassez de um recurso por parte de uma demanda. FRICK (1990) diz ser difícil encontrar uma definição universal para seca e que muitos autores têm tentado definir o que é seca sob diversos pontos de vista. Quando o recurso é a água, podemos classificá-la como *seca agrícola* quando há insuficiência de umidade no solo a fim de suprir as necessidades hídricas dos cultivos, como *seca climatológica* quando diz respeito a escassez do total pluviométrico e da sua distribuição no tempo e no espaço, *seca hidrológica* quando diz respeito aos baixos armazenamentos das reservas hídricas nos açudes ou nos rios. Para Molinas e Lima (1999), a ocorrência de uma seca climatológica implica numa seca agrícola mas a recíproca pode não se concretizar.

Para COELHO (1985), o nordestino associa a seca ao atraso e à má distribuição das chuvas - que se dá de forma bastante irregular no ano e no espaço. Quando estas distribuições afetam as atividades agrícolas

(principalmente de sequeiro) diz-se que houve seca. Ainda assim, a seca pode manifestar-se com várias intensidades, tanto dentro do mesmo ano como em anos diferentes, de forma que alguns meses podem ser completamente secos ou haver alguma queda pluviométrica, sem no entanto atingir a média normal. Este fenômeno ganhou o cunho popular de “seca verde” por se tratar de uma chuva que é suficiente para enfolhar a caatinga e acumular um pouco de água nos açudes, sem no entanto servir a lavoura – (que apresenta um ciclo mais longo e necessita portanto de mais pluviosidade distribuída).

Segundo GARRIDO (1999) o marco da luta contra as secas se deu no ano de 1845, quando houve pela primeira vez preocupação nacional em combater o problema. Após esta data, a seca somente viria assolar o nordeste 32 anos mais tarde, no ano de 1877. Esse longo intervalo contribuiu para que a população tivesse crescido significativamente sem infra-estrutura adequada e portanto vulnerável ao fenômeno, o que provocou a morte de cerca de 500.000 pessoas.

Na opinião de GARRIDO (op. cit.) o combate às secas no Brasil pode ser dividido em seis fases. A *primeira fase* de 1909-1945 teve início com a criação da IOCS em 1909 (Inspetoria de Obras Contra a seca), que mais tarde (1919) viera a ser transformada em IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra a seca) e posteriormente (em 1945) se transformaria em Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. Essa fase teve como principal realização obras de engenharia e infra-estrutura, o que a levou a ser conhecida como fase das obras de engenharia e soluções hidráulicas.

Apesar da fase de 1909-1945 ter sido famosa apenas pelo seu feito nas obras hidráulicas, houve também linhas de atuação da Inspetoria que merecem ser citadas. Segundo o DNOCS (2001) o primeiro Inspetor Federal, o engenheiro Miguel Arrojado Lisboa ao assumir a IOCS trouxe ao Brasil técnicos estrangeiros para realizar um diagnóstico da região. Nesse período

vieram ao Nordeste brasileiro geólogos e botânicos americanos que produziram estudos que permitiriam traçar as intervenções da inspetoria na problemática nordestina.

Os altos custos dos trabalhos de natureza científica incentivados por Arrojado, e da priorização das obras para fins eleitoreiros por parte do Governo, fizeram com que ele fosse exonerado do cargo de superintendente. Mais tarde voltaria ao cargo sem no entanto, reestabelecer a prioridade aos trabalhos de cunho científico, pois a tônica de construir obras já havia se instalado.

Fora do primeiro Inspetor, também, as provisões para a coleta sistemática de dados fluvio-pluviométricos. A partir de 1911 postos pluviométricos foram distribuídos em toda extensão nordestina nos padrões de cobertura muito próximos aos padrões internacionais hoje exigidos.

A fase de coleta de dados permitiu, posteriormente, que muitos estudos fossem realizados, entre eles os do engenheiro Francisco Gonçalves Aguiar, que de posse das informações coletadas pela Inspetoria entre 1911-1930, realizou uma síntese hidrológica baseada na curva de rendimentos da região nordestina. O estudo foi baseado nos dados das bacias do Quixeramobim e Jaguaribe. Este estudo ainda hoje é lembrado e em alguns casos aplicado por adeptos do método.

A segunda fase (1945-1959) inicia-se com a criação da CHESF, em 1945, com o espírito de fortalecimento do setor elétrico e da inserção do país na era da industrialização. Isso levou o Governo a querer solucionar o problema das secas e dar uso às águas acumuladas, criando a Comissão do Vale do São Francisco – CVSF. Inspirada na Tennessee Valley Authority, a CVSF tinha um objetivo ambicioso de uma companhia de gestão moderna, sendo a ela atribuída as funções de empreender ações sobre os corpos d'água através de: regularização de rios intermitentes; recuperação de matas ciliares; educação e saúde da população e desenvolvimento de campanhas

para colocar a sociedade a par do novo modelo. A CVSF não conseguiu cumprir seus objetivos e teve uma atuação pouco satisfatória e acanhada enquanto que a CHESF se sobressaía. Nesse período também foi criado o banco do Nordeste para financiar o aproveitamento da infra-estrutura criada na primeira fase. A segunda fase pode ser considerada como uma fase de transição.

A terceira fase (1959–1964) inicia com a constatação de que a CVSF não fora capaz de cumprir o seu papel e com a grande seca de 1958 que novamente assolou o nordeste, malgrado tenha encontrado os reservatórios cheios e o nordeste mais bem estruturado pelo pulso do setor elétrico. Assim o Governo Federal criou um grupo de trabalho tendo à frente o economista paraibano Celso Furtado, que elaborou um plano para o nordeste considerando outros fatores que além da seca, também provocavam o atraso da região. Furtado então propõe, e JK aprova, a Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, criada pela Lei nº 3.692 de 15 de dezembro de 1959, diretamente subordinada ao Presidente da República, administrativamente autônoma e sediada na cidade do Recife. A SUDENE nascia para traçar uma política global para o nordeste. Essa fase de combate às secas foi denominada de Infância da SUDENE.

A quarta fase (1965-1984) é dividida em duas sub-fases: (1) 1965-1978 que é caracterizada por grande atuação da SUDENE, com grande número de projetos industriais e agropecuários de desenvolvimento, que foram implantados sem que se houvesse realizado mudanças na estrutura dos órgãos atuantes no semi-árido, fazendo com que a seca de 1970 forçasse novamente a tomada de medidas paliativas; (2) 1979-1984 onde as intervenções passaram a ser realizadas dentro das propriedades, destinando-se recursos a fundo perdido para donos de terra que alistassem seus trabalhadores nas frentes de trabalho, conforme relata a própria SUDENE (2001).

Na década de 70, os programas emergenciais da SUDENE adotaram o sistema de frentes de trabalho, visando ocupar a mão-de-obra atingida pela seca. Através destes programas, muitas obras de caráter permanente foram realizadas, como a abertura de estradas e a construção de açudes. No entanto, o local de trabalho era normalmente longe das casas dos trabalhadores.

Entre 1979 e 1983, surgiram as frentes de emergência, que realizaram obras de pequeno porte, como abertura de poços e construção de cisternas, cuja vantagem em relação à frente de trabalho era justamente a proximidade das residências dos trabalhadores e o fortalecimento das comunidades. Estas obras, duplicaram a capacidade de acumulação de água na Região, que chegou a 27 bilhões de metros cúbicos. (grifamos)

A quinta fase (1984-1994) foi marcada pelo incentivo à irrigação devido ao Programa Nacional de Irrigação - PRONI, resultando um crescimento de 67,6 % de áreas irrigadas no nordeste. Durante esse período deu-se início a discussão da política nacional e das políticas estaduais de recursos hídricos que viria a convergir para a aprovação da Lei 9.433 em 8 de janeiro de 1997.

A fase contemporânea é marcada pela aprovação da Política Nacional de Recursos Hídricos instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Nesta fase, diversos projetos não somente ligados a recursos hídricos como ao setor do saneamento foram implementados pelo Governo Federal. Um deles, financiado pelo Banco Mundial e complementado pela OECF – Overseas Economic Cooperation Fund, tendo uma contrapartida nacional, é o Proágua/semi-árido que é um subprograma de desenvolvimento sustentável de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro. O objetivo do PROÁGUA/Semi-Árido é (PROÁGUA 1998) “*garantir a ampliação da oferta de água de boa qualidade para o Semi-Árido brasileiro, com promoção do uso racional desse recurso, de tal modo que*

sua escassez relativa não continue a constituir impedimento ao desenvolvimento sustentável da região” (grifamos). Além dos objetivos gerais do PROÁGUA/Semi-árido o projeto tem como objetivos específicos:

(a) Promover o uso racional e sustentável dos recursos hídricos enfatizando a gerência participativa, mormente no semi-árido brasileiro. Juntamente com outras iniciativas do Governo brasileiro desenvolver:

- O fortalecimento de instituições relevantes em níveis federal e estadual;
- A descentralização do gerenciamento dos recursos hídricos para comitês de bacia e associação de usuários;
- Através de mecanismos e arranjos institucionais a alocação eficiente do uso da água , enfatizando os instrumentos de cobrança e outorga;

(b) Prover o acesso sustentável e confiável de água para consumo doméstico através de:

- Do estímulo à construção e implantação de reservatórios e sistemas de distribuição que otimizem a capacidade de reservação, com o objetivo de abastecer áreas rurais com alta concentração de famílias de baixa renda;
- Do estabelecimento, de forma sustentável, de sistemas de administração, operação e manutenção da infra-estrutura de abastecimento de água, incluindo mecanismos seguros e eficientes de recuperação de custos.

2.2 Gestão de Recursos Hídricos

O Brasil tem passado por um processo evolutivo no modelo de Gerenciamento das Águas, no sentido de promover uma maior articulação entre as entidades governamentais atuantes nos diversos setores, de modo a gerir o recurso água de uma forma integrada e não setorial.

A evolução do modelo se deu em busca de uma maior eficiência e funcionalidade. Os códigos vigentes no passado e as legislações orientadas por tipo de uso estabeleceram sistemas confusos e desarticulados, além de muitas vezes superpostos. A visão segmentada do uso da água também provocou conflitos gerenciais e de demanda.

A evolução dos modelos de gerenciamento dos recursos hídricos pode ser notada mediante a análise dos seguintes aspectos: (1) Instrumentos Legais; (2) Mecanismos de Financiamento; (3) Estágio do Planejamento Estratégico e (4) Integração dos recursos hídricos no meio-ambiente. LEAL (1998) afirma que o caminho em busca da evolução dos modelos aponta para a integração destes aspectos.

LANNA(1997) afirma que podemos distinguir três fases evolutivas do modelo de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil: (1) *O modelo burocrático*; (2) *O modelo econômico-financeiro* e (3) *O modelo sistêmico de integração participativa*.

O *modelo burocrático* tinha por primazia fazer cumprir normas legais. No Brasil, esse modelo foi estabelecido pelo Código de águas de 1934. Este modelo se limita somente a controlar os usos dando pouca importância ao planejamento. Fomenta a criação de novas leis como soluções de problemas inéditos, tornando a legislação difusa e confusa, superposta e muitas vezes

conflitante. A dificuldade de se aplicar esse modelo não resulta da incompetência dos juristas e administradores, mas sim da limitação do processo de negociação.

O *modelo econômico-financeiro* é caracterizado pelo emprego de instrumentos econômicos e financeiros pelo poder público para promoção do desenvolvimento. O papel da água como insumo econômico se dá em detrimento da questão ambiental (ou as vezes o inverso) e este último fica relegado à simpatia dos outros setores mais fortes à causa ambiental. Este modelo pode aparecer com duas orientações: (1) orientação através do desenvolvimento dos setores usuários de água, tais como o saneamento, irrigação, elétrico e/ou em entidades privilegiadas, autarquias e empresas públicas ligadas aos setores; (2) na segunda orientação esse modelo busca o desenvolvimento integral da bacia através da abordagem multisetorial. Essa diretriz é rara pelo motivo da organização setorial do Estado. O modelo guarda relações fortes com o sistêmico participativo e traz consigo um forte conteúdo de planejamento estratégico embora muitas vezes sob a ótica dos setores. Seu maior problema é a pequena articulação tanto entre entidades do poder público e entre o poder público e os usuários – diga-se de passagem o alvo das ações. É caracterizado pela necessidade da criação de entidades de grande porte para aplicar o modelo.

O modelo sistêmico de integração participativa se caracteriza por criar uma matriz institucional para executar o gerenciamento de recursos hídricos com base na negociação social entre os atores e interessados no uso da água, na realização do planejamento estratégico multissetorial por bacia hidrográfica, nos instrumentos de comando e controle para gestão da oferta e da demanda, e nos instrumentos econômicos que levem ao uso racional e viabilizem financeiramente a implantação do modelo.

Um retrospecto da evolução dos dispositivos legais no Brasil para o estabelecimento do modelo sistêmico no Brasil nos leva – como dito anteriormente – ao ano de 1934 com decreto-lei do Código Nacional de

Águas, que traduziu uma mudança nas diretrizes do país, que migrava do setor agrário para o setor urbano industrial e necessitava de aparato legal que possibilitasse ao poder público o aproveitamento dos recursos hídricos. Neste momento:

A propriedade da água, que tradicionalmente era associada à propriedade da terra, como elemento fundamental da produção agrícola, passa com o Código de Águas a ter sua própria regulamentação, removendo-se assim obstáculos legais que restringiam o aproveitamento do seu potencial elétrico, atendendo aos interesses do emergente setor urbano-industrial (LACORTE, 1994 apud LEAL, 1998).

Com a Constituição de 1988, algumas definições do Código de Águas foram extintas e outras reformuladas. A atual Constituição estabeleceu competências e abriu precedentes para que as unidades federativas do Brasil legislassem concorrentemente com a União sobre os recursos hídricos.

No artigo 22 a constituição estabelece que: “ *Compete à União privadamente legislar sobre: (...) IV – Águas, energia ...*” (grifamos) e ainda possibilita que uma Lei complementar possa autorizar os Estados a legislar sobre as questões de que trata o artigo. E no artigo 24 diz que “*compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre (...) VI – Florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição*” (o grifo é nosso). MAGALHÃES (1992) apud LANNA (1999) comenta que a competência privada citada no artigo 22 não resulta em exclusividade, pois os Estados estão autorizados sobre questões específicas das matérias desde que verse sobre regulação parcial.

MAGALHÃES (op. cit.) ressalta que a possibilidade dos estados legislarem comumente com a União, se refere à esfera administrativa com a finalidade de zelar, preservar e proteger, podendo ser realizadas em qualquer nível de poder. A competência concorrente não se dá em igualdade de

condições entre os Estado e a União, pois obedece uma hierarquia vertical, na qual a União edita normas de caráter geral e os estados legislam nos *vazios*, adaptando-as às suas peculiaridades.

Com o objetivo de instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos - como prevê o artigo 21 da Constituição que diz que “ *Compete à União: (...) XIX – instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso*” (o grifo é nosso) - foi sancionada a Lei 9.433 em 8 de janeiro de 1997, constituindo a norma legal mais moderna e implementando no Brasil o modelo sistêmico participativo.

A Lei 9.433/1997 estabelece fundamentos, diretrizes gerais e instrumentos para a gestão de recursos hídricos.

Os seus fundamentos estabelecem: I- Dominialidade pública da água; II- Reconhece na água o seu valor econômico; III- Ratifica o princípio da primazia dos usos; IV- Destaca a importância do uso múltiplo da água V – reconhece que a bacia hidrográfica como unidade das intervenções do gerenciamento e da implementação da política e VI- ressalta a necessidade da descentralização das decisões e permite a participação do Poder público, usuários e demais interessados nos recursos hídricos.

As diretrizes de ação são: I- Gestão associando a qualidade e quantidade do recurso; II- Adequação da gestão as peculiaridades e diversidades de cada região do Brasil; III – articula a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental; IV – articula o planejamento dos setores usuários de água; V – articula a gestão dos recursos hídricos com o uso do solo; VI – Integra a gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

A Lei também estabelece os instrumentos pelos quais se alcançará os objetivos do gerenciamento, são eles: I –Planos de Recursos Hídricos; II- Enquadramento de corpos d’água em classes de usos preponderantes; III-

Outorga de direitos de uso de água; IV- Cobrança pelo uso; V- Compensação financeira aos municípios e VI- o Sistema de Informações sobre os recursos hídricos.

Percebe-se que a Lei 9.443 constitui um moderno instrumento legal, cujas palavras-chave são: *articulação, planejamento, descentralização, participação e integração* considerando que a mesma propicia a articulação entre os instrumentos legais existentes, promove o planejamento e gerenciamento multissetorial na bacia, aplica os instrumentos de gestão com base nos princípios acima e ainda prevê mecanismos de autofinanciamento do sistema. Pode-se dizer que sua maior inovação está na consulta os interessados dando-lhes paralelamente apoio técnico para subsidiar-lhes as decisões.

A autonomia dada aos estados federados a fim de que eles aprovassem antecipadamente à União suas legislações e estabelecessem seus sistemas estaduais de recursos hídricos, baseados nas suas peculiaridades e nas especificidades de cada região, também pode ser considerado um grande avanço. FERNANDEZ (1996) apud LEAL (1998) ressalta que esta inversão do processo fez com que a Lei 9.433 refletisse melhor as necessidades do país nesse assunto.

2.2.1 Outorga: Aspectos Conceituais e Estado Da Arte

Como visto, a legislação brasileira (Lei 9.433/97) faz uso de instrumentos econômicos e jurídicos para gerir as águas. A outorga pode ser inserida na última classificação, sendo portanto, um instrumento de mandato e controle pelo qual o poder público confere a um usuário o direito de utilizar privadamente a água. Uma vez concedida, a outorga de direito de uso da água protege o usuário contra o uso predador de outros usuários que não possuam outorga.

Não poderemos confundir, entretanto, a outorga de direitos de uso com a concessão de serviço público, como é o caso do abastecimento de água, tratamento de esgoto urbano ou produção de energia elétrica. A concessão destes serviços, seguem leis próprias, não relacionadas ao uso coletivo dos recursos hídricos (KELMAN, 2000).

PIRES (1996), classifica os sistemas de outorga em três tipos: (1) *Outorga vinculada a terra*; (2) *Outorga comercializável* e (3) *Outorga controlada*. Muitos autores não consideram a *outorga vinculada à terra* necessariamente um tipo de outorga posto que a mesma não recebe controle quanto ao seu uso. Além de que no Brasil como em muitos outros países a água é um bem de domínio público cabendo ao responsável pela gestão do recurso emitir um ato formal de valor jurídico – o que não acontece nessa modalidade. Pode-se dizer que é um sistema no qual é privilegiado o uso agrícola da água além de ser pouco incitativo ao uso eficiente.

A *outorga comercializável* é um sistema utilizado tradicionalmente no oeste americano e foi implantado no final do século XIX. É baseado na lei do mercado onde os preços praticados nas transações se fundamentam na oferta e na procura. É um instrumento eficiente para tratar a escassez. Esse sistema apresenta as fraquezas da teoria que o rege, pois os mercados de concorrência perfeita dificilmente existem na prática. Diversos fatores podem descaracterizar o mercado tais como: monopólios; entraves à transferência da licença; a diferente forma de apresentação do recurso sob o aspecto quantitativo e qualitativo para os interessados; altos custos para mobilização e etc.

Países que tentaram implantar o sistema de outorgas negociáveis se depararam com o problema da outorga inicial, ou seja, a quem deveria ser outorgado o uso da água inicialmente? As opções existentes para lidar com o problema são: leilões de água; outorga baseada no uso histórico e a baseada no melhor uso do recurso, como no estado americano do Colorado. Os leilões de água tendem a priorizar os grandes empreendimentos, o uso histórico

pressupõe a existência de registros que é de difícil acesso, e o critério baseado no melhor uso é de difícil avaliação.

A *Outorga Controlada* é concedida mediante à análise do tipo de uso que se faz do recurso e não se baseia somente em aspectos da capacidade de pagamento do usuário. Ela se baseia em critérios técnicos, sociais e ambientais e é exercida por uma instituição reguladora em nome do poder público.

CONEJO (1993) cita que o controle exercido sobre a água pode ser de dois tipos: *controle no uso* e *controle por objetivos*.

O *controle por uso* se baseia em restrições e padrões de captação ou no lançamento de efluentes. Esses critérios seriam de caráter pontual e estabelecidos a priori para toda a bacia. Esse controle se daria sobre: (1) Quantidade de água retirada (vazões e volume); (2) Limites de concentração para lançamentos de efluentes e usos especiais.

O controle por objetivos é aquele que estabelece restrições de caráter global ou regional. Baseia-se em: (1) Metas de qualidade e quantidade ambiental, a serem firmadas com base nas vazões de restrição a jusante e na capacidade de autodepuração do rio; (2) Metas que compatibilizem o desenvolvimento regional com as condições ambientais desejáveis e (3) Metas que compatibilizem o desenvolvimento tecnológico.

LANNA(1999) também classifica os critérios de outorga de forma semelhante à CONEJO(1993). Segundo o autor, os critérios de outorga se distribuem da seguinte forma: (1) *Vazão referencial* e (2) *Priorização das demandas*.

A *vazão referencial* se caracteriza por ser um critério bastante simplificado, no qual é estabelecido um teto máximo para as retiradas e lançamentos em determinada seção fluvial. Geralmente estes limites são baseados em valores críticos de estiagem, sendo os mais utilizados, a Q_{90}

(Vazão de permanência em 90% do tempo) e a $Q_{7,10}$ (Média das vazões mínimas em 7 dias sucessivos e que ocorre, em média, a cada dez anos). Apesar da facilidade de aplicação deste critério, ele possui suas desvantagens, pois certamente poderá limitar severamente as expansões dos sistemas que fazem uso da água.

Os critérios de outorga baseados na *priorização das demandas* de LANNA(1999) e o controle por objetivos de CONEJO(1993) podem ser encarados como medidas que contêm forte conteúdo de planejamento de bacias hidrográficas à medida que se busca atingir ou definir metas dentro de horizontes de planejamento, sejam elas qualitativas, quantitativas, corretivas, incitativas ou até mesmo conservativas.

Na priorização das demandas, aquelas com maior prioridade (abastecimento humano e uso ecológico, por exemplo) serão supridas primeiramente e, após o suprimento destas, a vazão remanescente passará a suprir usos com menor prioridade, desde que não haja falhas no atendimento da demanda de maior prioridade em nenhum ponto da bacia. As prioridades poderão ser dadas de acordo com o *tipo de demanda* ou de acordo com as garantias de suprimento das outorgas concedidas.

Dentro dos *tipos de demanda* podemos classificá-las de acordo com a *natureza, impactos econômicos e quantidade*.

Na linha de trabalhos realizados com a finalidade de analisar critérios de outorga, poderemos citar PEREIRA & LANNA (1996) que estabeleceram na bacia do rio Sinos (RS) quantidades de outorga associadas a níveis de garantia de 90%, 80% e 70%. Na bacia do Rio Branco CARDOSO DA SILVA & LANNA (1997) testaram níveis de outorga sucessivos e avaliaram os impactos econômicos decorrentes das falhas agrícolas (que crescem à medida da oferta de água). Em ambos os casos, vazões superiores às referenciais poderiam ser oferecidas. No entanto estes sistemas de outorga

exigiriam uma estrutura de controle bastante robusta, para evitar que usos menos prioritários fossem supridos enquanto houvesse falhas nos primeiros.

SCHVARTZMAN et. alli (1999) também verificaram a possibilidade de aumento das vazões de referência no Rio Paraopeba (MG) através do risco anual (associado a uma variação de 1-10 falhas diárias) de não atendimento a diversas classes de demanda. Apesar de terem adotado critérios conservadores para a avaliação do risco (um dia de falha no ano já é o caracteriza como falha anual) encontraram riscos baixos de não atendimento a demanda.

CONEJO (op. cit.) ainda enumera uma série de condições para as quais as outorgas são válidas e para as quais o não cumprimento poderá acarretar em sanções por parte do outorgante. Estas condições também virão proporcionar um maior controle por parte do poder público em relação compatibilização oferta x demanda, à medida que evidencia as reais demandas dos usuários, trazendo como benefícios a diminuição de conflitos potenciais mediante a emissão de uma nova outorga:

- Limite na quantidade máxima de água retirada e consumida, podendo estar sujeitas a condições sazonais ou a dadas condições de escoamento;
- Limite na quantidade total de água retirada e consumida por dia, semana, mês, ano;
- Limite na distribuição de água devolvida pelo efluente e nas concentrações máximas permissíveis de poluentes e de cargas poluidoras, podendo estar sujeitas a restrições sazonais ou a dadas condições de escoamento;
- Metas de racionalização do uso da água e de melhoria da eficiência de tratamento de efluentes;

- Especificação de que a quantidade de água retirada e devolvida ao curso de água deve ser medida continuamente pelo usuário, com precisão pré-estipulada, e os resultados devem ser enviados periodicamente ao outorgante;
- Especificação da qualidade da água (concentrações e cargas) do efluente deve ser analisada sistematicamente pelo usuário, em condições preestabelecidas, e os resultados devem ser enviados periodicamente ao outorgante;
- Prazo de validade da outorga;
- Condições que requerem a reaplicação para outorga;
- Transferibilidade ou não dos direitos da outorga a terceiros e em que condições;
- Base do sistema tarifário em função da quantidade de água retirada e consumida, da carga poluidora, da época do ano e das condições de escoamento.

LEAL (op. cit.) ressalta que todos os usos da água que requeiram captação, modifiquem o regime hidrológico e a qualidade da água devem ser outorgados, no entanto, a outorga do uso da água não dispensa o licenciamento ambiental. E para viabilizar a operacionalização do instrumento é necessário um sistema organizado de emissão de outorgas, capaz de analisar cada solicitação no que se refere a: disponibilidade; qualidade; enquadramento; e projeção de usos futuros. Ao mesmo tempo esse sistema deverá estimar o efeito da outorga requerida no meio e fornecer subsídios para o deferimento ou indeferimento da mesma. Em seguida esse usuário deverá constar no cadastro que irá integrar o sistema de informações.

2.3 Outorga & Semi-Árido I : Peculiaridades e Obstáculos legais

2.3.1 Caracterização do Semi-Árido

O item 2.1 que tratou do histórico do combate às secas, no entanto, o enfoque dado naquele item priorizou o lado das intervenções políticas ocorridas na história diante das condições existentes, desprezando um pouco a caracterização da região semi-árida do Nordeste sob o ponto de vista técnico. Embora não creiamos ser possível (ou pelo menos recomendável) dissociar o primeiro enfoque do segundo, neste item procurar-se-á enfatizar as peculiaridades de cunho técnico do semi-árido que levaram nossos técnicos do passado e do presente a adotar as soluções que encontramos disponíveis nos dias de hoje.

Uma boa caracterização do semi-árido se deu no Projeto ÁRIDAS, que foi desenvolvido no intuito de traçar um novo paradigma de desenvolvimento do Nordeste sob a ótica da sustentabilidade econômica, ambiental, social e política. O ÁRIDAS também contempla um diagnóstico dos recursos hídricos do nordeste (VIEIRA, 1999).

A maior característica do semi-árido é a incidência de secas prolongadas, que inclusive levou o Governo a adotar uma definição político-institucional com a finalidade de delimitar essa região assolada pelo fenômeno das secas. O polígono das secas é a região criada pela lei 175 de 07 de Janeiro de 1936 tendo sua última atualização – que incluiu Vitória da Conquista – estabelecida pela lei nº 4.763, de 30 de agosto de 1965. É possível que a envoltória deste polígono tenha sido delimitada pela isoietas de pluviosidade anual referente a 800mm, sendo ampliada posteriormente a regiões que também sofrem as adversidades do fenômeno.

VIEIRA (1999) apresenta também algumas características importantes, que delineiam o perfil do Semi-árido:

- Cobertura vegetal rasteira, conhecida como caatinga;
- Subsolo cristalino predominante (ressalte-se os afloramentos), chegando a compor 70% do Polígono;
- Solos agrícolas geralmente rasos;
- Evapotranspiração potencial acima de 2000 mm;
- Ocorrência de eventos hidrológicos extremos: secas e cheias;
- Escoamento específico reduzido: 4 l/s/km² (inferior a 1/5 da vazão específica média do país 21 l/s/km²);
- Potencial hidrogeológico restrito (em média 4 m³/h).

Ainda deve-se acrescentar o grande coeficiente de variação dos deflúvios, que no semi-árido atinge o valor médio de 1,4. Ou seja o desvio padrão dos deflúvios chega a superar a média dos deflúvios quase uma vez e meia. Valor bastante elevado em comparação com os levantados para outras regiões.

Este coeficiente de variação elevado constitui apenas um corolário das características expostas acima. Em uma bacia hidrográfica onde predominam os solos rasos embasados sobre o cristalino, juntamente com a baixa regularidade pluvial, não seria possível obter uma regularidade natural no processo chuva-deflúvio.

Estudos de regularização nos mostram que a capacidade de um reservatório é função (dentre outras variáveis) do coeficiente de variação das aflúncias a este reservatório. Se não quisermos recorrer a métodos de

dimensionamento de reservatório para comprovar esta assertiva, basta imaginarmos um manancial onde a variabilidade das vazões fosse nula. Neste caso não precisaríamos transpor volumes no tempo (do período chuvoso para o seco) para maximizar o seu uso regular, pois sempre teríamos aquela vazão inteiramente a nossa disposição.

MACEDO (1996) faz uma análise simples onde descreve como as características climáticas e hidrológicas do semi-árido se coadunam em torno da solução da açudagem.

Supondo que se chovesse 750 mm ao ano e o solo da bacia armazenasse a água em um tempo de trânsito muito longo, teríamos toda a água da bacia consumida pela demanda evaporativa de cerca de 2200 mm anuais.

A irregularidade temporal da chuva, que distribui 90% da chuva anual em torno de quatro meses do ano, possibilita que nesses meses a precipitação acumulada supere a demanda evaporativa, aliviando desta maneira as perdas para a atmosfera.

A solução adotada foi acumular para distribuí-las posteriormente. Ou de outra forma, promover a regularização dos rios intermitentes através de reservatórios, que transferissem as disponibilidades da estação chuvosa para serem utilizadas na estação seca. Do mais laico ao mais especializado, esta alternativa deve ser considerada plausível mesmo sabendo-se das baixas eficiências atingidas pelos reservatórios. VIEIRA (1999) cita que o rendimento médio adotado no plano estadual de recursos hídricos do estado do Ceará gira em torno de 25%, ou seja, o volume regularizado anualmente corresponde em média a 1/4 da capacidade do reservatório.

Segundo COELHO (op. cit.), no início dos trabalhos da Inspeção (IFOCS) a transposição de águas como alternativa à açudagem já era levantada. Tristão Franklin de Alencar Lima, engenheiro cearense, foi o primeiro a aventar a hipótese da transposição de águas do São Francisco

para outras bacias hidrográficas do semi-árido em 1886, após a grande seca de 1877/80. Em 1912 a IFOCS realizou um levantamento topográfico da área tendo como conclusão a inviabilidade do projeto, o que levou Arrojado Lisboa a desaprovação do projeto no ano de 1913. O trabalho do engenheiro italiano Mário Ferracuti foi considerado como desperdiçador de recursos cuja alternativa de investimento seria mais rentável se fossem investidos no próprio vale do São Francisco.

CAMPOS (1999) comenta que na época havia uma discussão em torno da política a ser trilhada para mitigar o problema das secas. Duas alternativas eram propostas: açudagem ou transposição. Ressalta ainda, que a decisão de Arrojado, pela política de açudagem pode ser considerada sábia, caso contrário o programa de açudagem no nordeste poderia ter se atrasado.

A idéia da transposição nunca saiu do pano de fundo do cenário nordestino e sempre ressurgiu, provocando nos dias de hoje sérios contenciosos em todos os níveis de decisões sobre os recursos hídricos no panorama nacional e especialmente nordestino.

2.3.2 Aspectos Legais e Institucionais

As peculiaridades do semi-árido nos levaram aos açudes, que são a mais concreta realidade para mitigação dos efeitos das estiagens sobre as atividades econômicas usuárias de água nas bacias do semi-árido. Dispomos também de modernas técnicas para avaliação da oferta, planejamento operacional e operação das reservas de água doce nos sertões. Sem contar com um moderno aparato institucional e legal para gerir os recursos hídricos.

Não obstante todos esses prós a uma boa prática de gerenciamento de recursos hídricos no semi-árido nordestino, existem grandes obstáculos à sua implementação. Podemos dizer que são fortes resquícios dos modelos de

gerenciamento adotados no passado e que ainda persistem sob a proteção de instrumentos legais que ainda os legitimam.

Como já foi citado, a Constituição de 1988 permitiu que os estados legislassem concorrentemente com a União e estabelecessem suas políticas regionais respeitando as aspirações locais. Uma inovação, tendo em vista que o código de Águas de 1934 – por ser voltado ao setor elétrico – homogeneizava as diretrizes nacionais. A União, entretanto, tornou confusa a questão do domínio das águas quando estabeleceu em seu artigo 26 que: “Incluem-se entre os bens dos estados: I- As águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósitos, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.”

Não é preciso enorme esforço para prognosticar as conseqüências da ressalva constitucional feita no artigo 26 da carta magna sobre as atividades de gestão dos recursos hídricos no semi-árido. Simplesmente, o princípio da domínio estadual sobre os rios cujas nascentes e foz se localizassem sobre o mesmo estado, não está sendo aplicado naquelas unidades federadas em que houve intervenções do governo federal no combate às secas.

Cabe ser lembrado que a União se fez presente em grande parte dos estados do nordeste através de obras de acumulação construídas pelo DNOCS. CAMPOS E VIEIRA (1993) analisa a situação da seguinte forma: Até a constituição de 1946 anterior a de 1988, as águas em depósito nos rios de domínio estadual eram de domínio dos estados embora sob o controle da União (representada pelo DNOCS). Se a mesma estrutura do domínio fosse mantida, os estados iriam reivindicar o direito de gerenciar as águas acumuladas, gerando por sua vez, conflitos entre a União e os estados. Alguém se antecipou à possibilidade e acrescentou a ressalva das águas decorrentes de obras da união.

Se esta ressalva constante na constituição, por um lado poupou os conflitos entre os estados e a União no que se refere ao domínio das águas,

por outro lado gerou uma série de incoerências para o exercício do gerenciamento. Vejamos: enquanto as águas em trânsito nos rios são de domínio dos estados, ao aportarem nos reservatórios passam imediatamente ao domínio da União, que posteriormente as devolve à jurisdição dos estados. E ainda mais, se pensarmos em termos de outorga prévia, os estados licenciariam a construção de um açude em águas de seu domínio que posteriormente passariam ao domínio da União.

KEMPER (1997) em seu trabalho sobre a alocação de recursos hídricos no vale do Curú-Ceará, analisa o papel do DNOCS na alocação de água no referido vale. Apesar de ter sido criado para realizar obras de engenharia o DNOCS assumiu, na ausência de outra entidade, o papel de gerenciador de recursos hídricos. Até o envolvimento do estado através da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos - SRH e da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH o DNOCS era o responsável pela operação e manutenção dos reservatórios por ele construídos. Em decorrência da própria Constituição Federal e de outras prioridades do órgão, o seu gerenciamento não se torna compatível com as políticas estadual e nacional de recursos hídricos. O DNOCS, por lei, não tem responsabilidade sobre quem recebe água ao longo do leito do rio ou pela quantidade de água consumida. Também no que se refere a suas prioridades no suprimento de demandas agrícolas, dá preferência aos perímetros que por ele foram implantados mesmo que hoje estes se encontrem emancipados.

Com a criação da SRH-CE e da COGERH o estado do Ceará começa a demonstrar interesse na gestão dos recursos hídricos no estado. Mas para que pudesse exercer tal atividade, deveria participar das decisões sobre a alocação de água no vale, operação dos sistemas já existentes e lançar mão dos instrumentos de gestão que as políticas estadual e federal lhes permitem.

Em fevereiro de 1994, o estado e o DNOCS se conciliam e chegam a um acordo sobre a gestão das bacias hidrográficas no Ceará. Alguns itens do

acordo são citados por KEMPER (op. cit.), mostrando como o governo estadual busca o seu espaço no gerenciamento dos recursos hídricos no Ceará. São eles:

- Realizar a gestão nos rios perenizados do estado do Ceará, dirimindo conflitos no uso das águas e exercendo o direito de polícia conforme a lei estadual nº 11.996 de 24 de julho de 1992;
- Exercer o direito de outorga de concessões pelo uso das águas e habilitações para construção de novas obras de infra-estrutura, nas bacias estaduais.
- Realizar monitoramento integral dos recursos fluviais no estado do Ceará, podendo instalar novos equipamentos em reservatórios de propriedade do DNOCS.

De fato, esta articulação entre a União através do DNOCS e o estado, deve ser considerada um ponto positivo que vem a agregar forças ao gerenciamento, uma vez que esta atividade será exercida por uma entidade cuja existência tem esta finalidade (*Quae sunt Caesaris, Caesar*).

Após a aprovação da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, um novo ator entra no cenário. É criada a Agência Nacional de Águas – ANA com a finalidade de implementar a política nacional de recursos hídricos. Dentre outras atribuições da ANA, em seu art.4 “ IV - outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso do recursos hídricos em corpos de água de domínio da União (...)”.

Em 22 de fevereiro de 2001, menos de um ano após a criação da ANA, o Presidente da República sanciona a Lei nº 10.204 autorizando a doação de bens e dando outras providências, entre elas profundas alterações nas atribuições do DNOCS para que o órgão se adequasse a nova política nacional de recursos hídricos. Desta forma fica atribuído ao DNOCS pelo artigo 1 da referida lei:

I - contribuir para a implementação dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, tal como definidos no art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e legislação subsequente; (...) III - elaborar projetos de engenharia e executar obras públicas de captação, acumulação, condução, distribuição, proteção e utilização de recursos hídricos, em conformidade com a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, de que trata a Lei nº 9.433, de 1997; IV - contribuir para a implementação e operação, sob sua responsabilidade ou conjuntamente com outros órgãos, com vistas à melhor distribuição das disponibilidades hídricas regionais; (...) XI - cooperar com outros órgãos públicos, Estados, Municípios e instituições oficiais de crédito, em projetos e obras que envolvam desenvolvimento e aproveitamento de recursos hídricos; XII - colaborar na concepção, instalação, manutenção e operação da rede de estações hidrológicas e na promoção do estudo sistemático das bacias hidrográficas, de modo a integrar o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos; (...)XIV - cooperar com outros organismos públicos no planejamento e na execução de programas permanentes e temporários, com vistas a prevenir e atenuar os efeitos das adversidades climáticas; XV - celebrar convênios e contratos com entidades públicas ou privadas;

§ 1º O DNOCS deverá atuar em articulação com Estados, Municípios, outras instituições públicas, inclusive mediante acordos de cooperação técnica, e a iniciativa privada na execução de suas competências, objetivando a implementação de ações que contribuam para a promoção do desenvolvimento sustentável de sua área de atuação, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Ministério da Integração Nacional e com a Política Nacional de Recursos Hídricos.

§ 2º As ações do DNOCS relativas à gestão das águas decorrentes dos sistemas hídricos por ele implantados ficam

sujeitas à orientação normativa do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tal como estabelecem a Lei nº 9.433, de 1997, e a legislação subsequente. (...)

No seu artigo 5, o DNOCS também fica autorizado a “doar a Estados e a outras entidades públicas os açudes do seu patrimônio que não sejam relevantes para o desempenho das funções inerentes a sua missão institucional, atendidos os seguintes critérios: I - estejam localizados em bacias hidrográficas de rios de domínio estadual; II - a utilização de suas águas esteja limitada ao território do Estado donatário; III - a utilização de suas águas não inclua sistemas formais de abastecimento de água a cidades e o suprimento de água a perímetros irrigados; IV - a utilização de suas águas não esteja incluída em sistemas de transposição de bacias ou sistemas de gestão de recursos hídricos.

§ 1º Os açudes cuja influência não esteja restrita ao território de um único Município somente poderão ser doados a governos estaduais. (...)”

Como se vê os instrumentos legais atribuem à ANA o poder de outorga das águas sob domínio da União e o DNOCS submetido às decisões do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, tendo este último, sido reformulado para assumir um papel cooperador dos atores envolvidos na gestão de recursos hídricos.

As novas diretrizes, reformulam o DNOCS e transferem à ANA a responsabilidade das águas em depósito nos reservatórios, no entanto o caminho trilhado pela SRH-CE e pela COGERH ainda deve ser seguido, principalmente no que se refere à questão da operação dos reservatórios.

2.4 Outorga & Semi-Árido II: A Operação dos Reservatórios e os Critérios de Outorga

Uma vez resolvida a questão da jurisprudência e dos aspectos institucionais da outorga, surgem várias preocupações a sua implementação, dentre elas: a de quanto outorgar, como gerenciar nossas reservas nos momentos de escassez e quais as garantias que poderemos dar aos usuários.

Assim procedendo, mais uma vez, as características do semi-árido vêm à tona, exigindo cautela e soluções próprias em relação às demais regiões climáticas e hidrológicas do país.

Uma caracterização técnica dos tipos de reservatórios existentes e suas devidas classificações funcionais será feita a seguir. Posteriormente far-se-á uma síntese histórica dos métodos de avaliação da oferta dos reservatórios destacando o papel da política operacional associada. Por último será analisado como estes itens interferem no processo de outorga.

2.4.1 Tipos de Reservatórios

Como já foi dito, as características hidrológicas dos cursos d'água do semi-árido nordestino não permitem o aproveitamento direto dos deflúvios, requerendo que soluções estruturais fossem construídas para regularizar as variações das disponibilidades e possibilitar um uso regular.

Os açudes pelo nordeste foram construídos nas mais variadas dimensões e características hidrológicas.

BRASIL (2000) afirma que na definição de estratégias de operação de reservatórios, deve-se considerar a integração dos seguintes aspectos: (1) a

capacidade do reservatório; (2) a vazão média afluente ao reservatório e (3) coeficiente de variabilidade da vazão média anual.

De acordo com a integração dos aspectos acima citados podemos classificar os reservatórios em:

Anuais – São reservatórios cuja capacidade útil de armazenamento é da mesma ordem do volume anual afluente ao mesmo. São geralmente construídos em regiões onde é necessário equilibrar a oferta entre um único período anual de chuvas e um período anual de estiagens. Sendo assim estes reservatórios não tem a capacidade de armazenar água para manter durante longas estiagens. Geralmente regularizam um volume anual da ordem de 50% da capacidade útil.

A operação destes reservatórios consiste em manter um balanço positivo entre as afluências, as liberações e as perdas.

Sub-anuais – Se caracterizam por possuir uma capacidade de armazenamento menor que o volume afluente anual. São indicados para serem construídos em regiões onde é necessário equilibrar a oferta de água em períodos de tempo inferior a um ano (1-6 meses). Estes reservatórios são normalmente construídos em cursos d'água perenes onde a vazão de estiagem deve ser complementada com as reservas acumuladas para o suprimento sazonal desta demanda. Os níveis de eficiência (volume regularizado anual sobre a capacidade útil) são geralmente elevados, podendo ser superiores ou próximos aos 100%.

A operação destes reservatórios requer um profundo conhecimento do regime hidrológico do rio, sendo seu rendimento bastante melhorado quando sua operação é auxiliada por um modelo de previsões de afluências.

Interanuais – Este tipo de reservatório se caracteriza por uma capacidade de armazenamento superior ao volume médio anual afluente. São geralmente construídos em regiões de alta variabilidade nos deflúvios, e tem a

capacidade de manter vazões regularizadas durante anos, mesmo naqueles em que o deflúvio superficial é nulo. São normalmente construídos em rios de primeira ordem e apresentam baixa eficiência (entre 30 e 50%).

A operação destes reservatórios requer bastante cuidado, pois apresentam uma extensa memória da operação passada, ou seja, as liberações ocorridas em um período afetam substancialmente as operações nos períodos subseqüentes (cerca de 2 a 5 anos).

O dimensionamento destes reservatórios, sob a ótica da regularização interanual de vazões, leva o hidrólogo, habituado ao comportamento de reservatórios *anuais*, a suspeitar de superdimensionamento. No entanto esta estratégia é que permite o atendimento regular das demandas em situações de intermitência durante vários anos seguidos em regiões de forte variabilidade *interanual*.

Os reservatórios *sub-anuais* quando construídos em regiões semi-áridas servem apenas para transportar água dos invernos (quando houver) para os verões. Muitas vezes não conseguem ultrapassar todo o período seco do ano devido às altas taxas de evaporação.

CAMPOS (1999) classifica os reservatórios somente em *anuais*, *interanuais* e *estratégicos*. Os anuais teriam somente a função do transporte de água dentro do ano; os interanuais atravessam os anos secos com alguma reserva de água, no entanto são operados com uma probabilidade de deixarem de fornecer água; e os estratégicos seriam reservatórios interanuais que deveriam ser operadas com baixíssima probabilidade de secarem.

CAMPOS (1999) ainda acrescenta que os grandes açudes do nordeste são mais eficientes que os pequenos. Para exemplificar “*um açude de 500 milhões de metros cúbicos evapora mais que um açude de 100 milhões, porém evapora menos que cinco de 100 milhões.*” (grifamos)

2.4.2 Métodos de Avaliação da Oferta

A avaliação da oferta de água a partir de reservatórios e sistemas hídricos é imprescindível para a implementação de um sistema de outorga, visto que a outorga deve ser efetivada com base nas disponibilidades de referência associadas a níveis de atendimento. Se assim não ocorresse os usuários não teriam como planejar seus consumos, fossem eles domésticos, industriais ou agrícolas.

Ao longo da história diversos métodos foram desenvolvidos para avaliação da oferta e para o projeto de reservatórios. McMAHON & MEIN (1978) classificam os diversos métodos em três grandes correntes: (1) os métodos baseados no período crítico (*critical period techniques*); (2) os métodos relacionados à teoria da estocagem de Moran (*Moran related techniques and probability matrix methods*) e (3) os métodos que utilizam séries sintéticas (*based on generated data*).

Os métodos baseados no período crítico são métodos que se baseiam em eventos críticos observados, nos períodos de mínimo fluxo e na série histórica como um todo. O famoso diagrama de massas de apresentado por Rippl em 1883 (considerado o primeiro método racional para projeto de reservatórios) pertence a esta corrente, assim como a simulação de reservatórios com a série histórica. Alguns dos métodos pertencentes a esta classificação permitem a determinação de níveis de confiabilidade de atendimento às demandas associadas aos valores encontrados enquanto que outros simplesmente determinam os valores sem qualquer nível de confiabilidade associado ao atendimento. Estes métodos são fortemente condicionados à representatividade da série histórica, podendo subestimar ou superestimar os valores projetados caso a série utilizada apresente tendências ao período úmido ou seco, respectivamente.

Os métodos baseados na teoria da estocagem se baseiam nos métodos de Moran desenvolvido em 1954 e modificado por Gould em 1961,

visando uma aplicação mais prática da teoria. O método de Gould possibilita a determinação das probabilidades relacionadas aos estados de armazenamento iniciais e finais do reservatório (*matriz de transição*). Esta técnica possibilita a determinação de um estado em que o nível do reservatório não depende mais das condições iniciais das simulações (*steady state*), livrando o analista do problema de adotar um valor inicial para o armazenamento do reservatório¹.

No Brasil um grande marco do dimensionamento de reservatório no nordeste brasileiro é o trabalho do engenheiro Francisco de Aguiar (já citado) que segundo CAMPOS (1996) atuou em três linhas (1) estimativa do volume médio anual em uma dada bacia hidrográfica; (2) no desenvolvimento de um método para determinar a capacidade e o volume regularizado por um açude com base nos deflúvios máximos; (3) na determinação da vazão máxima secular a ser considerada no dimensionamento do vertedouro do açude.

O uso de *séries sintéticas* não constitui um novo método, mas sim um artifício a ser utilizado em conjunto com os métodos acima descritos. Consiste em gerar séries sintéticas de mesmas propriedades estatísticas da série histórica. Com esse artifício é possível ampliar o rol de possibilidades e associar intervalos de confiança aos valores de projeto.

¹ McMAHON e MEIN (op. cit.) citam que em estudos desenvolvidos em 156 rios australianos, comparou-se o método modificado por Gould e método de Simulação. Este último mostrou-se bastante dependente das condições iniciais, confirmando a superioridade do primeiro.

2.4.3 Análise de Sistemas, Políticas de Operação e a Contribuição Engenharia de Sistemas

Com o passar do tempo os sistemas de recursos hídricos se tornaram mais complexos, reservatórios foram projetados para atender a usos múltiplos e em outros casos os reservatórios construídos individualmente para finalidades locais transformaram bacias hidrográficas em sistemas complexos exigindo abordagens mais sofisticadas que as anteriores.

LABADIE (1987) comenta que diante da escassez de recursos, é crucial considerar: (1) os conceitos de sistemas operacionais integrados ótimos a nível de planejamento, para reduzir as dimensões de certos componentes, o que resulta em benefícios a um menor custo; (2) os sistemas existentes devem ser operados e administrados em todo o seu potencial. Muitos desses sistemas são afetados por mudanças nos objetivos nacionais e regionais, adição de novos componentes físicos, e pela reordenação da operação integrada dos projetos de recursos hídricos.

A análise de sistemas recebeu um grande impulso com o desenvolvimento dos algoritmos matemáticos e dos computadores digitais de alta velocidade, permitindo que sistemas reais ou em fase de planejamento pudessem ser modelados na forma de regras matemáticas ou inferenciais, e fornecendo subsídios para a tomada de decisão através da avaliação do desempenho de alternativas e estratégias adotadas para um determinado sistema.

Diversas técnicas de otimização tem sido aplicadas na operação de sistemas de recursos hídricos buscando o estabelecimento de políticas operacionais ótimas para os sistemas em estudo. LIMA & LANNA (2001 a) revisam uma vasta literatura sobre técnicas de otimização para operação de sistemas de reservatórios, classificando as técnicas utilizadas em: Programação Linear (PL), Programação Dinâmica (PD), Programação Não Linear e Simulação, podendo haver possíveis combinações entre estes.

Diversos trabalhos utilizaram técnicas de otimização para operação ótima de sistemas de reservatórios. OLIVEIRA & LANNA (1997) utilizaram programação linear para derivar estratégias de operação que maximizassem o valor presente dos benefícios líquidos do uso da irrigação na bacia do rio Acaraú-CE. Essas estratégias foram simuladas posteriormente para que as simplificações inerentes ao modelo de otimização utilizado fossem retiradas dos resultados. LIMA & LANNA (2001 b) utilizaram programação dinâmica incremental com restrições (também em conjunto com simulação) para propor políticas operacionais ao sistema de abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e analisar a operação atual, os critérios utilizados neste análise foram: perdas por evaporação, garantias de abastecimento e critérios de análise de risco. VIANNA JR. & LANNA (2000) utilizaram algoritmos de procura direta para otimizar a operação de reservatórios na bacia do rio Curú-CE modificando a política de operação padrão (*Standard operation rule*) e maximizando indicadores de performance.

As técnicas de simulação também podem se constituir em poderosas ferramentas para análise de sistemas, uma vez que não sofrem as mesmas restrições das técnicas de otimização. Geralmente são algoritmos flexíveis que permitem uma apresentação realista do processo por isso são utilizadas para corrigir os resultados devido às simplificações dos modelos de otimização.

LABADIE (1987) comenta que muitos se sentem atraídos por algoritmos heurísticos que permitem incorporar a realidade da melhor forma possível, embora não esteja assegurada a convergência para o ótimo global.

LIMA & LANNA (2001 a) comentam que a simulação, ao contrário das técnicas de otimização, não encontram uma política de operação ótima que maximize (ou minimize) a função objetivo para o sistema em análise, satisfazendo às restrições impostas. Ela simplesmente fornece o valor da função de retorno para um sistema submetido a uma regra de operação.

Apesar de muitos não considerarem a heurística como uma técnica de otimização GOLDBARG(2000) a considera “ (...) *uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que a busca partir de uma solução viável próxima ao ótimo*” (grifamos).

Diversos trabalhos tem feito uso da heurística associada a modelos de simulação e tem conseguido bons resultados, principalmente quando se trata de problemas cujo objetivo é otimizar parâmetros de uma política já definida. MOLINAS & SARMENTO (1999) classificaram o uso de simulação em conjunto com técnicas heurísticas como modelos híbridos, durante o seu estudo sobre a operação dos reservatórios sujeitos à transposição de águas. Nestes estudos as políticas operacionais já haviam sido pré-definidas com base em volumes de alerta de racionamento e bombeamento. LANNA (2000 a) ao apresentar uma metodologia para determinação de vazões regularizadas por reservatórios em cascata também lança mão de algoritmos heurísticos de busca. MOURA REIS et. alli (2001) mostram a existência do volume de alerta ótimo para reservatórios isolados através de heurística, CARDOSO DA SILVA (1997) também faz uso de busca heurística para analisar critérios de outorga na bacia do rio Branco – BA.

VIEGAS FILHO (2000) remodelou o PROPAGAR (LANNA, 2000 c) sob a concepção da modelagem orientada a objetos, possibilitando que os usuários interagissem com o sistema de simulação nos diversos níveis (projeto, planejamento e operação) através de *scripts* que podem conter estratégias de operação complexas, definidas pelo usuário, sem que a dinâmica do modelo seja alterada. O PROPAGAR se constitui hoje num poderoso modelo de simulação em que políticas operacionais podem ser testadas e avaliadas. Num futuro próximo poderão ser derivadas estratégias ótimas de operação.

2.4.4 Análise de Desempenho

Os indicadores de performance são bastante utilizados para avaliar desempenho das estratégias operacionais de suprimento a partir de reservatórios. Um dos indicadores bastante utilizados é a *garantia*, que consiste meramente numa estatística percentual dos períodos de simulação em que o estado é satisfatório no período total de análise. É expresso matematicamente por

$$g = \left(1 - \frac{f}{n}\right) \times 100 \quad (2.1)$$

Onde f é o número de períodos com falha e n o período total de simulação. O termo expresso por (2.1) consiste numa confiabilidade (*reliability*) do sistema, e no jargão prático da hidrologia e do planejamento de recursos hídricos tem sido denominado de *garantia*. É bastante comum o emprego deste termo não somente nos relatórios técnicos de consultoria, mas também nos trabalhos acadêmicos.

Em procedimentos que façam uso da série histórica deve ficar claro que o nível de confiabilidade de determinada política de operação é associado à série, devendo esta ser representativa do comportamento hidrológico a fim de que os prognósticos com base nos resultados possam ser aceitos.

O termo *garantia* (como ficou consagrado o indicador de confiabilidade) poderá fornecer ao usuário uma falsa sensação de segurança, uma vez que é uma estatística descritiva de um processo determinístico.

O uso por si só, deste indicador é deveras tendencioso, nada informando sobre a severidade das falhas e a distribuição das mesmas, o que leva a mascarar resultados para os usuários e tomadores de decisão (*stakeholder*), que no processo de gestão descentralizada e participativa são constituídos por leigos (embora amparados por técnicos). Por exemplo, em reservatórios do semi-árido onde anos de seca ocorrem seguidamente

levando os sistemas a entrar em colapso total durante períodos longos e concentrados, o uso isolado do indicador de confiabilidade é inadequado (embora bastante utilizado). Dizer que o sistema localizado nessa região apresenta um desempenho insatisfatório em 10% do período simulado significará dizer que não teremos água em 1 ano a cada 10 anos? Em 1 mês em cada 10 meses? Caso os usuários ou demais decisores entendam que a resposta é sim, poderão julgar aceitáveis os níveis de fornecimento que apresentasse um estado insatisfatório em 10% do tempo.

O parágrafo a seguir, em VIEIRA et. alli (1993) resume o nosso esforço em destacar a pouca representatividade do indicador de confiabilidade, principalmente em sistemas sujeitos a alimentações intermententes como o Semi-Árido brasileiro. Ainda é possível constatar nas entrelinhas deste parágrafo uma possível inadequação ao expressar confiabilidades em termos de mensais para atividades que dependam de planejamento anual – como a agricultura.

A experiência tem mostrado que, no Semi-Árido, as falhas associadas às vazões regularizadas têm um perfil extremamente desfavorável: longos períodos e vazões praticamente nulas. O que pode significar, por exemplo, para uma garantia de 80%, em 100 meses, 20 meses consecutivos sem água e sem produção, e certamente não 80% de produção anual. VIEIRA et. alli (1993).

Outros indicadores da performance dos sistemas existem e podem ser utilizados paralelamente a tradicional *confiabilidade*, como por exemplo, a *confiabilidade volumétrica* proposta por FIERING'S (1967) apud MACHON e MEIN(1978), consistindo de

$$R_v = \frac{\text{Suprimento Efetivado}}{\text{Demanda Projetada}} \quad (2.2)$$

A confiabilidade volumétrica permite uma avaliação percentual de quanto foi suprido nos períodos de falha, fornecendo aos decisores uma idéia da severidade da situação nos períodos de escassez.

Uma análise mais detalhada sobre indicadores de performance é encontrada em HASHIMOTO et. alli (1982), que defendeu que no processo da tomada de decisão, os indicadores de performance fossem analisados conjuntamente com indicadores de econômicos. Apesar da principal aplicação do trabalho de HASHIMOTO et. alli (op.cit) ter sido destinada a um sistema de reservatórios, são exemplificadas diversas aplicações dos indicadores de performance não restritas à análise de sistemas de recursos hídricos.

HASHIMOTO derivou políticas de operação utilizando programação dinâmica estocástica e analisou-as sobre os seguintes indicadores:

Confiabilidade (α) - Como sendo a probabilidade α de um sistema ser encontrado num estado satisfatório dada por:

$$\beta = \text{prob}[X_t \in S] \quad (2.4)$$

Onde X_t denota uma variável de estado num intervalo de tempo e S indica o conjunto dos estados satisfatórios

Resiliência (γ) - Este indicador vai descrever quão rápido um sistema está apto a se recuperar de uma falha uma vez que a falha tenha ocorrido. Pode ser entendido como o inverso do tempo médio em falha.

$$\gamma = \frac{\rho}{1 - \beta} \quad (2.5)$$

Onde:

$$\rho = Prob[X_t \in S, X_{t+1} \in F] \quad (2.4)$$

F caracteriza o subconjunto dos estados insatisfatórios.

Vulnerabilidade (v) – Este indicador procura discriminar quão severas são as falhas quando elas ocorrem. Para construir uma expressão quantitativa deste indicador poderemos associar a cada estado de falha $x_j \in F$ um indicador numérico da severidade da falha, denominado de s_j . Adicionalmente, considere e_j a probabilidade de x_j , correspondendo a s_j , tomando a situação mais severa quando ocorre a falha.

$$v = \sum_{j \in F} s_j e_j \quad (2.5)$$

HASHIMOTO et alli (op. cit.) ainda analisa as perdas e ganhos dos desempenhos descritos acima e cita que Holling (1978) discute conceitos de falhar seguramente (*fail-safe*) ao invés de evitar a falha (*safe-fail*).

Nota-se que devido a análise dos sistemas hídricos realizada por HASHIMOTO ter considerado incertezas, ela estabelece os indicadores de forma probabilística nada impedindo que a mesma análise seja feita com base no desempenho de uma série histórica.

Percebe-se também que a confiabilidade volumétrica (R_v), citada acima também constitui um indicador de vulnerabilidade do sistema, uma vez que se preocupa em discriminar qual a severidade das falhas no atendimento a uma demanda planejada.

Como pode ser visto, o uso dos três indicadores - ao contrário da prática adotada de somente considerar a confiabilidade como critério avaliador da política de operação adotada (que decide quanto ofertar e como ofertar) - torna mais eficiente a análise e seleção de regras de operação e evita que distorções possam ser cometidas durante o processo de decisão.

Apesar do uso dos indicadores ter sido normalmente aplicado às unidades de oferta hídrica e de demanda (m^3/s , hm^3/ano , etc.) nada impede que seja realizada uma aplicação dos mesmos sobre as atividades usuárias do recurso. Poderíamos, por exemplo, aplicar os indicadores sobre os fluxos econômicos de atividades usuárias de água, tendo a idéia de como a economia reage às estratégias operacionais.

2.4.5 Prática da Outorga no Semi-Árido

Como se viu, outorgar o uso de água no semi-árido brasileiro é uma questão complexa, visto que o bom aproveitamento dos recursos está atrelado a uma boa política de operação e planejamento dos sistemas. A performance do sistema há de ser sempre adequada ao uso que se faz desse recurso.

Após uma análise sobre processo de outorga no Ceará CAMPOS (1996) conclui que a quantidade outorgável deveria ter uma disponibilidade de referência associada a uma confiabilidade, a fim de não se criar um cenário de aparente controle ao tomador de decisão. O Ceará adotou como referência a vazão regularizada com 90% de garantia.

A *garantia* ou *confiabilidade* associada à oferta pode ser uma condição suficiente para o processo de outorga, mas não é suficiente para o bom desempenho do sistema. Da discussão realizada no item anterior, o uso isolado deste indicador, sem que seja a ele associada uma política de operação revela-se pouco eficiente ou esclarecedora.

O próprio plano estadual de recursos hídricos do Ceará (SRH-CE, 1991 apud MOLINAS et. alli, 1995) concorda com a insuficiência da informação trazida pelo critério da oferta associada a níveis de garantia, como vemos no parágrafo em que se segue.

As falhas que estes reservatórios apresentam podem estender-se ao longo de vários meses, ou anos, o que coloca em xeque o conceito de vazão regularizada com 90% de garantia. Nestes casos é bastante arriscado contar com uma vazão com garantia de 90%, dado que durante os restantes 10% todas as atividades sócio-econômicas da região abastecidas pelos reservatórios podem entrar em colapso. Justifica-se portanto a introdução de um outro conceito que, traduzido em regra de operação venha a minorar tais riscos.

A regra de operação citada por MOLINAS et. alli (op.cit) é a política de operação com base em *volumes de alerta*. Este conceito estabelece que a partir de um certo volume (de alerta) apenas um percentual da vazão pode ser retirada, estabelecendo-se assim, um racionamento preventivo durante os períodos críticos, para diminuir o risco do colapso total do sistema (nenhuma água ser fornecida).

Matematicamente, esta regra de operação pode ser escrita da seguinte forma:

$$V_{operado} = \begin{cases} Q_{reg} & \text{se } S_t > S_{alerta} \\ \%Q_{reg} & \text{se } S_{alerta} \geq S_t \geq S_{min} \\ Q_{falha} < \%Q_{reg} & \text{se } S_{t+1} \leq S_{min} \end{cases} \quad (2.6)$$

Onde: $V_{operado}$ o volume operado; S_{alerta} é o volume a partir do qual se iniciam racionamentos, S_t é o armazenamento no tempo t; Q_{reg} é a vazão regularizada que se decidiu ofertar; $\%Q_{reg}$ é a vazão ofertada na condição de racionamento preventivo, e Q_{falha} é uma vazão menor que a de racionamento caso não se consiga supri-la.

Assim simula-se a operação do sistema procurando-se a máxima vazão Q_{reg} que - operada segundo a equação 2.6 - permaneça dentro das condições impostas pelo planejador. Essas condições podem ser operar Q_{reg} em 90% do tempo simulado e 50% de Q_{reg} em 10% tempo simulado, garantindo na pior situação que 50% da demanda ainda possa ser suprida.

Numa política de operação como a descrita em 2.7, conhecida como política padrão², as vazões regularizadas são maiores que àquelas obtidas em 2.6, embora nada se possa garantir nos períodos críticos.

$$V_{operado} = \begin{cases} Q_{reg} & \text{se } S_t > S_{alerta} \\ Q_{falha} < \%Q_{reg} & \text{se } S_{t+1} \leq S_{min} \end{cases} \quad (2.7)$$

Comparando as duas políticas de operação pode-se deduzir com facilidade que a máxima vazão regularizada que pode ser obtida operando segundo a política (2.6), suprimindo Q_{reg} em 90% do tempo e 50% de Q_{reg} em 10%, será sempre maior que a máxima vazão que se conseguiria regularizar operando mediante (2.7) em 100% do tempo.

Do exposto, cada política operacional pode alcançar valores diferentes de vazões regularizadas e os efeitos de cada operação se repercutem de diferentes formas sobre os usuários. Ao se tentar retirar permanentemente mais água do sistema o mesmo se torna mais vulnerável e menos confiável.

² A política de operação padrão, política padrão, regra padrão (standard rule) ou regra míope, consiste numa política onde se tentará suprir a demanda alvo permanentemente, não importando o estado do sistema.

A grande idéia da política de operação 2.6 é permitir que seja feita uma negociação (*trade-off*) entre: (1) as retiradas de água; (2) o tempo em que o sistema atenderá integralmente à demanda e (3) qual o suprimento mínimo atingido nos períodos de falha.

A preocupação em garantir suprimentos nos períodos críticos não é recente. O *Bureau of Reclamation* (Lanna 2000 b) estabelece um critério para determinação da vazão regularizada no qual deverá ser atendida: 60% da demanda nos 5 anos mais críticos; 80% da demanda nos 10 anos mais críticos e 90% da demanda nos 20 anos mais críticos. Esses períodos podem ser sobrepostos ou não.

Muitos Estados do nordeste, em seus decretos que regulamentam as leis estaduais, adotaram uma vazão de referência tal qual fez o estado do Ceará. No entanto, não se sabe qual a política adotada para operar os reservatórios nestes estados. Paiva & Ribeiro (2000) fornecem as vazões de referência que tem sido regulamentadas em alguns estados do nordeste e seus respectivos decretos.

Bahia

A Superintendência de Recursos Hídricos, órgão gestor, se utiliza do Decreto Estadual nº 6.296/97 que dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos. O artigo 14 desse Decreto dispõe que ficam estabelecidos, para o somatório das vazões a serem outorgadas, os seguintes limites:

- 80% da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de 90% de permanência em nível diário, quando não houver barramento;
- 80% da vazão regularizada com 90% de garantia, das lagoas naturais ou barramentos implantados em mananciais perenes;

- 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes.

Ceará

A Secretaria de Recursos Hídricos e Projetos Especiais usa o Decreto Estadual nº 23.067/94 que define em seu artigo 35 que a soma dos volumes de água outorgada em uma determinada bacia, não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada com 90% de garantia.

Rio Grande do Norte

A Secretaria de Recursos Hídricos e Projetos Especiais usa o Decreto Estadual nº 13.283/97 que dispõe em seu artigo 17 exatamente o que foi estabelecido para o Ceará: a soma dos volumes de água outorgada numa determinada bacia, não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia.

Pernambuco

A Secretaria de Recursos Hídricos se respalda em dois decretos: o de nº 20.269/97 (que regulamenta a Lei nº 11.426/97 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos) e o de nº 20.423/98 (que regulamenta a Lei nº 11.427/97 que dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas).

Quanto a definição dos critérios para a vazão máxima outorgável, o Decreto Pernambucano nº 20.269/97 fez opção por não fixar qualquer valor. O artigo 17 desse Decreto dispõe que o órgão gestor definirá os volumes máximos com base nos estudos dos recursos hídricos existentes. Os critérios para definição desses valores deverão ser, portanto, estabelecidos nos Planos de Recursos Hídricos de cada bacia.

Paraíba

A outorga é prevista como um dos instrumentos de gestão pela lei nº 6.308/96 que institui a Política de Recursos Hídricos na Paraíba. A Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais usa o Decreto Estadual nº 19.260/97 que regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos.

O capítulo V desse Decreto dispõe sobre os critérios de quantificação para a outorga. O artigo 26 especifica que a soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia.

Observa-se que usualmente deixa-se uma reserva em torno de 1/10 da vazão regularizada a ser conservada fora de outorga. Embora não tenha se encontrado na literatura justificativa para tal procedimento, algumas razões podem justificar o ato: (1) incerteza nas disponibilidades; (2) incerteza nas demandas; (3) a prática de manter as demandas sempre abaixo da oferta como precaução e como instrumento de poupança de água (4) a preservação de uma vazão mínima para demandas difusas de jusante.

Alagoas

Em Alagoas a lei 5.965 institui a política estadual de recursos hídricos e o decreto nº 006 de 23 de janeiro de 2001 regulamenta a outorga de direito de uso. O decreto nº 006 não especifica a referência da vazão regularizada por reservatórios no entanto em seu artigo 12 a lei coloca que *“A soma dos volumes d’água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder a nove décimos da vazão regularizada anual, com noventa por cento de garantia”*.

3 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA: A BACIA DO RIO MOXOTÓ

Neste capítulo será a bacia far-se-á uma caracterização do ponto de vista geográfico, histórico e hidrológico, seguido de um diagnóstico e prognóstico das demandas e da infra-estrutura hidráulica e de acumulação da bacia.

As informações provêm de diversas fontes, sendo que na sua quase totalidade, foram extraídas do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Moxotó, SERHI-AL (1998), e gentilmente cedidas pela COHIDRO consultoria estudos e projetos.

Optou-se, também, pela utilização das informações hidrológicas produzidas para os estudos de transposição do São Francisco (BRASIL, 2000), de forma a se ter uma referência para os resultados alcançados.

3.1 Localização Geográfica

A bacia do rio Moxotó drena águas dos estados de Pernambuco e Alagoas, abrangendo nos dois estados uma área de aproximadamente 9700 km² da qual 90% se encontra em território pernambucano (figura 3.1). Tem sua foz na divisa dos dois estados percorrendo toda a fronteira Oeste de Alagoas.

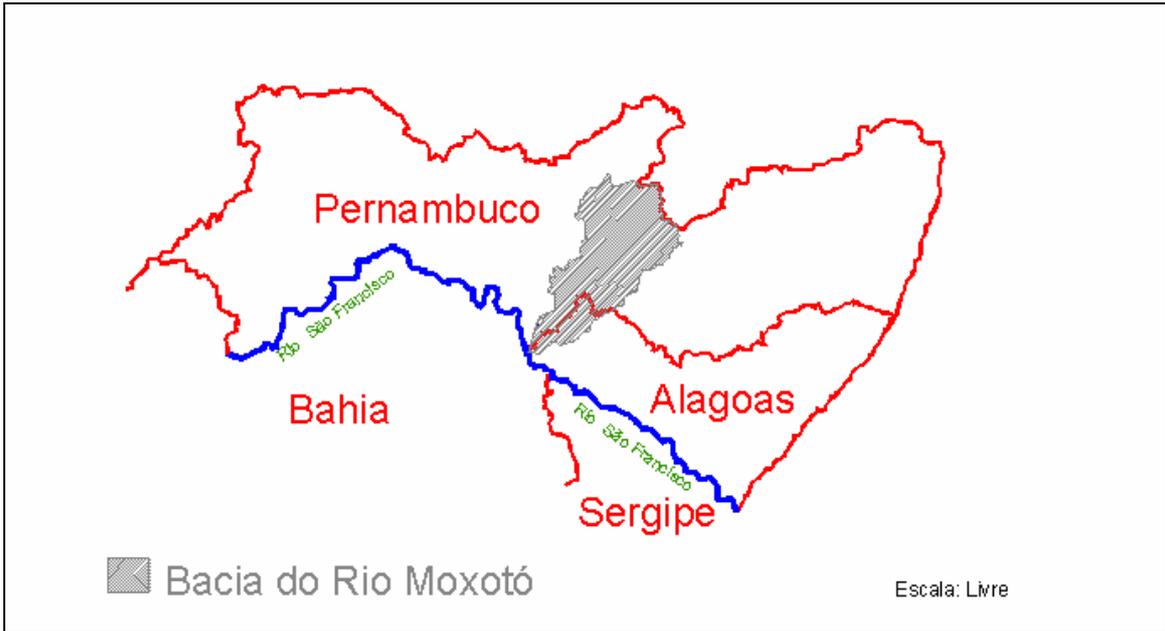


Figura 3.1 Localização Geográfica da Bacia do Rio Moxotó.

O clima da região é o Semi-Árido, estando a Bacia do rio Moxotó totalmente inserida no polígono das secas (figura 3.2).



Figura 3.2 Delimitação do Polígono das Secas

3.2 Divisão Municipal

A bacia do rio Moxotó abrange 16 municípios, sendo 12 no estado de Pernambuco e 4 no estado de Alagoas. A listagem dos municípios segue na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Municípios Pertencentes à bacia do rio Moxotó

MUNICÍPIOS INTEGRANTES DA BACIA DO RIO MOXOTÓ	
1 - Água Branca (AL)	9 - Ibimirim (PE)
2 - Delmiro Gouveia (AL)	10 - Inajá (PE)
3 - Mata Grande (AL)	11 - Manari ² (PE)
4 - Pariconha (AL)	12 - Petrolândia (PE)
5 - Arcoverde (PE)	13 - Jatobá ² (PE)
6 - Buíque (PE)	14 - Sertânia (PE)
7 - Custódia (PE)	15 - Tacaratu (PE)
8 - Floresta ¹ (PE)	16 - Tupanatinga (PE)

(1)- Desconsiderado no estudo pela sua pequena porção na bacia; (2)- Emancipados (Inajá/Manari e Petrolândia/Jatobá) em 1996, sendo considerados inclusos nos municípios de origem.

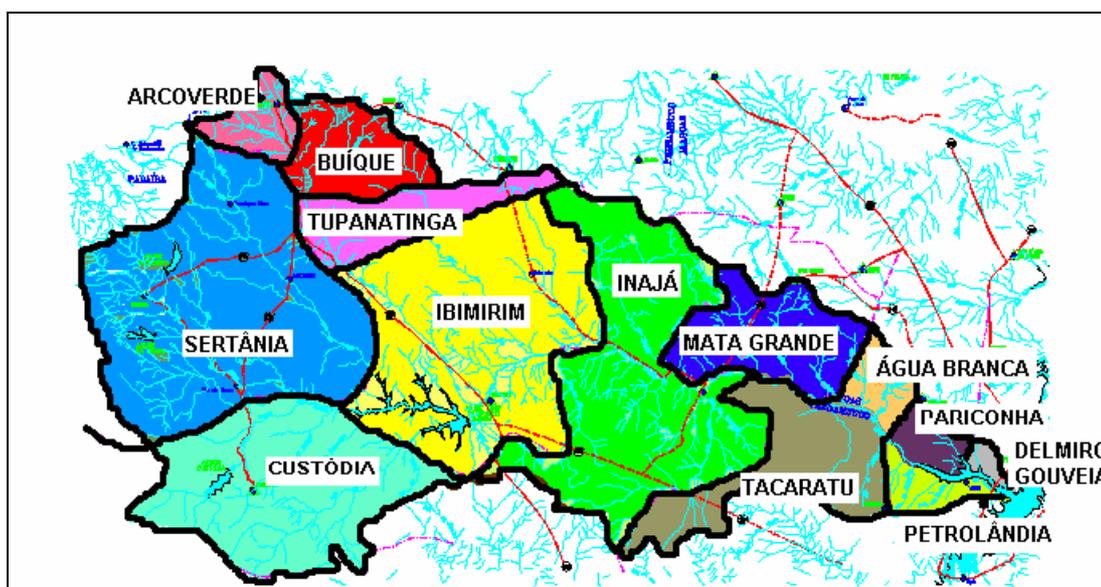


Figura 3.3 - Porções municipais limítrofes à bacia do Rio Moxotó

A figura 3.3 intersecciona os limites da bacia hidrográfica e os limites municipais que foram considerados no estudo.

3.3 Histórico da Ocupação da Bacia

Segundo SERHI-AL (op. cit.), o sertão Alagoano-Pernambucano foi sendo ocupado ao longo do tempo desde o início do século XVI. O povoamento da região se iniciou com o advento de expedições de mercenários, comerciantes e exploradores que, provenientes de Salvador (BA) e de Olinda (PE), subiram o rio São Francisco até a confluência com o rio Ipanema. Esse o ponto de obrigatória passagem para o interior do Sertão, da população que estava a procura de novas terras para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

As características do desenvolvimento regional foram delineadas a partir da atividade colonizadora implantada em todo o Nordeste. As relações entre a colônia e a metrópole (pacto colonial) se definia por um pacto monopolista entre as partes, em que as reservas de mercado da colônia se destinavam exclusivamente à metrópole. Os produtos comercializados eram produtos tropicais, bastante valorados na Europa.

Desta forma a economia se organizou para transformar as terras tropicais num centro produtor de gêneros de exportação para a metrópole. Essa organização se deu de fato sobre a grande lavoura da monocultura e sobre o trabalho escravo. Cultivado no litoral nordestino (zona da mata) o açúcar foi o primeiro produto tropical a alcançar alto valor comercial no mercado internacional. Foi na vizinhança dos engenhos que surgiram os primeiros povoamentos.

A cultura da cana-de-açúcar foi um grande polo dinamizador da economia nordestina. Enquanto no litoral a produção do açúcar se dava através da monocultura escravocrata, no sertão as atividades

desempenharam um papel de dar suporte ao funcionamento da cultura açucareira através do fornecimento de meios de subsistência para a população empregada no trabalho de exportação.

A exploração e organização dessas atividades subsidiárias não se condicionaram aos latifúndios e à utilização do trabalho escravo. A pecuária, como um dos exemplos do setor de subsistência, não se constituiu recorrendo à mão de obra escrava. Pelo seu caráter extensivo e periférico ao setor dinâmico da economia, a pecuária substituiu o escravo pelo trabalhador livre. A carne bovina foi um dos gêneros fundamentais do consumo colonial. Ainda que apresente importância relativa e tenha papel de atividade acessória, a pecuária serviu como forma de colonização e ocupação de novos territórios.

Outra atividade que merece citação é o algodão. Durante a Guerra de Secessão dos Estados Unidos, a procura de algodão no mercado alagoano para alimentar os teares ingleses impulsionou os preços e demandou aumento de produção. Nas safras de 1862/1864 a cotação do algodão superou em quase 100% a do açúcar. Após a recuperação dos Estados Unidos a produção de algodão no nordeste declinou consideravelmente.

Nas últimas décadas investimentos públicos e privados provocaram expressivas alterações no quadro de infra-estrutura rural e urbana e nas atividades socio-econômicas da região.

A proximidade dos rios, em especial do São Francisco, foi fundamental para a ocupação e o surgimento de núcleos habitacionais e fazendas de criação de gado, com insignificante produção agrícola, nos séculos XVI e XVIII. Entre os fatos que marcaram o século XIX podemos citar: a instalação de um pequeno comércio; surgimento de feiras; a abertura de rodovias; a implantação de uma estrada de ferro ligando os municípios de dois riachos - AL e Delmiro Gouveia - AL (antigo núcleo populacional *Pedra*);

e a implantação de unidades fabris (também no município de Delmiro Gouveia – AL).

Entre as cidades mais importantes da bacia do rio Moxotó podemos destacar, do lado alagoano, a cidade de Delmiro Gouveia, sendo responsável pela primeira Usina Hidroelétrica da região (Paulo Afonso), cuja energia veio a dar força motriz à primeira fábrica de linhas, construída por um habitante que veio a dar o atual nome do município. A fabrica transformou-se em uma indústria de tecidos de importante papel econômico inclusive nos dias de hoje.

No lado pernambucano, a cidade de Arcoverde é o município de maior destaque econômico, mantendo, até o momento atual, as atividades agropecuárias originais das suas ocupações. Atualmente, o setor de comércio e serviços tem sido apontado como o mais importante para a economia municipal. O setor secundário também apresenta algum destaque.

3.4 Hidrologia e Clima

A bacia do rio Moxotó se encontra totalmente inserida no trópico Semi-Árido. Seu potencial evaporativo fica em torno de 2200 mm anuais enquanto a total precipitado médio anual (na sub-bacia de contribuição ao açude Poço da Cruz – 4.084 km²) é 596 mm. Do total precipitado cerca de 4,9% é escoado superficialmente.

Segundo SCHEFFER (1995), na grande maioria do Sertão, os quatro meses consecutivos de maiores precipitações (denominado de quadra chuvosa) ocorre de janeiro a abril, quando são registrados entre 60 a 75% do total precipitado. Considerando um semestre chuvoso e outro seco, verifica-se que em torno de 80 a 90% das chuvas ocorrem nos meses de dezembro a maio, restando entre menos de 10% a 20% das chuvas para o semestre seco.

A precipitação na bacia, tanto apresenta uma variabilidade interanual, como pode ser percebido na figura 3.4, como também uma variabilidade intra-anual (figura 3.5).

A série histórica utilizada para a geração das figuras 3.4 e 3.5 se encontram no anexo A, tabelas A.1, A.2 e A.3.

Numa análise dos totais pluviométricos médios mensais (apesar da grande variabilidade intra-anual), constata-se que nos meses de fevereiro a maio precipita-se em média 64% do total anual (596 mm) enquanto o potencial evaporativo soma apenas 26% do total anual (2.200 mm).

Na figura 3.4 são confrontados os totais precipitados anuais e os deflúvios totais anuais (deflúvios simulados) entre os anos de 1963 e 1990. Observa-se que duas situações podem acontecer: (1) anos em que o total precipitado registrado foi acima da média (os anos de 1964, 1966, 1977, 1986 e 1988) resultando em deflúvios abaixo da média e (2) anos em que o total precipitado foi registrado abaixo da média anual resultando em deflúvios acima da média (ano de 1981).

Para analisar cada evento, escolheu-se três anos representativos das respectivas situações: (1) o ano de 1977 em que o total precipitado é registrado acima da média e o deflúvio é abaixo da média; (2) o ano de 1981 em que o total precipitado é registrado abaixo da média e o deflúvio é acima da média e (3) o ano de 1974 em que o total precipitado é registrado acima da média e o deflúvio também acima.

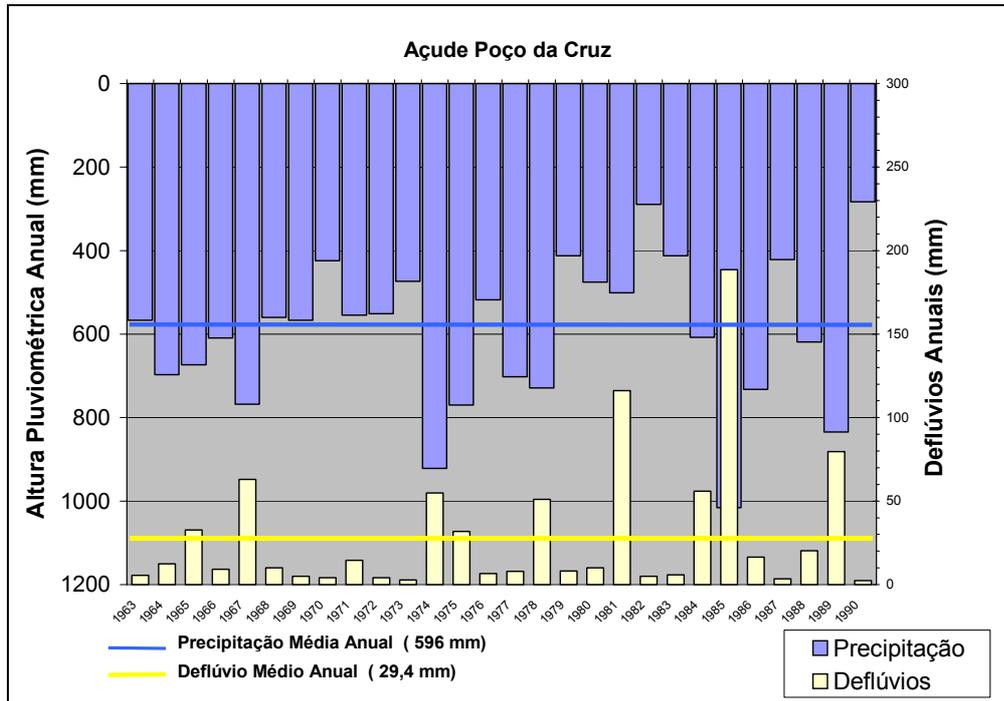


Figura 3.4 - Variação Anual dos totais precipitados e deflúvios

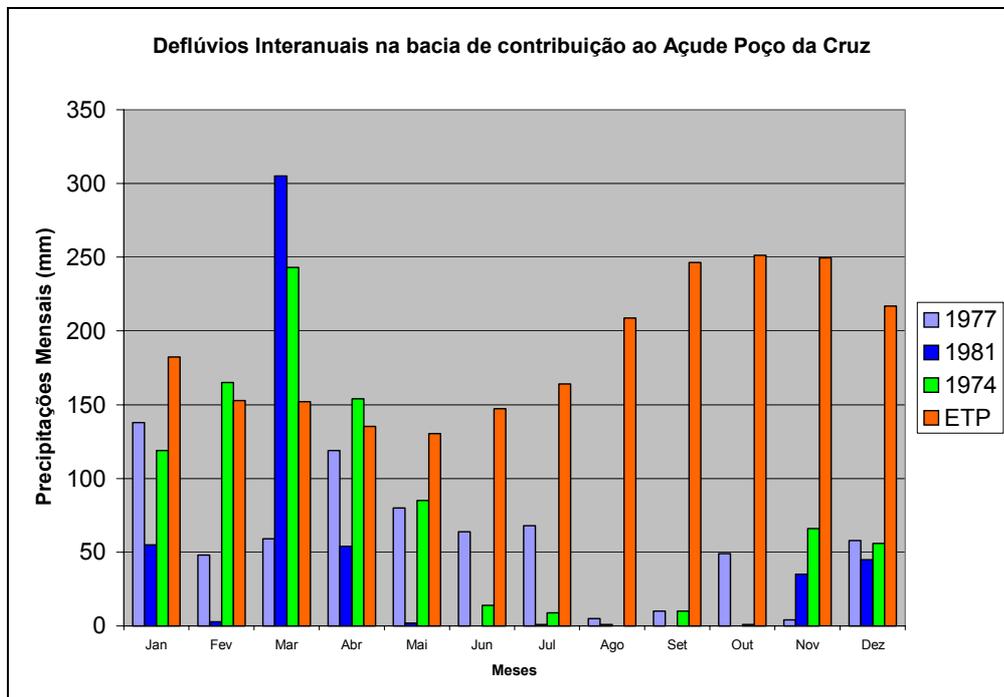


Figura 3.5 Variação intra-anual da precipitação e ETP

Analisando a figura 3.5, onde são graficadas a distribuição anual das precipitações e do potencial evaporativo dos anos representativos de cada evento, percebe-se que a ocorrência de deflúvios é fortemente condicionada à distribuição da precipitação e à sua totalidade. No ano de 1977 a chuva foi distribuída durante todo o ano, mas em nenhum momento a precipitação superou a demanda evaporativa. No ano de 1981 o total precipitado foi inferior ao ano de 1977, porém se concentra no mês de março superando substancialmente a evaporação no mês. No ano de 1974, apesar do total precipitado ter superado demasiadamente o ano de 1981, sua distribuição foi bastante regular, se dando levemente superior à evaporação durante o período úmido, acarretando deflúvios acima da média.

A variabilidade interanual e anual das chuvas associadas aos altos níveis de evaporação constituem as principais características hidrológicas da bacia do rio Moxotó.

Apesar dos deflúvios mostrados na figura 3.5 não apresentarem valores anuais nulos durante o período (embora chegue-se perto de zero), é comum a ocorrência de vazões médias diárias e, mesmo, mensais nulas principalmente após o mês de julho.

3.5 Hidrogeologia

Na bacia existem três aquíferos: (1) um aquífero fissural, localizado no norte da bacia, com área de 6220 km², apresenta poços com descarga média de 2.300 l/h (0.64 l/s) e vazões específicas da ordem de 317 l/h/m ; (2) Aquífero sedimentar do Jatobá, localizado numa faixa central da bacia (sentido NE-SO), possui área de 2.500 km², descargas médias de 6.600 l/h (1.8 l/s) e o Aquífero Aluvial, localizado no sul da bacia, abrangendo áreas de 880 km².

3.6 Infra-estrutura Hidráulica

3.6.1 Acumulação

A bacia do rio Moxotó dispõe de um potencial de acumulação de 1164,9 hm³ distribuídos em 81 reservatórios pela bacia (tabela 3.2). Da capacidade de acumulação total 504 hm³ se concentram no açude Eng. Francisco Sabóia (também conhecido como açude Poço da Cruz) localizado no município de Ibimirim, com área de contribuição de 4.364,7 km². O segundo maior açude da bacia é o Custódia, no município que lhe dá o nome, acumulando 21,6 hm³ com área de contribuição de 238,7 km².

Os demais 609 hm³ se constituem de açudes de pequeno porte distribuídos pela bacia.

Tabela 3.2 - Acumulação na bacia do rio Moxotó

Município	Açudes	Capacidade (hm³)
1- Arcoverde	8	0,7
2-Buíque	11	2,4
3-Custódia	10	47
4-Floresta	31	83,4
5-Ibimirim	3	1.008
6-Inajá	2	8,9
7-Petrolândia	1	0,8
8-Sertânia	13	13,5
9-Tacaratu	1	-
10- Tupanatinga	1	0,2
Total	81	1.164,90

3.6.2 Adutoras e Poços

Os municípios alagoanos de Delmiro Gouveia, Água Branca, Pariconha e Mata Grande são abastecidos pela adutora do sertão a partir do lago da UHE de Xingó.

Encontram-se em fase de construção as adutoras de Arcoverde e Custódia financiadas pelo Pró-Água Semi-Árido.

A adutora de Arcoverde abastecerá a cidade de mesmo nome a partir de águas subterrâneas por uma bateria de poços. Medirá 58 km de extensão e aduzirá 0,120 m³/s.

A adutora de Custódia visa a substituição do atual sistema de produção da cidade.

3.7 Topologia

Para uma maior compreensão do sistema bacia hidrográfica, faz-se uso da abordagem sistêmica, que visa a representar simplificada os aspectos relevantes da bacia. A abordagem permite que uma maior compreensão sobre a dinâmica do sistema possa ser alcançada e por conseguinte melhores intervenções a nível de planejamento e operação.

O sistema da bacia do rio Moxotó é representado na figura 3.6, através dos seus afluentes, seus reservatórios e seus pontos característicos (PC). Os PCs são bastante utilizados nos modelos de recursos hídricos e representam os locais onde é computado o balanço de massa e o local da concentração dos diversos tipos de demanda.

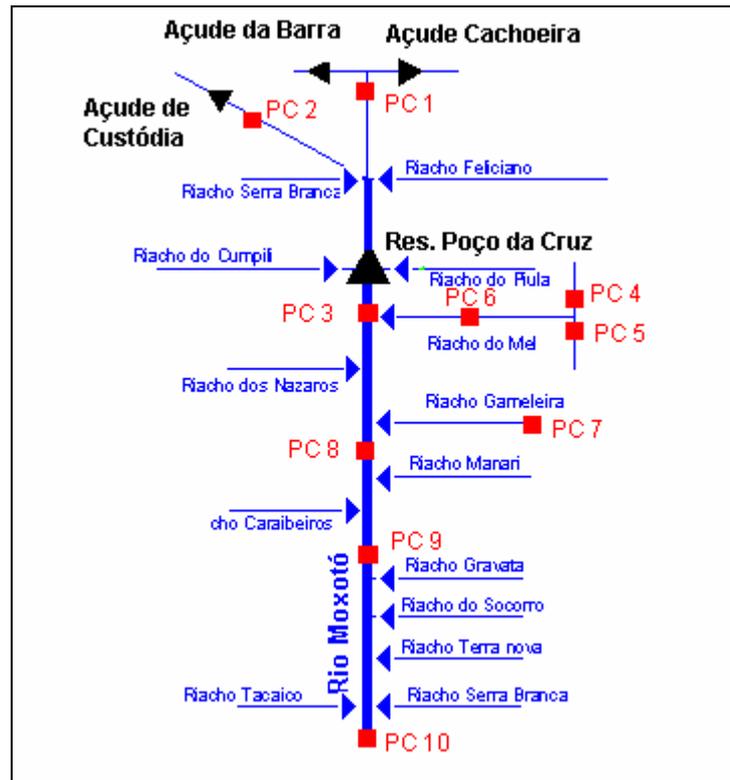


Figura 3.6 - Diagrama Unifilar da Bacia do Rio Moxotó

3.8 Saneamento Básico

3.8.1 Diagnóstico

No ano de 1996, de acordo com os dados do IBGE, a população dos municípios que compõem a bacia do rio Moxotó apresentava os valores da tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Contagem populacional para os municípios da Bacia do Rio Moxotó, IBGE 1996.

Município	População		Taxas (%)	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana
Arcoverde	5.849	52.873	-1,53	1,34
Buíque	26.732	11.748	-1,1	3,55
Custódia	12.993	14.918	-4,11	3,07
Ibimirim	11.518	14.227	-4,55	0,96
Inajá-Manari	15.325	7.361	-2,06	3,53
Petrolândia	13.367	20.390	-6,44	7,33
Sertânia	14.178	15.556	-2,37	0,04
Tacaratu	10.384	6.228	-1,88	0,97
Tupanatinga	14.068	5.129	-1,77	6,36
Água Branca	13.821	3.933	-1,5	1
Delmiro Gouveia	8.655	31.882	-1,34	-0,05
Mata Grande	19.694	4.693	-2,231	1,16
Pariconha	6.116	2.073	-	-

3.8.2 Tendências

As tendências do setor foram projetadas para os anos de 1999, 2002 e 2017 a partir do censo de 1996. A idéia era (estando no ano de 1997) estabelecer o cenário das tendências do setor para o curto prazo (2 anos), médio prazo (5 anos) e longo prazo (20 anos). Na tabela 3.4 são mostradas as projeções para os municípios que integram a bacia e na tabela 3.5 os valores da população difusa é computada proporcionalmente à área pertencente à bacia.

Observa-se também que há uma tendência da população rural se deslocar para os centros urbanos; essa tendência é percebida nas taxas geométricas que decrescem para a população rural e aumentam para as sedes municipais.

Tabela 3.4 Previsão populacional para os municípios que integram a bacia do rio Moxotó

Município	População		Taxas (%)		1999		2002		2017	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
Arcoverde	5.849	52.873	-1,53	1,34	5.588	55.027	5.339	57.269	4.249	69.925
Buíque	26.732	11.748	-1,1	3,55	25.575	13.507	25.016	14.483	21.191	24.441
Custódia	12.993	14.918	-4,11	3,07	10.985	16.836	10.101	17.886	5.382	28.151
Ibimirim	11.518	14.227	-4,55	0,96	9.561	14.781	8.710	15.066	4.332	17.388
Inajá-Manari	15.325	7.361	-2,06	3,53	14.101	8.457	13.526	9.064	9.898	15.252
Petrolândia	13.367	20.390	-6,44	7,33	10.242	27.058	8.966	31.171	3.303	90.066
Sertânia	14.178	15.556	-2,37	0,04	12.881	15.581	12.278	15.593	8.568	15.687
Tacaratu	10.384	6.228	-1,88	0,97	9.625	6.473	9.266	6.599	6.971	7.628
Tupanatinga	14.068	5.129	-1,77	6,36	13.098	6.564	12.639	7.425	9.669	18.723
Água Branca	13.821	3.933	-1,5	1,00	13.010	4.093	12.623	4.175	10.062	4.847
Delmiro Gouveia	8.655	31.882	-1,34	-0,05	8.200	31.818	7.982	31.786	6.520	31.549
Mata Grande	19.694	4.693	-2,231	1,16	17.995	4.915	17.202	5.029	12.265	5.979
Pariconha	6.116	2.073	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3.5 Previsão Populacional das porções municipais dentro dos limites das bacia

Município	1999		2002		2017	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
Arcoverde	2.743	55.027	2.621	57.269	2.086	69.925
Buíque	12.555	13.507	8.371	14.483	7.091	24.441
Custódia	5.393	16.836	8.814	17.886	4.697	28.151
Ibimirim	4.693	14.781	8.834	15.066	4.145	17.388
Inajá-Manari	6.922	8.457	13.531	9.064	9.902	15.252
Petrolândia	5.028	27.058	952	31.171	351	90.066
Sertânia	6.324	15.581	10.710	15.593	7.474	15.687
Tacaratu	4.725	6.473	5.108	6.599	3.843	7.628
Tupanatinga	6.430	6.564	5.509	7.425	4.214	18.723
Água Branca	6.387	4.093	4.140	4.175	3.300	4.847
Delmiro Gouveia	4.026	31.818	637	31.786	520	31.549
Mata Grande	8.834	4.915	11.499	5.029	8.199	5.979
Pariconha	-	-	-	-	-	-

Tabela 3.6 Populações urbana e rural listadas por pontos característicos (PCs) no cenário de longo prazo 2017

PCs	Núcleo Urbano	Pop. Urbana	Pop. Rural
PC1	Sertânia	15.687	897
PC2	Custódia	32.848	939
PC3	Ibimirim	21.533	11.742
PC4	Arcoverde	69.925	834
PC5	Buíque	24.441	1.773
PC6	-	-	5.774
PC7	Tupanatinga	18.723	546
PC8	-	-	7.490
PC9	Inajá	15.252	9.826
PC10	-	-	15.481

Os municípios Alagoanos são abastecidos pela adutora do Sertão a partir do São Francisco.

Tabela 3.7 - Matriz de Contribuição Populacional Difusa

Município	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Arcoverde				40%		60%				
Buíque					25%	40%		35%		
Custódia		20%	80%							
Ibimirim			22%				3%	70%	5%	
Inajá - Manari			5%						93%	2%
Petrolândia										100%
Sertânia	12%		88%							
Tacaratu										100%
Tupanatinga					40%	10%	50%			
Água Branca										100%
Delmiro Gouveia										100%
Mata Grande									5%	95%

Na tabela 3.6 é apresentada uma relação das demandas dos centros urbanos dos municípios por PCs (localizados na figura 3.6). Na tabela 3.7 são calculados os percentuais de contribuição de cada município na totalização da demanda difusa por PC. A necessidade da criação desta matriz se faz diante da concorrência entre demandas municipais numa mesma região de afluência ao PC.

A aplicação da matriz contida na tabela 3.7 em conjunto com as previsões de população rural para o ano de 2017 (tabela 3.5) resulta na listagem de demandas da população rural difusa por PC (tabela 3.6).

3.9 Irrigação

3.9.1 Diagnóstico

Foi detectada a disponibilidade de 182.525 ha de terras classe 3, próprias para irrigação identificadas pela CODEVASF.

Existem atualmente dois perímetros de irrigação que foram implantados pelo DNOCS e que estão paralisados ou sub-utilizados. São eles os perímetros de *Moxotó* (1300 ha) e *Custódia* (300 ha) localizados nos municípios de Ibimirim e Custódia respectivamente .

3.9.2 Tendências

As tendências para o crescimento do setor são:

1. Reabilitação dos Projetos de Moxotó e Custódia ;
2. Implantação de 1.600 ha através de Projetos-Tipo de irrigação por Aspersão, Gotejamento e Micro-aspersão.

A tabela 3.8 totaliza por PC, os projetos existentes e previstos.

Tabela 3.8 Distribuição dos Perímetros Irrigados nos Pontos Característicos (PCs)

PC	Projeto	Área (ha)	Situação
2	Custódia	300	Reabilitação
2	Custódia	100	Implantação
3	Ibimirim	1300	Reabilitação
6	Riacho do Mel	400	Implantação
8	Riacho Gameleira	600	Implantação
10	Tacaratu	500	Implantação
Total		3200	

3.10 Pecuária

3.10.1 Diagnóstico

Um diagnóstico com base nos dados do IBGE (1993) levantou a população dos rebanhos para os diversos municípios da bacia do rio Moxotó. Condensando as populações para os diversos tipos de rebanho na unidade *Bovino Equivalente* (O cálculo da BEDA é dado pela equação 3.1, sendo esta estimativa introduzida pelo Plano Integrado de Recursos Hídricos do Nordeste - PLIRHINE) para cada município (tabela 3.9) e reaplicando a matriz da tabela 3.7 obtemos a informação de BEDA/PC (tabela 3.10).

Tabela 3.9 – Distribuição de BEDAs por porção municipal dentro da bacia.

Município	BEDAS
1- Arcoverde	6.214
2-Buíque	10.585
3-Custódia	12.644
4-Ibimirim	5.062
5-Inajá	14.492
6-Petrolândia	16.949
7-Sertânia	39.506
8-Tacaratu	8.699
9- Tupanatinga	9.141
10 - Água Branca	2.538
11 - Delmiro Gouveia	3.626
12 - Mata Grande	5.611
Total	135.067

$$BEDA = Bovinos + Equinos + Asininos + Muares + \frac{2}{10}Ovinos + \frac{2}{10}Caprinos + \frac{1}{4}Suínos \quad (3.1)$$

Tabela 3.10 – Distribuição de BEDAS por PC

Ponto de Controle	BEDAS
PC1	4.741
PC2	2.529
PC3	46.719
PC4	2.486
PC5	2.646
PC6	11.619
PC7	1.066
PC8	11.819
PC9	14.012
PC10	16.869

3.10.2 Tendências

Não é especificado no plano nenhum prognóstico para o crescimento dos rebanhos nos próximos anos.

4 - METODOLOGIA DE ANÁLISE E SIMULAÇÃO: Concebendo um Sistema de Apoio à Outorga em Reservatórios.

4.1 Descrição Geral do Modelo

O modelo descrito a seguir permite que sejam avaliadas as políticas de operação (PO) para sistemas de reservatórios nos quais sejam definidos usos à jusante dos mesmos. Lembremos que uma política de operação (PO) consiste em estabelecer quanto ofertar, como ofertar, com que frequência o sistema falhará, quais as medidas a serem tomadas em caso de falha e quais as prioridades do suprimento.

Uma vez estabelecida a PO, simulado o sistema e obtidos os deflúvios resultantes, dar-se-á início a uma nova fase da simulação. Desta vez, a simulação tentará representar o atendimento às demandas seguindo as prioridades: (1) Dessedentação humana e animal – Demanda Primária e (2) Agricultura – Demanda Secundária.

Na simulação do atendimento à demanda agrícola o modelo simula a interação água-solo-cultura-clima conforme ocorre nos projetos de agricultura irrigada.

Após a simulação do atendimento serão avaliados os déficits ocorridos pela operação do sistema segundo ao PO estabelecida. No caso da dessedentação a quantificação dos déficits se restringe a um balanço entre o que deveria se fornecer e o que foi efetivamente fornecido pelo sistema, incluindo as perdas de adução. No caso da quantificação dos déficits agrícolas, necessita-se de um tratamento adicional, em que a interação água-solo-cultura-clima é fundamental para a avaliação dos déficits agrícolas.

De posse dos déficits, estimam-se valores econômicos para os benefícios gerados pelo fornecimento de água aos usuários, obtendo-se desta

forma um fluxo econômico das atividades usuárias de água para o período simulado.

Indicadores de performance do sistema juntamente com indicadores econômicos serão fornecidos ao analista após cada simulação, a fim de subsidiar-lhe nas decisões referentes à outorga de uso de água.

O modelo é basicamente composto dos seguintes módulos:

- Entrada de dados;
- Simulação da área Instalada em função das disponibilidades para outorga;
- Estimativa das demandas;
- Estabelecimento das Políticas Operacionais para reservatório.
- Simulação da operação segundo as políticas estabelecidas;
- Avaliação do atendimento às demandas por prioridade;
- Balanço hídrico no solo ;
- Quantificação dos déficits;
- Quantificação dos Benefícios Econômicos da Política Operacional Adotada;
- Avaliação do desempenho da Política Operacional;
- Saída de Dados: Subsídios à escolha.

O fluxograma exposto na figura 4.1 detalha a conexão entre as diversas tarefas realizadas pelo modelo:

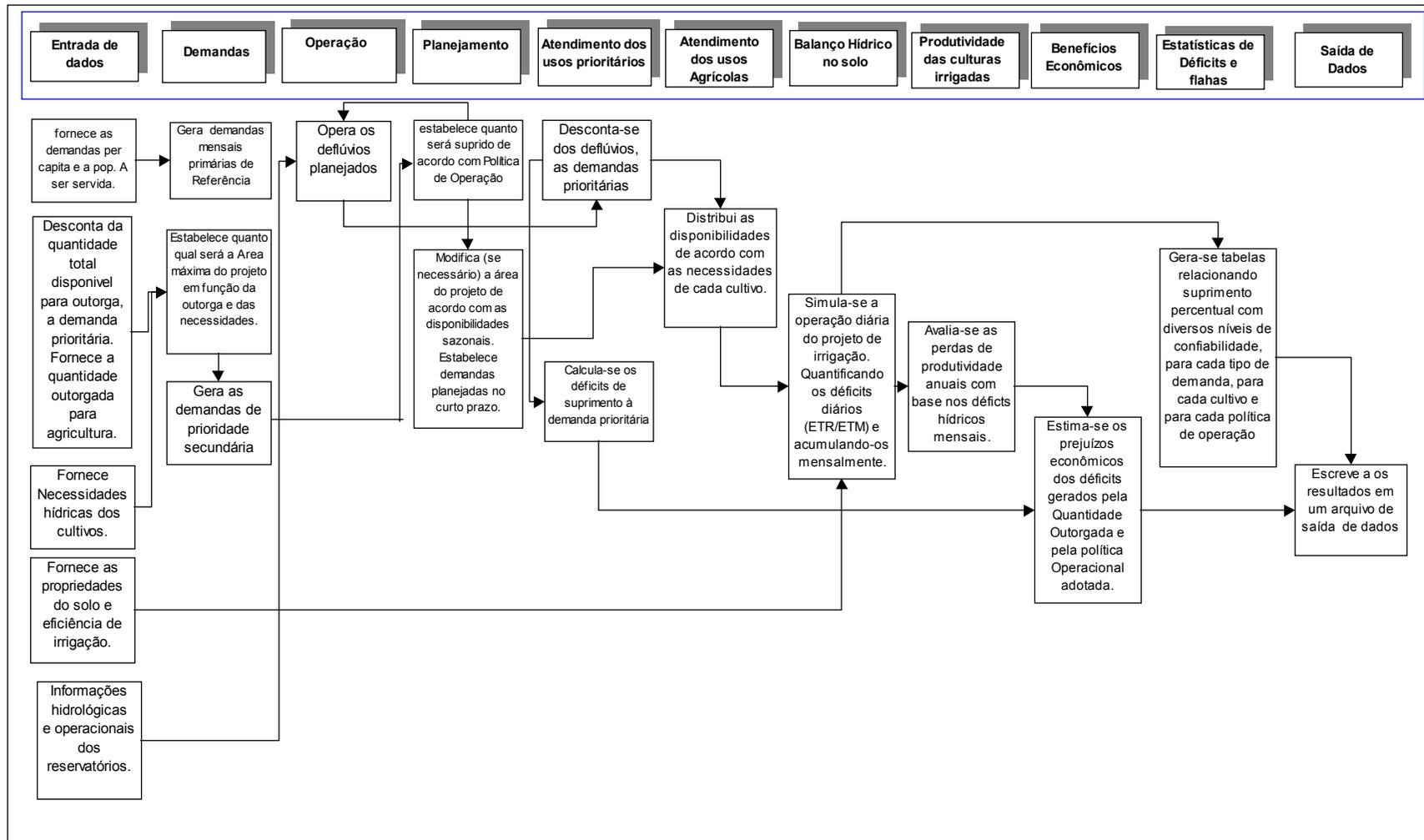


Figura 4.1 - Funcionamento do modelo

4.2 Simulação da Outorga

Antes de iniciarmos a metodologia utilizada convém estabelecer algumas premissas:

a) A vazão outorgada anualmente ($Q_{out,anual}$) será baseada nas vazões de referência, podendo assumir os valores de percentuais das seguintes vazões regularizadas Q95, Q90 e Q80;

b) A vazão disponível anual ($Q_{disp,anual}$), a ser operada a cada ano será menor ou igual à outorgada anualmente ($Q_{out,anual}$). Em casos de suprimento regular têm-se que:

$$Q_{disp,anual} = Q_{out,anual} \quad (4.1)$$

Porém nos casos em que ocorre falha tem-se:

$$Q_{disp,anual} < Q_{out,anual} \quad (4.2)$$

c) O valores de $Q_{out,anual}$ e $Q_{disp,anual}$ dependem da política operacional (PO) adotada.

d) Admite-se que a demanda secundária se ajustará ao valor de $Q_{disp,anual}$, sendo sua máxima produção dada quando a disponibilidade se iguala ao que foi outorgado (eq. 4.1).

4.2.1 Volume Anual Reservado à Demanda Prioritária

Estabelecido o volume anual disponível para uso ($Q_{disp,anual}$), fraciona-se o mesmo em duas partes: a primeira parte é destinada ao suprimento da demanda anual prioritária ($D_{pri,anual}$), que constitui, em linhas gerais, a dessedentação humana e animal que são resguardados na forma da lei.

As demandas prioritárias são geralmente estimadas através de métodos de projeção populacional (escolhendo-se aquele que melhor se ajusta à dinâmica populacional do local).

$$D_{pri,anual} = \sum_{t=1}^{12} \frac{nhab \times D_{percap}(t) \times fcl}{eficl} \quad (4.3)$$

Onde:

$D_{pri,anual}$ - Demanda prioritária anual ;

$nhab$ - Número de habitantes;

$D_{percap}(t)$ - Vetor de demanda per capita média mensal ;

fcl - fator de conversão de unidades;

$eficl$ - Eficiência no processo de adução, tratamento e distribuição de água para abastecimento humano.

t - intervalo mensal de simulação.

Quantificado-se o volume destinado a usos prioritários e descontando-o do volume máximo outorgável obtemos o volume que pode ser destinado a usos menos prioritários através da equação 4.4.

$$Q_{disp,sec} = Q_{disp,anual} - D_{pri,anual} \quad (4.4)$$

O modelo possibilita também a utilização de demandas per capita mínimas admissíveis ($D_{percap,min}(t)$) para o suprimento de água que, no caso de falha no abastecimento, a fonte alternativa de menor custo disponível deverá complementá-la.

A demanda mínima admissível representaria o fornecimento necessário para que o usuário mantivesse as mínimas condições de higiene, dessedentação e alimentação.

Como será explicado no item 4.6, a demanda mínima admissível deverá ser tomada como a demanda em situação regular de abastecimento.

4.2.2 Volume Anual Reservado à Demanda Secundária

Durante a fase de planejamento, estima-se a vazão regularizada a ser operada pelo reservatório, à qual se ajustará uma demanda. Durante a fase de operação, nem sempre será possível atender a demanda. Em virtude deste fato, a demanda deverá se ajustar ao que é ofertado naquele ano em virtude da disponibilidade vigente. A volume disponível a cada ano será estabelecido em função da política de operação do reservatório (PO).

Caso o volume máximo disponível em determinado ano ($Q_{disp,anual}$) seja suficiente para o suprimento da demanda prioritária, garantimos que (dentro da confiabilidade estabelecida) a mesma será atendida dentro do horizonte de projeto.

Após a determinação do volume disponível para a demanda outorgada aos usos agrícolas ($Q_{disp,sec}$), pressupõe-se o acontecimento de uma das duas situações explicadas a seguir, que são fundamentais à fidelidade da modelagem proposta.

A ocorrência de qualquer situação dentre as duas, nos levará ao consumo total da disponibilidade existente:

- Cenário 1 – Constata-se que a disponibilidade de água (no ano que se está simulando) para as atividades agrícolas ($Q_{disp,sec}$) é insuficiente para o seu suprimento dentro da confiabilidade estabelecida. Restariam portanto duas opções: (1) ampliar a oferta através de fontes alternativas; (2) Ajustar a demanda de acordo com a oferta disponibilizada pelo gestor. A curto prazo, a opção (2) torna-se mais factível, tendo em vista que as intervenções para incremento da oferta são lentas e em muitos casos inviáveis. E sendo a outorga um instrumento jurídico sujeito ao exercício do poder de polícia, os usuários cujas retiradas não estivessem outorgadas pelo poder público estariam sujeitos às sanções legais.
- Cenário 2 – Neste cenário a disponibilidade anual de água ($Q_{disp,sec}$) para o suprimento das demandas secundárias ($D_{sec,anual}$), como no caso da agricultura, é suficiente para o suprimento das mesmas, de forma que o excedente poderá ser apropriado por expansões do setor produtivo que utiliza a água como insumo. Supõe-se então, que a produção se expandirá até que seja limitada por algum fator de produção. No caso da agricultura essas restrições podem ser representadas pela disponibilidade de terras agricultáveis recomendadas à irrigação ou pela disponibilidade de água, permanecendo aquela mais restritiva.

Em ambas as situações, toda quantidade disponibilizada pelo gestor será plenamente utilizada a menos que restrições de outra natureza - que não seja hídrica - impossibilitem seu uso, tornando a oferta igual à demanda (equação 4.5).

$$D_{sec,anual} = Q_{disp,sec} \quad (4.5)$$

A idealização dos dois cenários supracitados justifica-se pelos objetivos deste estudo, que dentre outros visa analisar os impactos econômicos da oferta de água em bacias inseridas no semi-árido.

Se não pudéssemos simular as expansões ou retrações do consumo não seria possível avaliar se os benefícios decorrentes da oferta de uma unidade adicional de volume de água superariam os custos das perdas de produtividade decorrentes das falhas e do aumento dos custos operacionais de suprimento, provocadas por este incremento na oferta.

A simulação da captura do volume outorgável aos usos não prioritários ($Q_{out,sec}$) por parte do setor agrícola é dada pela equação 4.6.

$$Area_{irr} = \sum_j \sum_t \frac{Q_{disp,sec}}{\frac{perc(j) \cdot ETm(t, j)}{efic2}} \times fc2 \quad (4.6)$$

Onde:

$Area_{irr}$ - Área máxima irrigável diante do volume anual disponível para outorga;

$Q_{disp,sec}$ - Volume anual disponível para agricultura;

$efic2$ - Eficiência global de irrigação;

$perc(j)$ - Percentual da área total ocupada pelo cultivo j ;

$ETm(t, j)$ - Evapotranspiração máxima do cultivo j , no mês t ;

$fc2$ - Fator de conversão de unidades.

4.2.3 Considerações Sobre as Perdas e Eficiência na Quantificação das Demandas Anuais

Algumas considerações devem ser feitas sobre a quantificação das demandas primária e agrícola. Observou-se que a presença do fator de perdas ($efic1$) no denominador da equação 4.3 tende a majorar os volumes de água reservados ao suprimento da dessedentação humana. Quanto maiores sejam as perdas de adução, tratamento e distribuição cresce a necessidade de ofertar mais água para que o volume demandado seja efetivamente suprido.

Desconsiderar a ineficiência no serviço de saneamento não é um procedimento razoável, uma vez que – de modo geral – as empresas de saneamento no nordeste operam com elevados índices de perdas físicas.

No cálculo da demanda agrícola, também se levou em consideração a eficiência no uso da irrigação, no entanto ao estabelecer a área irrigável na equação 4.6 o termo de eficiência ($efic2$) reduzirá o total disponível para irrigação e por conseguinte a área possível de ser irrigada.

A metodologia utilizada para divisão das disponibilidades é bastante benevolente com o setor de saneamento em detrimento do setor agrícola. Nesta abordagem, o setor de saneamento não é incentivado a melhorar seus índices de eficiência enquanto o setor agrícola sim. No entanto, é uma

maneira de garantir que as demandas prioritárias não serão reprimidas em decorrência da ineficiência do concessionário do serviço de saneamento.

4.3 Políticas de Operação

A operação de um reservatório requer que uma *Política de Operação* seja estabelecida antecipadamente. A PO terá como conteúdo o detalhamento das diretrizes operacionais que devem ser tomadas para que os anseios desejados possam ser alcançados.

A política de operação contempla as seguintes diretrizes:

$$PO \left\{ \begin{array}{l} Q_{ofertada} \\ \text{Regra de Operação} \\ \text{Performance} \\ \text{Prioridades de Atendimento} \end{array} \right.$$

A decisão de oferta ($Q_{ofertada}$) é intrinsecamente associada à performance requerida para o sistema, e durante os processos de otimização aplicados aos sistemas de reservatórios formulação geral segue a seguinte premissa:

$$\begin{array}{l} \text{Max}(Q_{ofertada}) \\ \text{sujeito a:} \\ \text{performance mínima requerida} \end{array} \quad (4.7)$$

A seguir as Políticas de Operação testadas serão detalhadas em todos os termos que às compõem:

4.3.1 Política Padrão com Planejamento Anual

PREMISSAS

Essa PO visa atender a demanda de referência (Alvo) $D(t)$ a cada intervalo. Caso descarga efetiva liberada pelo reservatório não seja suficiente atender à demanda de referência integralmente ($R(t) = D(t)$), a liberação no período de falha (R_{falha}) será a máxima possível de forma que:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{falha} = \left\{ R(t) \mid 0 \leq R(t) \leq D(t) \right\} \\ \text{Max}(R_{falha}) \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Essa estratégia não contempla o princípio da otimalidade, no qual a cada estágio da operação se escolhe o caminho (seqüência de decisões) que a partir daquele estágio em diante leve aos benefícios máximos. Nesta PO a estratégia é maximizar os benefícios no estágio atual, sem se importar com a cadeia de decisões que levam ao ótimo, se constituindo numa estratégia *míope* de operação.

QUANTIDADE OFERTADA

A decisão de quanto ofertar seguirá um processo heurístico, onde se estabelece a performance requerida e a regra de operação, buscando-se as máximas retiradas anuais ($Q_{ofertada}$) que respeitem as condições mínimas exigidas.

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - \alpha(t) \times Q_{ofertada} - V(t) - E[t, t+1] \quad (4.9)$$

Onde:

$S(t + 1)$	- Armazenamento do reservatório no instante seguinte t+1;
$S(t)$	-Armazenamento do reservatório num dado intervalo de simulação t;
$\alpha(t)$	- Coeficiente de distribuição intra-anual da demanda;
$Q_{ofertada}$	- Volume ofertado anual;
$Q(t)$	- Volume afluyente ao reservatório no intervalo de simulação t;
$V(t)$	- Volume vertido;
$E[t, t + 1]$	- Evaporação Líquida média no reservatório.

Durante a realização do balanço em 4.9 o volume ofertado anual ($Q_{ofertada}$) a ser liberado ao longo dos meses do ano segue uma distribuição $\alpha(t)$, que representa um coeficiente de sazonalidade da demanda. Para cada mês do ano, admite-se uma fração da demanda anual que deve ser liberada.

Observa-se que a soma dos coeficientes de sazonalidade, ao ano, devem constituir 100% das liberações tal que:

$$\sum_{jan}^{Dez} \alpha(t) = 1 \quad 4.10$$

Esse artifício é justificável na etapa de avaliação da oferta, pois na maioria das vezes o analista não conhece os usos que serão instalados e por conseguinte a distribuição real das demandas ao longo do ano.

O problema da oferta do sistema se reduz então à simulação da operação do reservatório segundo o balanço de massa na equação 4.9 e sujeito a seguinte regra de operação, na qual se procura maximizar a oferta:

$$\text{Max}(Q_{\text{ofertada}}) \text{ sujeito a } \left\{ \begin{array}{l} g \geq \% \text{ requerido} \\ g = \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^{nt} X(t)}{nt}\right) \\ X(t) = 1 \text{ se } S(t) = S_{\min} \\ X(t) = 0 \text{ se } S(t) > S_{\min} \end{array} \right. \quad (4.11)$$

Onde:

- g - Garantia ou Confiabilidade da PO associada a série simulada;
- nt - total de intervalos de simulação;
- $X(t)$ - Variável indicativa do estado do sistema {satisfatório e insatisfatório};
- $S(t)$ - Armazenamento médio do reservatório num dado intervalo de simulação;
- S_{\min} - Armazenamento mínimo operacional (volume morto).

Para avaliação da oferta, tinha-se seguintes opções. Com base na série histórica:

a) fazer uso da série histórica dividida (*split-test*), onde um parte da série fluviométrica da tabela A.2 (Anexo) seria destinada à avaliação da oferta e a outra destinada à operação;

b) utilizar a mesma série para avaliar a oferta e posteriormente para operar o reservatório, assumindo-se que as condições se repetiriam pelos 29 anos seguintes.

Sabe-se que em função da série histórica são determinados a vazão ofertada e o volume de alerta, de forma que o período crítico apresentado

pelas séries utilizadas tem papel fundamental na estimativa destas variáveis.

Assumiui-se como objetivo deste trabalho, utilizar a série histórica, a fim de saber quais os impactos econômicos da implementação de uma PO em situação semelhante à da avaliação da oferta. Desta forma decidiu-se optar pela alínea (b), uma vez que a divisão da amostra poderia não reproduzir o período crítico utilizado para determinação da vazão regularizada (ofertada) e do volume de alerta. De fato, observando-se a figura 3.4, a década de 60 e 70 são bastante secas em relação à década de 80.

OPERAÇÃO

Na fase de operação propriamente dita, a simulação pode ser executada em um nível de detalhamento mais aprimorado. Nela supõe-se o conhecimento da distribuição de todas as demandas ao longo do ano e se planejará atendê-las segundo à regra a seguir:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - Rb(t) - V(t) - E[t, t+1] \quad (4.12)$$

O termo $Rb(t)$ corresponde ao volume que deve ser operado pelo reservatório considerando que descontadas as perdas, ainda seja possível suprir as demandas de referência $D(t)$.

$$Rb(t) = R(t) + \text{perdas totais} \quad (4.13)$$

$R(t)$ representa a *liberação efetiva* realizada no intervalo de simulação para o suprimento da *demanda de referência* $D(t)$, podendo ser entendida como a quantidade de água que efetivamente chega ao do consumidor, já tendo sido descontadas as perdas.

$$R(t) = \begin{cases} D(t) & \text{se } S(t+1) > S_{\min} \\ 0 \leq R_{falha} < D(t) & \text{se } S(t+1) = S_{\min} \end{cases} \quad (4.14)$$

Deve ser observado que as liberações mensais do reservatório $Rb(t)$ não devem superar, em volume anual, a oferta do reservatório ($Q_{ofertada}$).

$$\sum_{jan}^{Dez} Rb(t) \leq Q_{ofertada} \quad (4.15)$$

ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS

A *demanda de referência* representa a totalidade da demanda que deveria ser suprida na ponta do sistema. Ela pode ser dividida em duas partes: (1) uma relativa à demanda de referência prioritária $D1(t)$ e (2) uma relativa aos usos agrícolas $D2(t)$ conforme:

$$D(t) = D1(t) + D2(t) \quad (4.16)$$

Dentro da classe secundária estabelecemos uma divisão de classes entre as culturas *permanentes* e as culturas *temporárias*.

$$D2(t) = D2_{temp}(t) + D2_{perm}(t) \quad (4.17)$$

Essa subdivisão de prioridades dentro da mesma classe de demanda se faz necessária à medida que a ocorrência de déficits hídricos para os *cultivos permanentes* se repercutem na produtividade dos anos seguintes. Além disso, o déficit hídrico para tais cultivos pode significar não somente a

perda da safra como também a perda do cultivo, sendo necessária a sua replantação que é onerosa e demorada.

O mesmo não acontece com as *culturas temporárias* que por sua própria natureza são replantadas todos os anos e na qual a ocorrência de déficit significa apenas a perda da produção daquele ano.

A quantificação das demandas prioritárias e secundárias segue as equações 4.18 e 4.18. A demanda de referência primária é calculada em 4.18 como sendo o número de habitantes atendidos multiplicados pelos valores per capita.

A demanda de referência $D2(t)$ é estimada em função da área irrigada e evapotranspiração real máxima conforme 4.19.

$$D1(t) = nhab \times D_{percap}(t) \times fc1 \quad (4.18)$$

$$D2(t) = Area_{irr} \times perc(j) \times ETm(t, j) \times fc2 \quad (4.19)$$

A figura 4.2 ilustra as prioridades estabelecidas durante a simulação de atendimento às demandas. Convém ressaltar que a concepção do modelo segue as seguintes hipóteses:

- 1) as demandas são consideradas concentradas a jusante do reservatório;
- 2) como corolário da hipótese 1, supõe-se a existência de um mecanismo de controle e informação o qual permite a repressão de usos menos prioritários a montante da bacia caso um uso prioritário não seja atendido a jusante;

3) toda a demanda será abastecida unicamente pelo reservatório.

Observa-se na figura 4.2 que a quantidade aduzida é superior à demanda de referência. Ou seja, para suprir $D1(t)$, por exemplo, se aduz o valor $D1(t)/\text{efic1}$. O termo efic1 diz respeito às perdas no processo de adução, e sendo o valor de efic1 situado entre 0 e 1 o valor aduzido é no mínimo igual a $D1(t)$.

De modo análogo às perdas da demanda primária também ocorrem perdas na demanda secundária que são estimadas pelo termo efic2 .

As perdas são consideradas, portanto, uma demanda a ser suprida com prioridade sobre a demanda de referência.

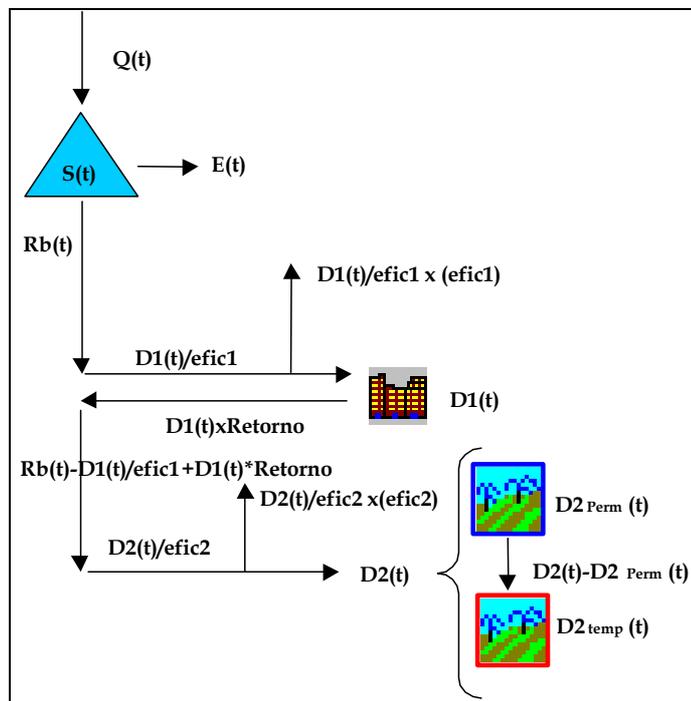


Figura 4.2 - Representação das prioridades durante o atendimento às demandas

Nas situações em que as descargas operadas pelo reservatório não são suficientes para atender a totalidade da demanda $D(t)$, poderá ocorrer as seguintes situações:

Situação 1 – Nesta situação a descarga operada $R_b(t)$ não é suficiente para atender a demanda de referência primária $D1(t)$. Este caso é estabelecido na equação 4.20 onde a descarga bruta é menor que a demanda primária mais as perdas $(\frac{D1(t)}{efic1})$ e por conseqüência, as perdas consomem parte da disponibilidade antes que elas possam ser utilizadas pela demanda de referência $D1(t)$.

$$R_b(t) < \frac{D1(t)}{efic1} \begin{cases} ATD1(t) = Rb(t) \times efic1 \\ ATD2(t) = 0 \end{cases} \quad (4.20)$$

onde:

$ATD1(t)$ - Atendimento efetivo à demanda primária;

$ATD2(t)$ - Atendimento efetivo à demanda secundária.

Situação 2 – Nesta situação a descarga operada $R_b(t)$ é suficiente para atender a demanda de referência primária $D1(t)$ mas não o é para a secundária.

A equação 4.21 apresenta a situação onde as demandas são supridas de acordo com a sua prioridade sobre as demais.

No estágio (I) a descarga operada pelo reservatório $R_b(t)$ é suficiente para atender a demanda primária mais as perdas $(\frac{D1(t)}{efic1})$ no entanto o que resta de $R_b(t)$ não é suficiente para atender a demanda secundária considerando-se as perdas $(\frac{D2(t)}{efic2})$.

Passa-se ao estágio (II), onde o atendimento à demanda primária é realizado $(R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1})$ e o restante é destinado ao atendimento dos cultivos permanentes $D2_{perm}(t)$. Nesta situação abrem-se duas opções: (a) o volume restante após o suprimento da demanda primária $(R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1})$ é suficiente para atender $D2_{perm}(t)$ e (b) o volume não o é suficiente.

Sendo assim, passa-se ao estágio III. Caso ocorra no segundo estágio a situação (a), descrita acima, a demanda dos cultivos permanentes $(D2_{perm}(t))$ é atendida plenamente e a demanda dos cultivos temporários $D2_{temp}(t)$ é atendida com a disponibilidade restante. Caso ocorra a situação (b), descrita acima, significa que a demanda dos cultivos temporários não é atendida.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{(I)} & \text{(II)} & \text{(III)} \\
 \frac{D1(t)}{efic1} < R_b(t) < \frac{D1(t)}{efic1} + \frac{D2(t)}{efic2} & \left\{ \begin{array}{l} \text{se } (R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1}) \times efic2 > D2_{perm}(t) \Rightarrow \\ \text{se } (R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1}) \times efic2 < D2_{perm}(t) \Rightarrow \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} ATD2_{perm}(t) = D2_{perm}(t) \\ ATD2_{temp}(t) = (R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1}) \times efic2 - D2_{perm}(t) \\ ATD2_{perm}(t) = (R_b(t) - \frac{D1(t)}{efic1}) \times efic2 \\ ATD2_{temp}(t) = 0 \end{array} \right. \quad (4.21)
 \end{array}$$

$ATD2_{perm}(t)$ - atendimento efetivo ao cultivo permanente;

$ATD2_{temp}(t)$ - atendimento efetivo às culturas temporárias.

Situação 3 – Nesta situação a descarga operada $R_b(t)$ é suficiente para atender a demanda de referência primária $D1(t)$ e a secundária $D2(t)$ e suas perdas no processo de suprimento.

$$R_b(t) = \frac{D1(t)}{efic1} + \frac{D2(t)}{efic2} \begin{cases} ATD1(t) = D1(t) \\ ATD2(t) = D2(t) \end{cases} \quad (4.22)$$

PLANEJAMENTO ANUAL DA OPERAÇÃO

Como estabelecido anteriormente nesta política de operação, a decisão sobre a quantidade disponibilizada para outorga ($Q_{out,anual}$) é dada com base na vazão ofertada pelo reservatório ($Q_{ofertada}$), que por sua vez é operado com uma probabilidade de não atender à demanda durante um percentual do tempo.

Não obstante esteja clara a possibilidade de falha no atendimento aos usos outorgados na bacia, algumas medidas devem ser tomadas antes do colapso, a fim de mitigar os efeitos da escassez sobre os usuários. Uma dessas medidas é a quantificação do volume que está disponível ao atendimento das classes de demanda no início de cada ano.

Sabendo-se quanto poderá ser suprido a cada classe de demanda no início do ano, se evitará o desperdício de recursos. Isso por que nas atividades agrícolas irrigadas (ao contrário das atividades de sequeiro) os usuários estão menos dispostos a arriscar a safra e os recursos na expectativa de um bom inverno. Principalmente porque a atividade agrícola irrigada requer que os compromissos financeiros assumidos no decorrer do

ano, tais como: compra de insumos, custeio, mobilização, dívidas de financiamento do investimento e outras, sejam saldadas com os recursos advindos do processo produtivo.

Não havendo produção, não haverá receitas e todo o investimento realizado será perdido, o que poderia ser evitado pelo simples ato de se destinar - em caso de eminência de falha - um volume assegurado a cada demanda, evitando que fossem realizados investimentos desnecessários por parte dos agricultores sem a contrapartida de receitas.

Algumas atividades agrícolas, tais como as culturas permanentes não poderão sofrer redução da escala de produção, mas as culturas temporárias sim. E ao se reduzir a área das culturas temporárias, um maior volume de água será alocado exclusivamente ao suprimento das culturas permanentes, mitigando os efeitos da seca sobre a agricultura.

O seguinte procedimento é adotado para determinação do volume disponível ao ano:

1. estando no início do mês de Janeiro (final do mês de dezembro), simula-se a operação do reservatório mensalmente sem considerar aflúências. Considera-se somente as retiradas por evaporação e as descargas operadas.
2. quantifica-se o total evaporado no ano ($V_{\text{evaporado}}$);
3. verifica-se se o menor armazenamento atingido durante os doze meses de operação seja menor que o mínimo operacional (S_{min}); se positivo, significa que houve falha na operação prognosticada;
4. caso ocorra falha durante a simulação sem aflúências estima-se o volume disponível no ano ($Q_{\text{disp,uso}}$) como sendo:

$$Q_{disp,uso} = S_{dezenbro} - V_{evaporado} - S_{min} \quad (4.23)$$

Caso o Volume disponível para o corrente ano ($Q_{disp,uso}$) seja inferior ao volume outorgado ($Q_{out,anual}$) diremos que neste ano será operado um volume de falha (Q_{falha}). Os cultivos temporários deverão se ajustar ao volume de falha, evitando que se instalem naquele ano, atividades consumidoras de água que não possam ser atendidas e devem também providenciar meios alternativos para diminuição do déficit.

O cálculo da disponibilidade de água para cada classe de demanda segue um balanço em termos de volumes anuais, que é expresso por:

$$\begin{aligned}
 & \text{se } Q_{falha} \geq \frac{D_{pri,anual}}{efic1} \Rightarrow \begin{cases} Q1_{falha} = D_{pri,anual} \\ Q2_{falha} = Q_{falha} - \frac{D_{pri,anual}}{efic1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{se } Q2_{falha} \times efic2 \geq D2_{perm,anual} \begin{cases} Q2_{perm,anual} = D2_{perm,anual} \\ Q2_{temp,anual} = Q2_{falha} \times efic2 - Q2_{perm,anual} \end{cases} \\ \text{se } Q2_{falha} \times efic2 < D2_{perm,anual} \begin{cases} Q2_{perm,anual} = Q2_{falha} \times efic2 \\ Q2_{temp,anual} = 0 \end{cases} \end{cases} \\
 & \text{se } Q_{falha} < \frac{D_{pri,anual}}{efic1} \Rightarrow \begin{cases} Q1_{falha} = Q_{falha} \\ Q2_{falha} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q2_{perm,anual} = 0 \\ Q2_{temp,anual} = 0 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (4.24)$$

- Q_{falha} - volume disponível anual em caso de falha;
- $Q1_{falha}$ - suprimento anual da demanda prioritária em caso de falha;
- $Q2_{falha}$ - suprimento anual da demanda secundária em caso de falha;
- $Q2_{perm,anual}$ - suprimento anual referente ao cultivo permanente em caso de falha;

$Q2_{temp,anual}$ - suprimento anual da demanda referente ao cultivo temporário em caso de falha.

De posse dos volumes anuais disponíveis alocados a cada classe de cultivo, as eventuais reduções de área cultivada da cultura temporária nos anos de falha se dá por:

$$fr = \frac{Q2_{temp,anual}}{D2_{temp,anual}} \quad (4.25)$$

O cálculo de fr é repetido no início de cada para ano cada cultura temporária.

Durante a simulação da operação do projeto, no momento do rateio das disponibilidades, cada cultivo receberá uma parcela proporcional à sua demanda. Observa-se em 4.26 que no momento da alocação do volume para uma determinada cultura (V_{irr}), que a fração de redução fr (4.25) da área da cultura irrigada funciona como um elemento distribuidor das disponibilidades à medida que $V_{irr}(t, j)$ aumenta quando fr decresce. Isso acontece porque ao se alocar um volume fixo de água sobre uma área menor (reduzida por fr) a lâmina disponível para irrigação aumenta.

Na equação 4.26 o atendimento efetivo à demanda secundária é multiplicado por um fator de proporcionalidade no qual o numerador representa a demanda consuntiva da cultura que está sendo simulada e no denominador a demanda consuntiva total inclusive a cultura em questão.

$$V_{irr}(t, j) = ATD2(t) \times \frac{kc(j) \times ETm(t, j) \times fr(i, j) \times fc2 \times perc(j) \times Area_{irr}}{\sum_{j=1} kc(j) \times ETm(t, j) \times fr(i, j) \times fc2 \times perc(j) \times Area_{irr}} \quad (4.26)$$

4.3.2 Política de Operação Baseada em Volumes de Alerta

PREMISSAS

Nesta PO buscar-se-á atender à demanda alvo $D(t)$ sempre que o armazenamento do reservatório superar o volume de alerta (S_{alerta}); caso contrário a liberação sofrerá uma redução previamente estabelecida.

O procedimento de redução das liberações para atendimento das demandas permite que na pior das situações um percentual da demanda ainda possa ser suprido.

Do ponto de vista do gerenciamento de recursos hídricos essa possibilidade de garantir um suprimento mínimo durante os períodos críticos, permite que:

1. usos prioritários sejam outorgados numa “faixa segura” com garantias maiores de atendimento;
2. que os usos menos prioritários possam ser outorgados na “faixa mista” (um percentual com garantia maior e outro com garantia menor) ou até mesmo completamente inseridos na faixa de menor garantia.

QUANTIDADE OFERTADA

A quantidade ofertada, analogamente a PO *padrão*, também segue um processo heurístico de busca. A simulação da operação do reservatório para fins de avaliação da oferta segue a equação de balanço descrita por:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - \alpha(t) \times frac \times Q_{ofertada} - V(t) - E[t, t+1] \quad (4.27)$$

Onde:

- $S(t+1)$ - Armazenamento do reservatório no instante seguinte t+1;
- $S(t)$ - Armazenamento do reservatório num dado intervalo de simulação t;
- $\alpha(t)$ - Coeficiente de distribuição intra-anual da demanda;
- $Q_{ofertada}$ - Volume ofertado anual;
- $frac$ - Fração de racionamento
- $Q(t)$ - Volume afluente ao reservatório no intervalo de simulação t;
- $V(t)$ - Volume vertido;
- $E[t, t+1]$ - Evaporação Líquida média no reservatório.

Observa-se em 4.27 que, em relação ao balanço para avaliação da oferta na PO *padrão* descrito em 4.9, foi adicionado um termo de redução

das descargas operadas $frac$ que pode assumir dois valores: (1) a fração de racionamento pré-estabelecida e (2) a unidade.

Quando as descargas operadas pelo reservatório oscilarem entre os dois valores percentuais estabelecidos para $frac$ sem que ao final do intervalo de simulação corrente $S(t+1)$, o nível do reservatório alcance o armazenamento mínimo operacional S_{min} , indicaremos a ausência de falhas fazendo $flag = 0$. Caso contrário, se a descarga disponível para liberação for menor que a fração pré-estabelecida para os períodos de racionamento, indicaremos que houve uma falha durante a operação fazendo $flag = 1$, conforme 4.28.

$$\begin{cases} frac = 1 \text{ se } [S(t-1) > S_{alerta} \ \& \ S(t+1) > S_{min}] \Rightarrow flag = 0 \\ frac = \% \text{ se } [S(t-1) \leq S_{alerta} \ \& \ S(t+1) > S_{min}] \Rightarrow flag = 0 \\ 0 \leq frac < \% \text{ se } S(t+1) = S_{min} \Rightarrow flag = 1 \end{cases} \quad (4.28)$$

Onde:

- $frac$ - Variável que introduz, se necessário, uma redução nas liberações do reservatório;
- $flag$ - Variável booleana indicativa de que durante a simulação da série não foi possível suprir o mínimo pré-estabelecido no período de racionamento, resultando numa falha ($flag = 1$);

A regra de operação da PO baseada em volumes de alerta segue o seguinte equacionamento:

$$\text{Max}[Q_{ofertada} = f(S_{alerta})] \text{ sujeito a } \left\{ \begin{array}{l} g \geq \% \text{ requerido} \\ g = \left(\frac{\sum_{t=1}^{nt} X_t}{nt} \right) \\ X_t = 1 \text{ se } frac = 1 \\ X_t = 0 \text{ se } frac = \% \\ flag = 0 \end{array} \right. \quad (4.29)$$

Onde:

- g - Garantia ou Confiabilidade da PO associada a série;
- nt - total de intervalos de simulação;
- X_t - Variável indicativa do estado do sistema ;

Observa-se em 4.29 que para cada volume de alerta S_{alerta} estabelecido existe um valor de $Q_{ofertada}$ associado, que atende às restrições impostas. Convém ressaltar, também, que o suprimento em regime de racionamento não é considerado como falha. A falha será a ocorrência de um suprimento menor que o pré-estabelecido para o regime de racionamento. Observa-se ainda que uma das restrições de 4.29 é a não-ocorrência de falhas durante a avaliação da oferta ($flag = 0$).

De modo análogo à PO padrão, a mesma série utilizada na determinação da oferta foi repetida para operar o reservatório.

OPERAÇÃO

A operação do reservatório propriamente dita, se dá de forma análoga à PO *padrão*, baseando-se no balanço descrito em 4.27 e obedecendo a seguinte regra de operação:

$$R(t) = \begin{cases} D(t) & \text{se } S(t-1) > S_{alerta} \\ \%D(t) & \text{se } S_{alerta} \geq S(t-1) \geq S_{min} \\ 0 \leq R_{falha} < \%D(t) & \text{se } S(t+1) \leq S_{min} \end{cases} \quad (4.30)$$

Durante a fase de avaliação da oferta, não se admitiu a ocorrência de falhas. Não obstante, permite-se que durante a operação seja possível a sua ocorrência. Isto se deve ao fato de que durante estudo preliminar de oferta o nível de detalhamento é bem mais baixo que o apresentado na operação.

Na verdade a simulação da operação real só é possível porque uma disponibilidade preliminar (Q_{out}) foi estabelecida na fase de avaliação da oferta. Na fase de simulação da outorga, os usos foram implantados em função desta oferta, permitindo que levantamento detalhado das demandas fosse realizado. Na fase de operação, como já foi dito, supõe-se o conhecimento das demandas que se estabeleceram em função do que foi ofertado. No entanto, não é assegurado que – por exemplo – a distribuição $\alpha(t)$ assumida para o volume ofertado anual Q_{out} seja aquela que se estabelecerá de fato.

Outras incertezas podem ser encontradas entre os processos de planejamento e operação, tais como as incertezas de natureza hidrológica e

as decorrentes da representatividade do modelo. Porém serão desconsideradas.

A decisão de se operar o sistema baseando-se nas demandas calculadas com base na oferta avaliada na fase preliminar, constitui uma fidelidade ao processo de operação real.

PLANEJAMENTO ANUAL DA OPERAÇÃO

Diferentemente da PO *padrão*, que estabelece a sua disponibilidade para o ano seguinte ($Q_{disp,anual}$) em função de uma simulação sem considerar as afluições, nesta PO teremos somente duas alternativas para a disponibilidade do ano que segue:

1. Operar 100% da vazão outorgada $Q_{out,anual}$, se ao fim do mês de dezembro o reservatório apresentar armazenamento superior ao volume de alerta.
2. Operar o percentual pré-estabelecido da vazão outorgada $\%Q_{out,anual}$, até que o reservatório apresente armazenamento superior ao volume de alerta.

O regime normal de suprimento somente poderá ser retomado se o reservatório, ao final do ano, apresentar armazenamento superior ao volume de alerta.

Na verdade, o planejamento agrícola poderia ser revisado ao final da estação chuvosa, que termina por volta do mês de maio, visto que nos demais meses do ano a contribuição é nula. Para que o problema possa ser simplificado o planejamento agrícola no início do ano é válido para todo o final.

Como vimos o volume disponível para planejamento anual (Q_{disp}) poderá assumir dois valores: (1) O volume outorgado anual ($Q_{out,anual}$) ou (2) um percentual pré-estabelecido ($\%Q_{out,anual}$). A determinação dos volumes disponíveis a cada classe de cultivo (permanente e temporária) para fins de planejamento anual segue o seguinte equacionamento:

$$\begin{aligned}
 \text{se } Q_{disp} \geq \frac{D_{pri,anual}}{efic1} &\Rightarrow \begin{cases} Q1_{disp} = D_{pri,anual} \\ Q2_{disp} = Q_{disp} - \frac{D_{pri,anual}}{efic1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{se } Q2_{disp} \times efic2 \geq D2_{perm,anual} &\begin{cases} Q2_{perm,anual} = D2_{perm,anual} \\ Q2_{temp,anual} = Q2_{disp} \times efic2 - Q2_{perm,anual} \end{cases} \\ \text{se } Q2_{disp} \times efic2 < D2_{perm,anual} &\begin{cases} Q2_{perm,anual} = Q2_{disp} \times efic2 \\ Q2_{temp,anual} = 0 \end{cases} \end{cases} \\
 \text{se } Q_{disp} < \frac{D_{pri,anual}}{efic1} &\Rightarrow \begin{cases} Q1_{disp} = D_{pri,anual} \\ Q2_{disp} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q2_{perm,anual} = 0 \\ Q2_{temp,anual} = 0 \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{4.31}$$

O fator de redução da área cultivada por cultivos temporários nesta PO também será dada pela equação 4.25.

O procedimento de rateio das disponibilidades para cada cultivo seguirá, de modo análogo ao estabelecido para a PO *padrão* na equação 4.20.

4.4 Operação dos Projetos de Irrigação

Após ser determinado o volume disponível a cada cultivo $V_{irr}(t, j)$ em função da vazão operada no mês, inicia-se a simulação da operação do projeto de irrigação.

Apesar das simulações do reservatório serem realizadas em volumes mensais, a simulação da operação do projeto de irrigação será realizada em

nível diário, considerando-se um mês de 30 dias. Supõe-se portanto a existência de reservatórios de compensação dentro dos lotes, os quais possibilitam a distribuição do volume mensal operado pelo reservatório de regularização da bacia em volumes diários de acordo com a necessidade do projeto.

Uma vez determinado o volume disponível líquido para irrigação de cada cultura a cada intervalo mensal $V_{irr}(t, j)$, pela equação 4.26, procedemos a simulação da operação do perímetro.

Para se operar o projeto é necessário o conhecimento do *turno de rega* $Tr(t, j)$ para cada cultivo no mês em questão. O *turno de rega* é o intervalo no qual é necessária a repetição da aplicação da lâmina de irrigação a fim de que a evaporação real $ETr(t, j)$ seja sempre igualada à evaporação máxima $ETm(t, j)$.

$$Tr(t, j) = \frac{p \times (CC - PM) \times d(t, j)}{ETm(t, j)} \quad (4.32)$$

Onde:

- $Tr(t, j)$ - Turno de rega (dias);
- CC - Capacidade de Campo do solo (mm/m);
- PM - Ponto de Murcha Permanente (mm/m);
- $d(t, j)$ - Profundidade das raízes no mês t (m);
- $ETm(t, j)$ - Evaporação Potencial (mm/dia);
- p - Fração de água disponível no solo

A *capacidade de campo* (CC) pode ser considerada a umidade disponível no solo para uma tensão de 0,1 a 0,2 atm. O ponto de murcha (PM) permanente é determinado como a umidade presente no solo a uma tensão de 15 atm. A água disponível no solo oscila entre esses dois valores.

Apesar da disponibilidade de água ser definida como a diferença entre os dois valores ($CC - PM$), apenas uma fração (p) torna possível a igualdade entre a evaporação real e a máxima $E_{Tr}(t, j) = E_{Tm}(t, j)$, o que nos leva a definir o turno de rega (Tr) como o intervalo em que essa disponibilidade parcial é consumida.

A figura 4.3 ilustra o fração de água disponível no solo (p), disponível à profundidade das raízes (d).

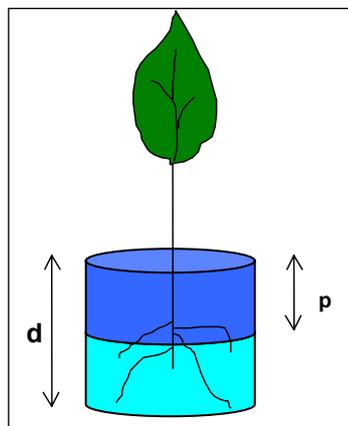


Figura 4.3 - Ilustração da distribuição de água disponível no sistema radicular.

A equação geral do balanço de água no solo é dada por:

$$U(t^* + 1) = U(t^*) - ETr(j, t^*) + L_{irr}(j, t^*) + P_{ef}(j, t^*) - Perc(j, t^*) - V_{esc}(j, t^*) \quad (4.33)$$

Onde:

- t^* - intervalo de tempo diário no mês t ;
- $U(t^*)$ - Umidade do solo no dia t^* ;
- $ETr(j, t^*)$ - Evaporação real da cultura j no dia t^* ;
- $L_{irr}(j, t^*)$ - Lâmina de irrigação aplicada na cultura j no dia t^* ;
- $P_{ef}(t^*)$ - Precipitação efetiva sobre o perímetro no dia t^* ;
- $Perc(j, t^*)$ - Lamina percolada na parcela da cultura j no dia t^* ;
- $V_{esc}(j, t^*)$ - Lâmina escoada na parcela da cultura j no dia t^* ;

Durante as simulações de balanço hídrico no solo serão válidas as seguintes hipóteses:

1. Não haverá percolação, pois imagina-se que o operador do projeto somente aplicará o necessário para que a capacidade de campo seja atingida;
2. Não se levará em consideração a precipitação efetiva, ou seja, toda umidade presente no solo será proveniente da irrigação;
3. Durante a aplicação da lâmina de irrigação a taxa de aplicação será sempre inferior a capacidade de infiltração, não gerando, portanto escoamento superficial.

As três idealizações do problema reduzem a equação 4.33 para:

$$U(t^* + 1) = U(t^*) - ETr(j, t^*) + L_{irr}(j, t^*) \quad (4.34)$$

Segundo RIJTEMA & ABOUKHALED (1975) em DOORENBOS & KASSAN (1994) a evaporação real se relaciona com a umidade do solo da seguinte forma:

$$\begin{cases} ETr(t^*, j) = ETm(t^*, j) & \text{se } U(t^*) > (1 - p) \times (CC - PM) \times d \\ ETr(t^*, j) = \frac{U(t^*)}{(1 - p) \times (CC - PM) \times d} \times ETm(t^*, j) & \text{se } U(t^*) \leq (1 - p) \times (CC - PM) \times d \end{cases} \quad (4.35)$$

A determinação da evaporação real mensal ($ETr(t, j)$) será dada por:

$$ETr(t, j) = \sum_{t^*=1}^{30} ETr(t^*, j) \quad (4.36)$$

No caso do volume disponível mensal ser inferior a demanda da cultura, a operação do projeto tentará suprir ao máximo a necessidade do cultivo daquele turno de rega de forma que, os últimos turnos de rega do mês apresentarão déficit enquanto os primeiros turnos do mês serão satisfeitos (dentro da disponibilidade). Trata-se de uma operação míope do projeto agrícola.

Diversas alternativas de distribuição mensal da disponibilidade de água $V_{irr}(t, j)$, poderiam ser administradas pelo operador do projeto agrícola ao invés da alternativa escolhida. Porém, maior complexidade seria agregada ao tema fugindo ao escopo da outorga e da operação de reservatórios.

Na simulação mostrada na figura 4.4 , podemos observar claramente as conseqüências da operação míope do projeto. Nos três primeiros turnos de rega a evaporação real $ETr(j,t)$ se manteve constante e a umidade no solo $U(t^*)$ oscilou entre os valores de $(1-p)\times(CC-PM)\times d$ e $(CC-PM)\times d$. No entanto, no último turno de rega do mês, a lâmina aplicada foi insuficiente para que a umidade se mantivesse na faixa de água disponível, de forma que ao atingir o vigésimo dia do mês, a umidade no solo se encontra abaixo da umidade necessária para fazer a evaporação real ($ETr(t^*,j)$) igual a máxima ($ETm(t^*,j)$) provocando um declínio na evaporação real.

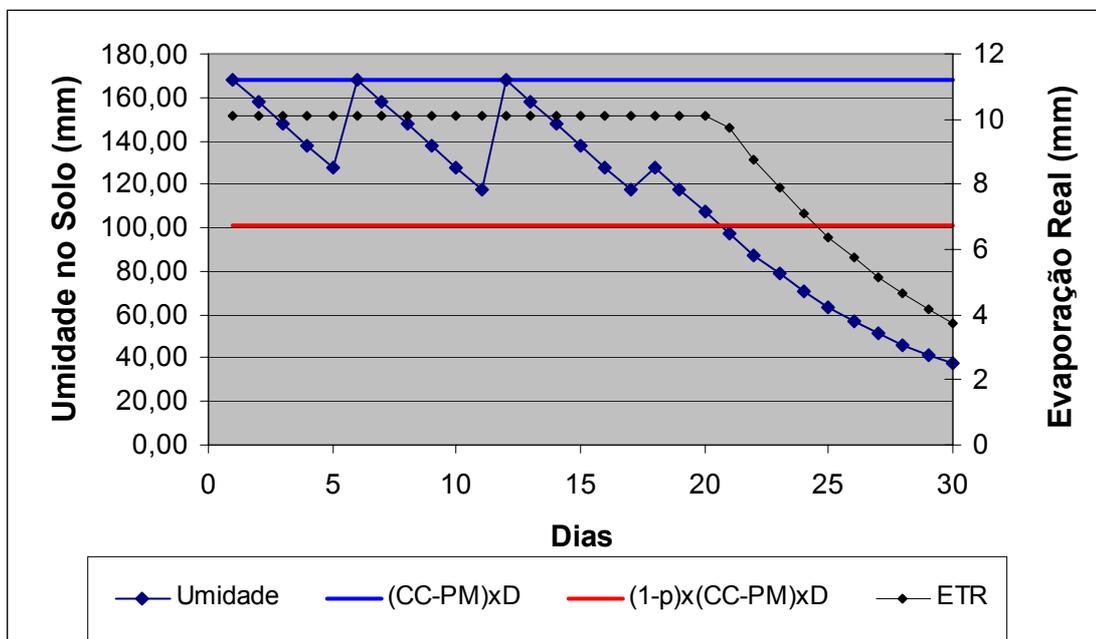


Figura 4.4 – Ilustração da evaporação real em função das condições de umidade no solo e da lâmina disponível no turno de rega.

4.5 Avaliação das Perdas de Produtividade das Culturas Irrigadas

Segundo DOORENBOS & KASSAN (op. cit.), para quantificarmos o efeito do estresse hídrico na planta é necessário obter uma relação entre o seu *estresse hídrico relativo* e a sua *queda de produtividade relativa*.

Os dois termos se relacionam linearmente através de um fator experimental denominado *coeficiente de resposta ao déficit*. O coeficiente de resposta ao déficit é capaz de refletir o efeito sazonal do déficit no estágio de crescimento. A relação é dada por:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = k_y \times \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (4.37)$$

Onde:

- Y_r - Produtividade real do cultivo;
- Y_m - Produtividade máxima do cultivo;
- K_y - Coeficiente de resposta ao déficit;
- ET_r - Evaporação real;
- ET_m - Evaporação máxima.

A relação produtividade – água também é afetada por outros fatores além da água, tais como: variedades de cultivo, fertilizantes, teor de salinidade, manejo agrícola e etc. Porém, a relação entre o déficit hídrico relativo e a perda de produção relativa se refere a variedades altamente produtivas, bem adaptadas ao local de crescimento, desenvolvendo-se em grandes áreas, onde as práticas agrônômicas são realizadas sob condições ótimas. Supõe-se que todos os insumos necessários a produção serão plenamente satisfatórios, exceto a água.

A relação linear entre o déficit relativo e a perda de produtividade (equação 4.37) é válida somente para déficits hídricos até 50% . Ou seja:

$$1 - \frac{ETr}{ETm} \geq 0.5 \quad (4.38)$$

RAO et. alli (1987) observa que a equação 4.37 não é diretamente aplicável ao caso de planejamento agrícola com suprimento de água limitado, isto porque o fator de resposta (k_y) quantifica o efeito do estresse num determinado estágio de crescimento vegetativo. Propõe então que seja estimada uma função de produtividade que permita quantificá-la através da combinação de déficits ocorridos em quaisquer estágios do ciclo vegetativo.

Dentre vários modelos propostos por RAO utilizaremos o modelo aditivo, dado por:

$$\frac{Yr(i, j)}{Ym(j)} = 1 - \sum_{z=1}^{N(z)} k_y(z, j) \times \left(1 - \frac{ETr(z, j)}{ETm(z, j)}\right) \quad (4.39)$$

$Yr(i, j)$ - Produtividade real do cultivo j no ano i (kg/ha);

$Ym(j)$ - Produtividade máxima para cultivo j (kg/ha);

$Ky(z, j)$ - Coeficiente de resposta ao déficit no mês de cultivo z para o cultivo j;

$ETr(z, j)$ - Evaporação real no mês de cultivo z para o cultivo j;

$ETm(z, j)$ - Evaporação máxima no mês de cultivo z para o cultivo j.

$N(z)$ - Número de meses do ano em que se realiza o cultivo j

z - Índice dos meses de cultivo da cultura j $z \in \{t\}$

A desvantagem do modelo aditivo exposto em 4.39 é o fato de que para elevados valores de $k_y(t, j)$ as perdas de produtividade tendem a ser superestimadas e muitas vezes superam a unidade ($\frac{Yr(i, j)}{Ym(j)} < 0$).

É importante ressaltar também que a *função de produtividade* explícita em 4.39 somente é válida para déficits hídricos não maiores que 50%, pois os valores dos coeficientes de resposta foram estimados para esse intervalo.

Em caso de ocorrência de déficits fora do intervalo de validação do modelo será considerada perda total de produção.

Trabalhos recentes também utilizaram, de modo basal, a metodologia exposta com algumas variações para determinação de produtividade de culturas sujeitas a déficits hídricos, tais como LANNA & ALMEIDA (1996) e OLIVEIRA & LANNA (1997).

4.6 Avaliação dos Custos Operacionais para o Atendimento da Demanda Primária

A análise custo benefício do suprimento de água para o suprimento dos usos de maior prioridade traz consigo uma complexidade associada à determinação dos benefícios agregados pela sociedade à sua realização.

Alguns métodos são utilizados para determinação da curva de benefícios marginais (curva de demanda) decorrente do abastecimento urbano são: *Demanda Contigente* e *Demanda “Tudo ou Nada”* (CARRERA-FERNANDEZ, 1993 em GARRIDO, 2000).

O método da Demanda *“Tudo ou Nada”* é baseado no custo de oportunidade e estima os benefícios de um serviço ou suprimento. A demanda *“tudo ou nada”* considera que o usuário está usufruindo do serviço que lhe é mais econômico e que o uso alternativo lhe custaria mais caro. Portanto, o benefício que o serviço atual lhe proporciona é a economia deste custo adicional que ele deixa de pagar enquanto o serviço atual funcionar.

RIBEIRO & LANNA (2001) ressaltam que na metodologia baseada no custo de oportunidade “ (...) não se admite a hipótese de que o usuário cesse o consumo e arque com as suas perdas (ou com a insatisfação da carência de água), o que seria outra alternativa do custo de oportunidade.”

Para permitir a determinação dos benefícios do atendimento à demanda primária, a avaliação será feita através da quantificação dos aumentos dos custos operacionais devido às falhas. A análise contemplará dois cenários: (1) um cenário em que o sistema atende integralmente a demanda, que será considerado o “branco” do sistema e (2) o cenário onde se analisa a operação real sujeita a falhas.

É sabido que numa situação de operação regular (sem falhas), o custo médio unitário de exploração (R\$/m³) é significativamente menor que o custo médio unitário durante os períodos de falha. A tabela 4.1 (PROÁGUA, 1998) ilustra este fato.

Tabela 4.1 – Custos de Fontes Alternativas de Água no Nordeste Brasileiro

Tipo de Fonte	Custo Médio (R\$/m³)	Consumo Médio (m³/mês/família)
Ligado à Rede Pública	0.58	17.72
Carro Pipa	3.74	4.82
Poço	0.9	14.31
Busca de Água	4.38	4.52
Compra de Água	7.25	3.72

Modificado de PROÁGUA (1998)

A ocorrência de falhas no sistema, que torne compulsório o suprimento de uma demanda mínima às necessidades humanas via fontes alternativas, onera significativamente os custos operacionais.

A passagem de uma situação sem falhas para uma situação com falhas, apresenta então, um custo incremental na operação. Esse custo

incremental devido às falhas será determinado em termos de valores atuais e em seguida transformado em anuidade equivalente, servindo como parâmetro para a análise das políticas operacionais.

A análise do custo operacional incremental devido as falhas se torna importante pois permite quantificar - para as políticas de operação que compartilham o risco de não atendimento entre os setores usuários - qual o impacto da oferta adicional para um setor sobre os demais.

Dependendo da política de operação, o risco de falha incrementado por uma oferta adicional pode ou não ser compartilhado pelos setores usuários. A política padrão, por exemplo, coloca todos os usuários sob o mesmo patamar de vulnerabilidade à medida que deixa o sistema vulnerável em 100% durante os períodos de falha. Qualquer incremento dado na oferta de um sistema operado por esta política, aumentará a possibilidade do sistema falhar por completo, repercutindo as conseqüências em outros setores da economia que não incrementaram a demanda.

Cada metro cúbico que se decide ofertar pelo sistema decrementa sua confiabilidade e, embora o princípio da primazia dos usos seja válido, ele somente funciona em situações de falha parcial pois nas situações de falha total tantos os usos menos prioritários como os mais prioritários se encontram na mesma situação de atendimento (nulo).

A Análise Benefício/Custo sem considerar o impacto da oferta sobre os demais setores constitui, portanto, um ganho irreal, pois não contabiliza os custos das falhas, provocados pelo incremento da oferta nos demais setores.

O custo operacional incremental devido às falhas será denominado simplesmente de *Custo Operacional das Falhas*.

Embora a idéia de incremento seja pertinente a esse raciocínio, optou-se por utilizar a denominação de *Custo Operacional Incremental* para avaliar o incremento de custo provocado pelo aumento da oferta.

O Custo Operacional das Falhas será dado por:

$$\begin{cases} \text{Se } ATDI(t) \geq D_{percap,\min}(t) \Rightarrow CO_{falhas}(t) = \overline{CO}_{reg} \times ATDI(t) \\ \text{Se } ATDI(t) < D_{percap,\min}(t) \Rightarrow CO_{falhas}(t) = \overline{CO}_{reg} \times ATDI(t) + \overline{CO}_{rac} \times (D_{percap,\min}(t) - ATDI(t)) \end{cases} \quad (4.40)$$

Não obstante a equação 4.40 possibilite um suprimento mínimo em regime de racionamento ($D_{percap,\min}(t)$) a fim de considerar que na situação de falha o usuário retrai seu consumo, (e isso realmente acontece, ver tabela 4.1) admite-se que o usuário não aceitará a privação do uso. A demanda mínima se iguala portanto a demanda em situação regular, $D_{percap,\min}(t) = D_{percap}(t)$.

$$CO_{falhas}(i) = \sum_{jan}^{Dez} CO_{falhas}(t) \quad (4.41)$$

Onde:

$CO_{falhas}(i)$ - Custo Operacional de Falhas no ano i ;

$CO_{falhas}(t)$ - Custo Operacional de Falhas no mês t ;

\overline{CO}_{reg} - Custo Operacional Unitário em regime Regular;

\overline{CO}_{rac} - Custo Operacional Unitário em regime de Racionamento;

$D_{percap,\min}(t)$ - Demanda Mínima Mensal.

4.7 Avaliação Benefícios Econômicos do Atendimento da Demanda Agrícola

A avaliação econômica do uso agrícola levará em consideração os custos econômicos advindos da aquisição de insumos, mão-de-obra e do custo de oportunidade do capital empregados no processo produtivo.

Os benefícios serão quantificados através do valor que o mercado atribui ao produto final bruto.

Os seguintes itens serão analisados:

4.7.1 Custo de Implantação (Serviço da Dívida)

Esse custo se refere ao pagamento da dívida contraída para o financiamento da implantação da infra-estrutura do projeto, tais como: sistema de captação, elevatórias, rede pressurizada, sistema parcelar, estradas de serviços entre outros.

O valor necessário para implantação do projeto é obtido em função de curvas paramétricas em função da área implantada de acordo com a disponibilidade outorgada.

O custo de implantação é um custo fixo e, portanto, deve ser pago independente das reduções de área plantada em períodos de falha.

$$\text{Investimento} = CI \times \text{Area}_{irr} \quad (4.42)$$

Investimento - Valor necessário para implantação do projeto em termos atuais;

CI - Custo de implantação do projeto por unidade de área(R\$/ha);

Area_{irr} - Área máxima irrigável diante do volume anual disponível para outorga (ha);

O cálculo da anuidade equivalente considerando os descontos é dada pela equação 4.43 (FERREIRA,1995).

$$Dívida(i) = Investimento \times \frac{i_{aa} \times [i_{aa} \times (1 + i_{aa})^{nanos}] }{[(1 + i_{aa})^{nanos} - 1]} \quad (4.43)$$

Dívida (i) - Anuidade equivalente;

i_{aa} - Taxa anual de descontos efetiva;

nanos - Número de anos em que se deseja amortizar a dívida

4.7.2 Custo de Exploração (Custeio)

O custo de exploração é um custo variável que engloba os custos dos insumos necessários a produção agrícola, tais como: sementes, fertilizantes, energia elétrica, defensivos, mão-de-obra e embalagens.

$$Custeio(i) = \sum_{j=1}^{nc} CE(j) \times Area_{irr} \times fr(i) \times perc(j) \quad (4.44)$$

Onde:

Custeio (i) - Valor anual relativo ao custeio do ano i;

$CE(j)$ - Custo de exploração da cultura j;

- $fr(j)$ - Fator de redução da área cultivada em caso de seca.
- $perc(j)$ - Percentual da Área irrigada ocupada pela cultura j.
- nc - Número de cultivos.

4.7.3 Custo de Operação Administração Manutenção (OAM)

Os Custos de Operação Administração e Manutenção são usualmente estabelecidos como um percentual do montante do investimento do projeto, de forma que o custo anual de OAM será dado por:

$$OAM(i) = \% \times Investimento \quad (4.45)$$

4.7.4 Benefício Bruto da Produção Agrícola

O benefício bruto é dado pela multiplicação da produção pelos valores de mercado, não sendo descontados os custos.

$$Bbruto(i) = \sum_{j=1}^{nc} Yr(j,i) \times Valorprod(j) \times Area_{irr} \times fr(i) \times perc(j) \quad (4.46)$$

Onde:

- $Bbruto(i)$ - Receita bruta da produção (R\$);
- $Yr(j,i)$ - Produtividade real da cultura j no ano i (t/ha);

Valorprod (*j*) - Valor de mercado da produção (R\$/ton);

fr(*j*) - Fator de redução da área cultivada em caso de seca.

perc(*j*) - Percentual da Área irrigada ocupada pela cultura *j*.

4.7.5 Benefício Líquido da Produção

É obtida subtraindo os custos do benefício bruto da produção.

$$Bliquido(i) = Bbruto(i) - Custeio(i) - OAM(i) - Dívida(i) \quad (4.47)$$

4.6 Subsídios para a Avaliação da Performance da Política de Operação do Sistema

4.6.1 Distribuição das Outorgas

No intuito de propiciar ao analista uma noção de quanto do volume outorgado está alocado a cada atividade, é fornecido o percentual que cada demanda (agrícola e primária) ocupa no total disponibilizado pelo gestor.

4.6.2 Área Irrigada

De acordo com a quantidade alocada para a demanda secundária é fornecida a área que pode ser irrigada dentro da confiabilidade da oferta.

4.6.3 Nível de Atendimento por Faixa de Atendimento nas Classe de Demanda

Para cada política de operação (PO) serão fornecidos dois histogramas contendo a distribuição do nível de atendimento volumétrico à demanda em intervalos discretos percentuais, tal qual a Tabela 4.2.

Um exemplo do arquivo de saída do programa, no que se refere ao atendimento das demandas pode ser encontrado nos anexos, especificamente: (a) na tabela A.5 onde se mostra o atendimento volumétrico mensal as demandas primárias e secundárias e (b) na tabela A.6 onde as estatísticas de falhas para as demandas primária e secundária são tabeladas tal qual a tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Distribuição dos Níveis de Atendimento

Déficits	Ocorrências	Frequência
0-10%	6	1,8%
11-20%	0	0%
21-30%	0	0%
31-40%	0	0%
41-50%	0	0%
51-60%	0	0%
61-70%	0	0%
71-80%	10	3%
81-90%	20	6%
91-100%	300	89,3%

A distribuição dos níveis de atendimento (suprimento) após a simulação da operação propicia a observação das falhas fora do intervalo aceitável (91-100%), permitindo se avaliar quão vulnerável é o sistema quando ele não apresenta desempenho satisfatório.

O nível de atendimento é dado pela simples relação entre o volume disponível para o suprimento da demanda no referido mês e a demanda de referência em termos volumétricos.

4.6.4 Déficits hídricos por Faixa de Atendimento para os Cultivos considerando o Universo Amostral Reduzido

São fornecidos os níveis de atendimento ($\frac{ETr}{ETm}$) em termos de lâminas evapotranspiradas (reais/máximas) para os mesmos intervalos de atendimento da tabela 4.2. Um exemplo do arquivo de saída do programa é mostrado no anexo, tabelas A.7 e A.8.

O histograma de níveis de atendimento é calculado considerando como intervalo total o número meses em que a demanda existe e não o número de meses de simulação. Com esse procedimento não se incorre ao erro de superestimar a confiabilidade associada a série simulada.

Para se ter uma idéia do erro que se comete ao se considerar todos os meses no cálculo da confiabilidade ao invés de se levar em conta somente os meses em que se desenvolve o cultivo, observemos o seguinte caso: um cultivo se desenvolve apenas durante 4 últimos meses do ano, numa simulação de 10 anos, o sistema falha totalmente nos 4 meses de cultivo durante dois anos seguidos.

Se a confiabilidade do abastecimento ao cultivo em específico fosse determinada considerando o intervalo total de meses tem-se:

$$g = 1 - \frac{8 \text{ meses}}{120 \text{ meses}} = 93,33\% \quad (4.48)$$

Se a confiabilidade for calculada em termos de intervalos mensais onde a demanda existe tem-se:

$$g = 1 - \frac{8 \text{ meses}}{40 \text{ meses}} = 80\% \quad (4.49)$$

A ultima forma é mais coerente, pois pouco interessa ao cultivo em questão a existência de disponibilidade de água fora do seu intervalo de existência. Nota-se também, que da primeira forma, as garantias de abastecimento são superestimadas.

O histograma de níveis de atendimento em termos volumétricos mensais não é tão preciso quanto o histograma de níveis de atendimento em termos de lâmina relativa, tendo em vista que o segundo considera a dinâmica solo-água-planta.

4.6.5 Área, Produtividade, Custeio e Receitas brutas por Cultivo

Para cada cultivo são dadas as seguintes informações por ano de simulação: Área plantada, custeio, produtividade em função do suprimento de água, benefícios brutos e líquidos.

Para cada cultivo o programa elabora uma planilha semelhante à tabela 4.3. Um exemplo da saída de dados do programa pode ser encontrado no anexo, especificamente nas tabelas A.9 e A.10.

Tabela 4.3 - Listagem por Cultivo

<i>Ano</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Custeio (R\$)</i>	<i>Prod.(t/ha)</i>	<i>Prod.(t)</i>	<i>Bbruto (R\$)</i>	<i>Bliquido (R\$)</i>
1	1130	985,287.81	5	5682	3,409,300.00	2,424,012.00
...
n	1130	985,287.81	3.2	3616	2,169,600.00	1,184,312.19

Nesta listagem o benefício líquido é calculado sem considerar os custos compartilhados (dívida e OAM). Estes custos serão levados em consideração na análise econômica total.

4.6.6 Avaliação Econômica Agrícola Total

É apresentada também uma tabela contendo uma análise econômica global do perímetro de irrigação, incluindo todos os custos e todos os benefícios. Na última coluna é listado o armazenamento na interface dos meses dezembro/janeiro para o início de cada ano. Essa listagem torna-se necessária pelo fato de que todo o planejamento anual (dependendo da PO) é tomado com base neste armazenamento, e a sua apresentação permite avaliar o correto funcionamento da PO.

Na tabela 4.4 observa-se um exemplo resumido da análise econômica da operação, no entanto na tabela A.11 do anexo, pode ser observado um exemplo de um arquivo de saída do programa.

Tabela 4.4 - Listagem da Análise Econômica da Agricultura

Ano	Dívida (R\$)	Custeio (R\$)	OAM(R\$)	Bbruto (R\$)	Bliquido (R\$)	Armazen.(Jan)
1	3260203.03	8,267,223.98	1,468,106.37	25,760,745.27	12,765,211.89	195.15
2	3260203.03	5,197,482.79	1,468,106.37	0.00	-9,925,792.19	130.19
...
nanos	3260203.03	8,267,223.98	1,468,106.37	25,760,745.27	12,765,211.89	411.75

Valor Presente dos Benefícios Líquidos

Este indicador atualiza - em função da taxa de descontos utilizada na análise - cada um dos valores do fluxo de benefícios, nos retornando um valor presente equivalente à série.

$$VPBL = \sum_{i=1}^{nanos} \frac{Bliquido(i)}{(1+i_{aa})^i} \quad (4.50)$$

Relação Benefício/Custo

A relação benefício/custo indica quanto o projeto remunera cada valor unitário que nele é investido, portanto quando esta relação for maior que a unidade indica-se que existe retorno.

$$RBC = \frac{\sum_{i=1}^{nanos} \frac{Bliquido(i)}{(1+i_{aa})^i}}{\sum_{i=1}^{nanos} \frac{Custeio(i) + OAM(i) + Dívida(i)}{(1+i_{aa})^i}} \quad (4.51)$$

Benefício Líquido Médio

Do ponto de vista da matemática financeira este indicador somente seria válido se a taxa de descontos fosse nula, pois ele divide o benefício líquido total pelo número de anos da série. No entanto ele nos fornece uma noção do valor médio independente da taxa de descontos.

$$BL_médio = \frac{\sum_{i=1}^{nanos} Bliquido(i)}{nanos} \quad (4.52)$$

Anuidade Equivalente do Benefício Líquido

Ao contrário do indicador anterior, a anuidade equivalente dos benefícios líquidos nos informa qual a série de benefícios constantes anuais equivalentes ao fluxo de caixa resultante da operação do projeto, fazendo uso da matemática financeira.

$$BLEq(i) = VPBL \times \frac{i_{aa} \times [i_{aa} \times (1+i_{aa})^{nanos}]}{[(1+i_{aa})^{nanos} - 1]} \quad (4.53)$$

4.6.7 Avaliação dos Custos Operacionais para Suprimento da Demanda Primária

Será fornecido ao analista a anuidade equivalente ao *Custo Operacional de Falhas* para que a mesma possa ser comparada à anuidade equivalente aos *Benefícios Líquidos*.

A comparação entre estes valores permite que o analista avalie o ganho real da economia em consequência da oferta realizada. O incremento da oferta de água por um sistema o torna suscetível à ocorrência de falhas sobre os diversos usos instalados na bacia (sejam eles prioritários ou não). O fato de uma demanda ser prioritária sobre a outra garante que, havendo disponibilidade a mesma será suprida prioritariamente.

O aumento da área irrigada decorrente do incremento da oferta poderá provocar o aumento do benefício líquido mesmo com a existência de falhas, entretanto os custos devido às falhas sobre as demais atividades deverão ser quantificadas para que o ganho real ou efetivo possa ser avaliado.

Valor Presente dos Custos Operacionais de Falha

De modo análogo à equação 4.50, o valor dos custos são atualizados para o valor presente.

$$VPCOfalha = \sum_{i=1}^{nanos} \frac{COfalha(i)}{(1+i_{aa})^i} \quad (4.54)$$

Anuidade Equivalente do Custo Operacional de Falha

A anuidade equivalente dos custos de falhas, tem o mesmo significado que o indicador de benefícios líquidos equivalentes, na equação 4.53.

$$CO_{falha_eq} = VPCO_{falha} \times \frac{i_{aa} \times [i_{aa} \times (1 + i_{aa})^{nanos}]}{[(1 + i_{aa})^{nanos} - 1]} \quad (4.55)$$

4.6.8 Confiabilidade anual nas Classes de Demanda

Em atividades, tais como a agricultura, em que o planejamento de investimentos são feitos anualmente e não em termos mensais, necessita-se quantificar qual a confiabilidade do sucesso da produção em termos anuais, para que, desta forma, sejam avaliados os reais impactos da política de operação do sistema (PO) sobre a atividade agrícola.

$$g_{anual} = 1 - \frac{\text{Anos Blíquido}(i) \leq 0}{\text{anos de simulação}} \quad (4.56)$$

5 - APLICAÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo serão fornecidas as informações utilizadas nas simulações e os resultados obtidos após as mesmas, para os principais critérios de outorga de direitos de uso que estão presentes nos decretos que regulamentam a outorga nos estados do Nordeste.

À cada critério são simuladas as políticas de operação (PO) *Padrão* e de *Volumes de Alerta* tendo seus resultados dispostos lado a lado para que se analise a influência da política de operação do sistema sobre o processo produtivo.

Será simulado somente o maior reservatório da bacia do rio Moxotó: o reservatório Poço da Cruz (ou Francisco Sabóia). O reservatório de Custódia (o segundo maior reservatório da bacia) não será simulado posto que na fase preliminar de análise de oferta, a política de operação padrão constitui a sua única alternativa operacional.

A simulação não considera os reservatórios em cascata, ou seja, as defluências do reservatório de Custódia (montante) não serão propagadas para o reservatório Poço da Cruz. Essa idealização decorre da sua pequena capacidade (a acumulação de Custódia representa apenas 4% da capacidade de acúmulo do reservatório de jusante) e da sua pequena área de contribuição comparada à área de contribuição ao Reservatório Poço da Cruz. A área da bacia de contribuição do reservatório de Custódia representa apenas 5% da área de contribuição da bacia incremental do reservatório Poço da Cruz.

Acrescente-se a existência de núcleos de consumo (cidades e irrigação) a jusante do reservatório de Custódia que, por hipótese de simulação (item 4.2), consumirá toda sua efluência.

5.1 Informações Preliminares

As informações descritas neste item foram utilizadas como entrada de dados para as simulações dispostas no item a seguir. Algumas delas foram apresentadas de forma geral no capítulo 3, no entanto as hipóteses adotadas para a concepção da demanda a ser atendida pelos reservatórios são descritas neste item.

5.1.1 Demanda primária

Consumo Per Capita

Malgrado as informações fornecidas pelo PROÁGUA (1998) na tabela 4.1 mostrem que o consumo per capita na modalidade carro-pipa seja inferior ao consumo regular pela rede pública admitiremos que para o usuário, o custo da privação do uso é superior ao custo do provimento do suprimento alternativo. A demanda em situação de falhas $D_{percap,min}$ é portanto de 150 litros/pessoa/dia.

Adotou-se uma média de 4 pessoas por família, utilizando-se os consumos per capita da tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Consumos per capita adotados na simulação

Tipo de Fonte	Consumo Médio (litros/pessoa/dia)
Reservatório	150
Carro Pipa	150

Eficiência no Abastecimento

As simulações serão realizadas considerando perdas de 50% em relação ao volume produzido; ou seja, somente 50% do volume que se produz é faturado. Este é o índice médio de perdas de faturamento no estado de Pernambuco.

Demandas Primárias do Reservatório Poço da Cruz

As demandas a serem atendidas pelo reservatório Poço da Cruz são localizadas nos PCs 3, 8 e 9 (figura 3.6) segundo as previsões do ano 2017.

Tabela 5.2 – PCs atendidos pelo reservatório Poço da Cruz

PC	Pop. Rural (hab.)	Pop. Urbana (hab.)
3	-	21.533
8	7.490	-
9	9.826	15.252
Total	29.058	36.785

Custos Operacionais em Regime de Falha

Os custos unitários (R\$/m³) de exploração serão estimados de acordo com a tabela 4.1. As duas alternativas utilizadas na simulação são:

a) suprir 150 litros/pessoa/dia a partir do reservatório em situação regular de atendimento ou

b) suprir o complemento de 150 litros/pessoa/dia em regime de falhas a partir de carros-pipa.

5.1.2 Demanda Secundária

Calendário Agrícola

O calendário Agrícola é composto de *cultivos permanentes* (Maracujá, Manga, Graviola, Citrus e Goiaba) e de *cultivos temporários* (Feijão e Milho), com um calendário agrícola conforme o apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Calendário agrícola

	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Maracujá												
Manga												
Graviola												
Citrus												
Goiaba												
Feijão												
Milho												

Informações sobre os Cultivos

Os cultivos terão seus coeficientes de evapotranspiração dados pela tabela 5.4.

Na tabela 5.5 são exibidos os valores do coeficiente de resposta ao déficit hídrico relativo (K_y) utilizados nas simulações. Na ausência de informações experimentais na literatura, adotou-se para os cultivos de maracujá, manga, graviola e goiaba os valores de K_y igual à unidade – ou seja – a ocorrência de um déficit relativo de uma unidade percentual no solo acarreta um déficit de igual valor na produtividade.

Tabela 5.4 - Coeficientes de cultivo K_c para as culturas do plano de cultivo

	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Maracujá	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Manga	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Graviola	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Citrus	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Goiaba	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Feijão	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	1,1	0,3	-
Milho	-	0,6	1,1	1,1	0,55	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.5 - Coeficientes de resposta ao déficit K_y

	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Maracujá	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Manga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Graviola	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Citrus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Goiaba	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Feijão	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	1,1	0,75	-
Milho	-	0,4	0,9	1,5	2,3	-	-	-	-	-	-	-

Na tabela 5.6 são ilustrados os percentuais de ocupação de cada cultivo nos módulos de 20 ha e os valores de mercado para cada tonelada de produto bruto.

Tabela 5.6 – Preços de mercado, produtividade máxima (Ym) e percentual de ocupação do cultivo (Modificado de SRH-AL, 1998)

CULTURA	R\$/t	Ym (t/ha)	Rotação (%)	Área no Lote (ha)
Goiaba	144,20	30	5	1
Graviola	300,00	15	5	1
Citrus	279,32	30	15	3
Manga	254,87	18	20	4
Maracujá	250,84	18	20	4
Milho	600,00	5	20	4
Feijão	170,00	2,5	15	3
		Total	100	20

Eficiência Global de Irrigação

A eficiência global de Irrigação considerada nas simulações será de 70%. Os demais 30% serão perdidos no processo de adução e durante a aplicação da lâmina de irrigação, embora existam alguns lotes que serão irrigados por micro-aspersão e gotejamento que atingem eficiências maiores que 90%, também existirá no projeto lotes irrigados por sistemas de aspersão convencional.

Considerou-se, portanto, razoável adotar a eficiência global de 70%.

Propriedades Físicas do Solo

Na ausência de ensaios de campo adotou-se que a diferença entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de muita (PM), CC-PM, assumia o valor de 60 mm/m de profundidade do sistema radicular.

A fração de água disponível no solo (fração p) foi adotada igual a 20%.

5.1.3 Estimativa de custos e receitas

Serão discriminados os custos de investimento, operação administração, manutenção e exploração. As estimativas destes custos foram balizadas em função da área irrigada (R\$/ha), no intuito de facilitar a análise do processo de simulação. As receitas são indicadas através dos preços do produto bruto associados às respectivas produtividades.

Custos de Investimento (Reabilitação ou Implantação)

Os custos de investimento decorrerão de duas naturezas: (1) reabilitação de um projeto já implantado que por outros motivos cessou suas atividades produtivas e (2) implantação de novos projetos.

De acordo com as intervenções propostas na bacia para o setor de irrigação (item 3.9) os custos levantados para tais são descritos na tabela 5.7.

Observando-se a tabela 5.7, constata-se que a reabilitação do perímetro Moxotó é a intervenção que apresenta maior custo por hectare, as demais (implantação de micro-aspersão e gotejamento e a reabilitação de Custódia) apresentam custos unitários semelhantes.

Para homogeneizar os custos devido aos investimentos na bacia e automatizar a determinação dos mesmos em função da área implantada (fato importante durante a simulação), estabeleceu-se um custo médio ponderado pelas áreas implantadas cujo valor é mostrado na tabela 5.8.

Tabela 5.7 - Custos de investimento iniciais para implantação e reabilitação (Modificado de SERHI-AL, 1998)

Descrição	Área (ha)	Investimento (R\$)	Investimento (R\$/ha)
Implantação Microaspersão e Gotejamento	1600	8.000.000,00	5.000,00
Reabilitação do Perímetro de Moxotó	1179	9.589.473,00	8.133,56
Reabilitação do perímetro de Custódia	263	1.374.395,00	5.225,84
Média			6.234,01

Custos de Exploração dos Lotes

Tabela 5.8 - Custos de Exploração (Modificado de SERHI-AL, 1998)

Cultivo	Custeio (R\$/ha)
Goiaba	1.461,00
Graviola	2.390,00
Citrus	2.207,00
Manga	1.505,00
Maracujá	1.324,00
Milho	867,00
Feijão	871,00

Custos de Operação Administração e Manutenção(OAM)

Os custos de OAM serão estimados como 4% do custo médio de investimento inicial na infra-estrutura do projeto.

5.2 Determinação das Vazões Regularizadas pelos Reservatórios

Neste item dispõe-se dos resultados das simulações realizadas a fim de obter a vazão regularizada para os açudes de Custódia e Poço da Cruz. Obteve-se as vazões regularizadas, operando-se de acordo com as políticas

em estudo (PO Padrão e Volumes de Alerta) restringindo as confiabilidades mínimas (garantias) aos valores de 80, 90 e 95%.

No caso da PO baseada em volumes de alerta, determinou-se as vazões regularizadas de modo que nos períodos de racionamento fosse possível suprir 50% e 30% da vazão ofertada.

5.2.1 Reservatório Poço da Cruz

Política de Operação Padrão

Na tabela 5.9 encontram-se as vazões ofertadas para as garantias de 80%, 90% e 95% operando-se com a PO padrão.

Tabela 5.9 – Vazões regularizadas operando-se segundo a PO Padrão no açude Poço da Cruz

Vazão de referência	Vazão Regularizada (Q_{reg})	
	hm ³ /ano	m ³ /s
Q_{80}	91,9	2,91
Q_{90}	65	2,06
Q_{95}	47,5	1,51

Política de Operação Baseada em Volumes de Alerta (Suprimento em racionamento igual 50% da Vazão de referência)

A determinação da vazão regularizada segundo a PO de volumes de alerta segue um processo heurístico de busca no qual se fornece o volume de alerta e se obtém a máxima vazão ofertada sujeita às restrições de confiabilidade.

As restrições utilizadas na obtenção das vazões de referência (Q_{80} , Q_{90} e Q_{95}) apresentadas nas tabelas 5.10 a 5.12 são:

$$Max(Q_{ofertada}) \begin{cases} Q_{ofertada} = Q_{g\%} \text{ no m\u00ednimo em } g\% \text{ da s\u00e9rie} \\ Q_{ofertada} = 50\% \times Q_{g\%} \text{ no m\u00e1ximo em } (100 - g\%) \text{ da s\u00e9rie} \end{cases} \quad (5.1)$$

Observa-se que cada volume de alerta est\u00e1 associado a uma vaz\u00e3o ofertada m\u00e1xima dentro das restri\u00e7\u00f5es impostas. O m\u00e1ximo \u00e9 atingido quando \u00e9 testado um volume de alerta superior ao anterior e a vaz\u00e3o regularizada decresce.

A tabela 5.10 constitui um resumo das tabelas 5.11 a 5.13 contendo somente as m\u00e1ximas vaz\u00f5es regularizadas para cada bateria de volumes de alerta simulados.

As simula\u00e7\u00f5es que geraram as tabelas 5.10 a 5.13 consideraram o suprimento em regime de racionamento igual a 50% da vaz\u00e3o ofertada.

Tabela 5.10 – Vaz\u00f5es m\u00e1ximas regularizadas operando-se segundo a PO de volumes de alerta no a\u00e7ude Po\u00e7o da Cruz, considerando a vaz\u00e3o de racionamento igual a 50% da vaz\u00e3o de refer\u00eancia.

Vaz\u00e3o de refer\u00eancia	Volume de Alerta (hm ³)	Vaz\u00e3o Regularizada (Q _{reg})	
		hm ³ /ano	m ³ /s
Q ₈₀	160	47,42	1,50
Q ₉₀	125	42,73	1,35
Q ₉₅	85	37,97	1,20

Tabela 5.11 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q_{80} , considerando a vazão de racionamento igual a 50% da vazão de referência

$Q_{80\%}$		
$S_{\text{alerta}} (\text{hm}^3)$	$Q_{\text{reg}} (\text{hm}^3)$	$g(\%)$
110	40,74	93
115	41,80	91
120	42,11	91
125	42,73	90
130	43,36	87
140	44,49	87
150	45,74	84
160	47,42	80
170	45,00	80

Tabela 5.12 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q_{90} , considerando a vazão de racionamento igual a 50% da vazão de referência

$Q_{90\%}$		
$S_{\text{alerta}} (\text{hm}^3)$	$Q_{\text{reg}} (\text{hm}^3)$	$g(\%)$
110	40,74	93
115	41,80	91
120	42,11	91
125	42,73	90
130	41,88	90
140	38,75	90

Tabela 5.13 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q_{95} , considerando a vazão de racionamento igual a 50% da vazão de referência.

$S_{\text{alerta}} \text{ (hm}^3\text{)}$	$Q_{95\%}$	
	$Q_{\text{reg}} \text{ (hm}^3\text{)}$	$g \text{ (\%)}$
70	35,16	98
75	37,05	96
80	37,65	96
85	37,97	95
90	37,50	95
95	36,25	95
100	35,00	95
105	33,75	95
110	32,50	95
115	32,50	95
120	30,00	95
125	30,00	95
130	28,75	95
135	27,50	95
140	26,25	95
145	25,00	95

Política de Operação Baseada em Volumes de Alerta (Suprimento em racionamento igual 30% da Vazão de referência)

$$Max(Q_{\text{ofertada}}) \begin{cases} Q_{\text{ofertada}} = Q_{g\%} \text{ no mínimo em } g\% \text{ da série} \\ Q_{\text{ofertada}} = 30\% \times Q_{g\%} \text{ no máximo em } (100 - g\%) \text{ da série} \end{cases} \quad (5.2)$$

O procedimento para se obter as vazões regularizadas segundo a PO volumes de alerta para um suprimento em regime de racionamento de 30% da oferta em períodos regulares segue de forma análoga ao mostrado para um suprimento emergencial de 50%.

A tabela 5.14 constitui um resumo das tabelas 5.15 a 5.17 contendo somente as máximas vazões regularizadas para cada bateria de volumes de alerta.

As simulações que geraram as tabelas 5.15 a 5.17 consideraram o suprimento em regime de racionamento igual a 30% da vazão ofertada.

Tabela 5.14 – Vazões regularizadas máximas operando-se segundo a PO de volumes de alerta no açude Poço da Cruz – considerando a vazão de racionamento igual 30% da vazão de referência.

Vazão de referência	Volume de Alerta (hm ³)	Vazão Regularizada (Q _{reg})	
		hm ³ /ano	m ³ /s
Q ₈₀	135	56,63	1,80
Q ₉₀	105	47,74	1,51
Q ₉₅	80	39,61	1,26

Tabela 5.15 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q₈₀ para a vazão de racionamento igual 30% da vazão de referência.

Q _{80%}		
S _{alerta} (hm ³)	Q _{reg} (hm ³)	g(%)
100	46,66	91
105	47,74	90
110	49,31	90
115	49,79	89
120	51,48	87
125	53,26	85
130	54,27	83
135	56,63	81
140	56,11	80
145	54,91	80
150	53,57	80
155	52,18	80
160	50,78	80
165	49,26	80
170	47,73	80
175	46,21	80
180	44,69	80

Tabela 5.16 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q_{90} para a vazão de racionamento igual a 30% da vazão de referência.

$Q_{90\%}$		
$S_{\text{alerta}} (\text{hm}^3)$	$Q_{\text{reg}} (\text{hm}^3)$	$g(\%)$
100	46,66	91
105	47,74	90
110	47,73	90
115	46,72	90
120	45,70	90
125	44,69	90
130	42,66	90
135	41,64	90
140	40,63	90
145	39,61	90
150	38,59	90

Tabela 5.17 - Determinação do volume de alerta que maximiza a Q_{95} considerando a vazão de racionamento igual 30%.

$Q_{95\%}$		
$S_{\text{alerta}} (\text{hm}^3)$	$Q_{\text{reg}} (\text{hm}^3)$	$g(\%)$
70	36,10	98
75	39,29	96
80	39,61	95
85	38,59	95
90	37,58	95
95	36,56	95
100	34,43	95
105	34,43	95
110	32,50	95
115	32,50	95
120	30,47	95
125	30,47	95
130	28,44	95
135	27,42	95
140	26,41	95

5.3 Simulação das Vazões de Referência no Reservatório Poço da Cruz

A tabela 5.18 constitui um resumo de todas as vazões de referência que serão simuladas a seguir.

Serão simuladas três políticas operacionais outorgando-se para cada uma delas: 80%, 90% e 100% das vazões regularizadas para as garantias (confiabilidades) de 80%, 90% e 95%.

Tabela 5.18 - Vazões de referencia a serem simuladas no reservatório Poço da Cruz

Q _{ref}		PO Padrão		PO Vol. de Alerta 50%		PO Vol. de Alerta 30%	
		hm ³ /ano	m ³ /s	hm ³ /ano	m ³ /s	hm ³ /ano	m ³ /s
100%	Q ₉₅	47,50	1,51	37,97	1,20	39,61	1,26
90%		42,75	1,36	34,17	1,08	35,65	1,13
80%		38,00	1,20	30,38	0,96	31,69	1,00
100%	Q ₉₀	65,00	2,06	42,73	1,35	47,74	1,51
90%		58,50	1,86	38,46	1,22	42,97	1,36
80%		52,00	1,65	34,18	1,08	38,19	1,21
100%	Q ₈₀	91,86	2,91	47,42	1,50	56,63	1,8
90%		82,67	2,62	42,68	1,35	50,97	1,62
80%		73,49	2,33	37,94	1,20	45,30	1,44

Em cada simulação serão dispostos treze indicadores, de várias naturezas, a saber: hidrológica, agrônômica e econômica.

A seguir serão expostos os resultados para cada simulação permitindo sua imediata comparação entre a PO padrão e a PO volumes de alerta através dos indicadores.

5.3.1 Comparação entre a PO padrão e a PO Vol. de alerta suprindo 50% em regime de racionamento

Nas tabelas 5.19 a 5.27 contém os resumos de cada simulação realizada operando as vazões de referência pré-estabelecidas. As duas primeiras colunas contém a descrição dos indicadores calculados pelo modelo e nas três últimas os valores dos mesmos para as PO padrão e volumes de alerta, respectivamente.

As duas últimas colunas das tabelas 5.19 a 5.27 se referem aos indicadores da PO volumes de alerta para 50% e 30% de suprimento em regime de racionamento, respectivamente.

Tabela 5.19– Resultados da simulação Q₉₅

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	47,50	37,97	39,61
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	40,86	31,33	34,86
3	Área irrigada (ha)	2.414	1.852	2.061
4	VPL Benefícios liquidados agricultura (R\$)	39.568.574,00	33.613.436,11	34.475.488,17
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.580.516,98	3.041.643,00	3.119.649,20
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	7.596.248,17	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	687.376,19	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	2.893.140,79	3.041.643,00	3.119.649,20
9	Relação benefício /custo agricultura	1,69	1,75	1,70
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	95,2%	100 %	100 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	95,2%	95,2 %	95,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	89%	96 %	92,7 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1989	2.189	2.168

Tabela 5.20- Resultados da simulação 90% Q₉₅

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	42,75	34,17	35,65
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	36,11	27,53	30,90
3	Área irrigada (ha)	2.134	1.627	1.826
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	38.675.900,00	31.212.179,70	33.314.435,10
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.499.739,00	2.824.355,90	3.014.586,77
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	5.622.685,55	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	508.790,66	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	2.990.948,34	2.824.355,90	3.014.586
9	Relação benefício /custo agricultura	1,76	1,79	1,70
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	96,4%	100 %	100 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	96,4%	96,5 %	96,7 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	92,9%	100 %	92,9 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	2075	2.255	2.234

Tabela 5.21- Resultados da simulação 80% Q₉₅

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	38,0	30,37	31,70
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	31,63	23,74	26,94
3	Área irrigada (ha)	1.853	1.403	1.592
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	34.472.328,70	26.863.710,71	29.490.327,00
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.119.363,30	2.430.867,79	2.668.547,00
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	1.862.514,59	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	168.536,91	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	2.950.826,39	2.430.867,79	2.668.547,00
9	Relação benefício /custo agricultura	1,77	1,79	1,76
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	98,8 %	100,00 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	98,8 %	98,5 %	98,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	92,9 %	100,0 %	96,4 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	2.171,90	2.322,72	2.300,00

Tabela 5.22- Resultados da simulação 100% Q₉₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	65,00	42,00	47,73
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	58,36	35,36	42,98
3	Área irrigada (ha)	3.449	2.089	2.540
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	33.564.783,12	31.212.179,69	37.140.377,66
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.037.240,49	2.824.355,98	3.360.792,13
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	17.814.499,65	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	1.612.014,48	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	1.425.226,01	2.824.355,98	3.360.792,13
9	Relação benefício /custo agricultura	1,42	1,63	1,61
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	89,3 %	100,0 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	89,3 %	90,5 %	90,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	75,0 %	89,3 %	85,0 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.713,70	2.142,00	2.060,00

Tabela 5.23 - Resultados da simulação 90% Q₉₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	58,50	38,45	42,96
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	51,86	31,82	38,20
3	Área irrigada (ha)	3.064	1.880	2.258
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	41.808.428,00	15.193.761,00	33.422.001,30
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.783.198,94	1.374.866,00	3.024.320,32
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	14.379.990,17	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	1.301.229,58	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	2.481.969,36	1.374.866,00	3.024.320,32
9	Relação benefício /custo agricultura	1,6	1,34	1,62
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	91,4 %	100,0 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	91,4 %	92,3 %	92,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	85,7 %	85,7 %	89,0 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.799,50	2.125,00	2.134,00

Tabela 5.24– Resultados da simulação 80% Q₉₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	52,00	33,60	38,20
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	45,36	26,96	33,44
3	Área irrigada (ha)	2.681	1.593	1.976
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	42.951,695,00	27.168.168,61	33.016.435
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	3.886.651,92	2.458.417,84	2.987.621,00
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	9.133.349,83	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	826.466,83	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	3.060.185,09	2.458.417,84	2.987.621,00
9	Relação benefício /custo agricultura	1,68	1,70	1,69
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	94,0 %	100,0 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	94,4 %	94,0 %	94,4 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	89,3 %	96,4 %	92,9 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.919,00	2.278,37	2.205,50

Tabela 5.25– Resultados da simulação 100% Q₈₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	91,86	47,20	56,63
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	85,22	40,56	51,88
3	Área irrigada (ha)	3.777	2.410	3.066
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	(14.068.776,00)	4.003.347,00	101.846,00
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	(1.273.068,00)	362.258,00	9.215,00
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	44.095.772,00	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	3.990.178,00	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	(5.263.246,00)	362.258,00	9.215,00
9	Relação benefício /custo agricultura	0,87	1,07	1,00
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	72,07 %	100,0 %	100 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	72,00 %	80,0 %	80,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	50,00 %	78,0 %	67,9 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.297,00	2.103,00	1.996,00

Tabela 5.26– Resultados da simulação 90% Q₈₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	82,67	42,48	50,96
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	76	35,84	46,22
3	Área irrigada (ha)	4.493	2.118	2.731
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	(3.999.055,00)	8.897.118,00	11.180.703,00
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	(361.870,00)	805.090,00	1.011.729,00
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	36.122.013,00	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	3.268.641,00	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	(3.630.511,00)	805.090,00	1.011.729,00
9	Relação benefício /custo agricultura	0,95	1,18	1,17
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	77,0 %	100,0 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	77,0 %	84,0 %	84,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	57,1 %	85,7 %	75,0 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.412,00	2.169,00	2.058,00

Tabela 5.27– Resultados da simulação 80% Q₈₀

	Indicador	PO padrão	Vol. Alerta (50%)	Vol. Alerta (30%)
1	Volume outorgado total (hm ³)	73,48	37,76	45,30
2	Volume disponível para agricultura (hm ³)	66,85	31,12	40,56
3	Área irrigada (ha)	3.950	1.839	2.397
4	VPL Benefícios líquidos agricultura (R\$)	26.744.691,00	17.471.606,00	25.389.952,80
5	Anuidade equivalente VPL agricultura (R\$)	2.420.097,00	1.580.986,00	2.297.509,00
6	VP dos custos de falhas na Dem. primária	26.578.528,00	-	-
7	An. Equiv. custos de falha Dem. primária	2.405.601,00	-	-
8	Anuidade líquida (=5-7)	15.036,00	1.580.986,00	2.297.509,00
9	Relação benefício /custo agricultura	1,30	1,40	1,44
10	Confiabilidade mensal Dem. Primária	83,0 %	100,0 %	100,0 %
11	Confiabilidade mensal Dem. Secundária	83,0 %	88,0 %	88,0 %
12	Confiabilidade anual Dem. Secundária	67,8 %	85,7 %	85,7 %
13	Evaporação total da simulação (hm ³)	1.548,00	2.234,00	2.122,00

6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Benefícios e Custos Incrementais da Oferta de Água pela PO Padrão

É sabido que o nível de falhas de um reservatório cresce à medida que se incrementa a sua oferta. Uma questão a ser respondida é: até que ponto se pode incrementar a oferta de um sistema sem que seus benefícios líquidos decresçam.

Como foi visto no capítulo 4, que descreveu a metodologia utilizada neste estudo, os custos devido às falhas decorrem de duas naturezas: (1) das perdas de produtividade provocadas pelas falhas decorrentes do aumento na oferta e (2) do aumento dos custos de produção (provisão) de água para consumo humano devido à mudança de tecnologia no fornecimento, no caso: o carro pipa.

A tabela 6.1 ilustra – para a PO padrão - como variam de acordo com o volume ofertado: (1) os custos da provisão de água para consumo humano (Demanda primária); (2) os benefícios líquidos da agricultura e (3) os benefícios líquidos totais.

Tabela 6.1- Anuidades Equivalentes dos Benefícios da Oferta de Água pela PO padrão.

PO PADRÃO				
Q_{ref}	$Q_{ofertada}$ (hm^3)	Custo devido as falhas na demanda primária (R\$)	Benefício líquido Agricultura (R\$)	Benefício Líquido Total (R\$)
80% Q_{95}	38,00	168.536,91	3.119.363,30	2.950.826,39
90% Q_{95}	42,75	508.790,00	3.499.739,00	2.990.949,00
100% Q_{95}	47,50	687.376,00	3.580.516,98	2.893.140,98
80% Q_{90}	52,00	826.466,83	3.886.651,00	3.060.184,17
90% Q_{90}	58,50	1.301.229,58	3.783.198,94	2.481.969,36
100% Q_{90}	65,00	1.612.014,00	3.037.240,00	1.425.226,00
80% Q_{80}	73,48	2.405.061,00	2.420.097,00	15.036,00
90% Q_{80}	82,67	3.268.641,00	(361.870,00)	(3.630.511,00)
100% Q_{80}	91,86	3.990.178,00	(1.273.068,00)	(5.263.246,00)

Os custos devido às falhas sempre crescem com o incremento da oferta e este fato pode ser constatado na figura 6.1 de duas formas: através dos custos de falhas na demanda primária e da constatação de um ponto de máximo benefício líquido da agricultura, o que denota que o crescimento dos custos de implantação, administração e operação superaram os benefícios brutos oriundos da oferta incremental de água.

Analisando os benefícios devido ao incremento da oferta de água pelo reservatório, somente do ponto de vista do setor agrícola, nota-se que seu máximo benefício líquido se dá com a oferta anual de 52 hm³/ano – o que equivale a 80% da Q₉₀.

A queda dos benefícios da produção agrícola é pouco sensível ao incremento da oferta quando se passa de 52 hm³/ano a 58,6 hm³/ano (90% da Q₉₀), caracterizando uma estabilidade dos benefícios da agricultura entre estas duas vazões de referência (80% da Q₉₀ e 90% da Q₉₀).

No entanto, uma das características da PO padrão é o compartilhamento eqüitativo do risco de falha entre todos os grupos de usuários. Como já foi dito, ao se aumentar as cotas para o uso agrícola, imediatamente diminui-se a confiabilidade do atendimento para todos os usos, o que põe em xeque o princípio da primazia dos usos e a análise econômica realizada unicamente sob o ponto de vista do setor agrícola.

Analisando os valores dos benefícios totais na tabela 6.1 com auxílio da figura 6.1, nota-se uma estabilização dos valores em torno de R\$ 2.900.000,00 para a faixa de vazões ofertadas entre 38 hm³/ano a 52 hm³/ano (100% Q₉₅, 90% Q₉₅, 80% Q₉₅ e 80% Q₉₀).

Observa-se que os benefícios somente começariam a decrescer quando se ofertasse 90% Q₉₀, porém numa análise unicamente sob o ponto de vista

agrícola a decisão de se ofertar esta vazão de referência seria tomada como aquela que maximizaria os benefícios.

Retornando a análise do ponto de vista global (considerando os benefícios líquidos totais) observa-se que a decisão de se ofertar 80% Q_{80} (82,7 hm^3 /ano) acarretaria em prejuízos, ou seja, os benefícios seriam superados pelos custos. Note-se que na análise realizada sob o ponto de vista do setor agrícola, esta oferta ainda seria viável.

Estas observações caracterizam o erro que se comete ao avaliar os benefícios da operação de um sistema unicamente sob o ponto de um setor, quando existem. No entanto, outros setores de usuários que sofrem impactos da política de operação e tem suas garantias prejudicadas pelo incremento da oferta para outros setores.

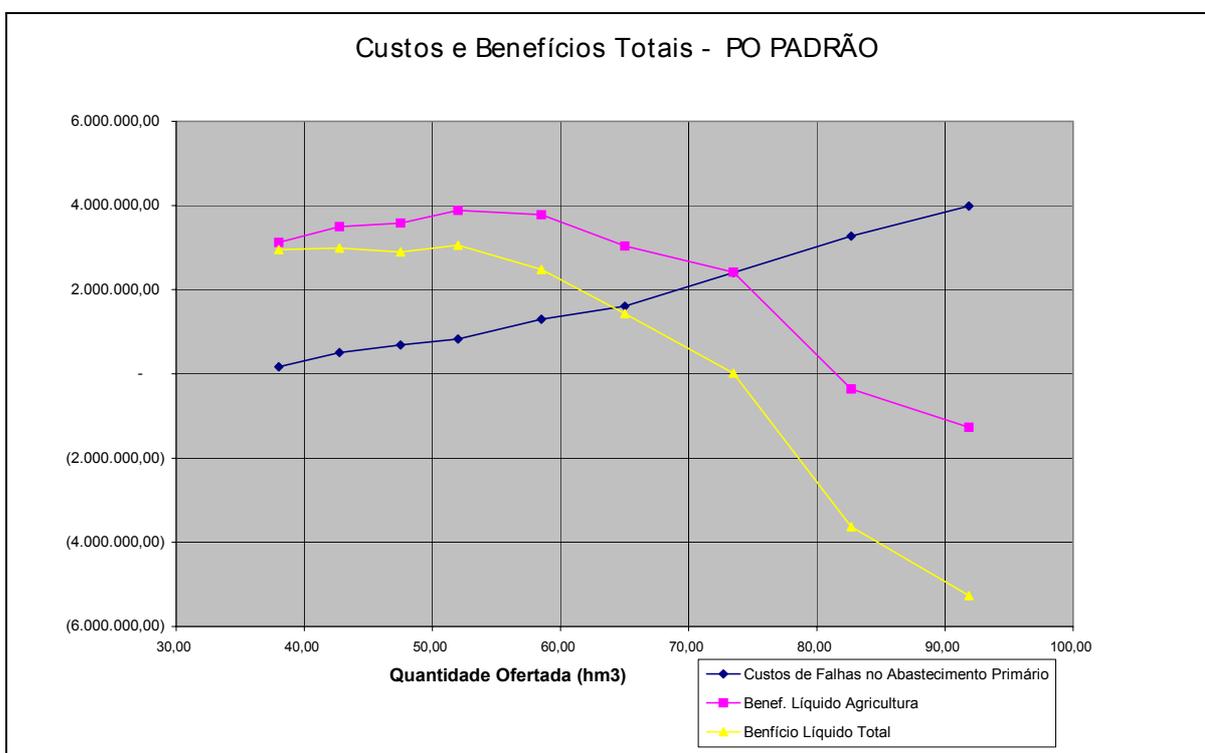


Figura 6.1 – Anuidades Equivalentes dos Custos e Benefícios decorrentes da Oferta do reservatório pela PO Padrão.

6.2 A Política de Operação Padrão e o “Recolhimento Compulsório”

Conforme foi observado, a outorga de uma quantidade menor que a regularizada acrescentou benefícios aos resultados da operação. Denominar-se-á de “recolhimento compulsório” a estratégia de se outorgar menos do que é possível regularizar. Estas vazões de referência, originadas na outorga de frações da vazão regularizada, funcionam como mecanismos de poupança onde um percentual não ofertado é poupado do consumo para se integrar ao estoque de água do reservatório.

Esta estratégia é muito criticada pelo fato de manter um estoque submetido às altas taxas evaporativas que inevitavelmente consumirão parte da poupança.

Os resultados mostrados na tabela 6.2 demonstram que o total evaporado médio anual aumenta quando se diminui a oferta. No entanto, os benefícios líquidos são significativamente melhorados pelo mecanismo de poupança (é o processo de regularização em si). Nem sempre o aumento das perdas por evaporação deve constituir o indicador da má performance da operação, pois mesmo que uma parcela da poupança se evapore, a parcela remanescente ainda poderá exercer um papel significativo.

Tabela 6.2- Análise dos benefícios líquidos em função da oferta e total evaporado

Q_{ref} (hm ³)		Evaporação Média (hm ³ /ano)	Benefício Total (R\$)	g (%)
100%Q ₉₅	47,5	69	2.893.140,79	95,2
80%Q ₉₅	38,0	75	2.950.826,39	98,8
Q ₉₀	65	66	1.425.226,00	89,3
80%Q ₉₀	52	59	3.060.185,09	94,0

Ainda observando a tabela 6.2 pode-se fazer a seguinte análise: ao se deixar de ofertar a Q₉₀ para se ofertar 80% da Q₉₀ priva-se da oferta de 13 hm³/ano e a quantidade evaporada média ao ano sofre um incremento de 7

hm³. No entanto, ainda restam 6 hm³ para a poupança efetiva (que não é evaporada), e que é capaz de gerar um incremento nos benefícios líquidos equivalente a R\$ 1.634.919,00. Portanto uma eficiência de apenas 45% do que é poupado (6 hm³) incrementa o benefício líquido em 100%.

Ao se ofertar menos do que é possível regularizar, automaticamente se altera a “referência” da vazão. Por exemplo, ao se oferecer apenas 80% Q₉₀, estar-se-á ofertando aproximadamente 100% Q₉₅ em virtude do aumento da confiabilidade proporcionada pela redução no consumo. Logo, na PO padrão a poupança compulsória e a oferta de água com maiores garantias são mecanismos que tem o mesmo significado.

Numa análise sob o ponto de vista do setor agrícola, os benefícios máximos seriam atingidos quando fosse ofertado um volume ou vazão anual cuja confiabilidade estivesse em torno de 95%. No entanto, ao ser incorporado o custo incremental provocado pelas falhas no atendimento da demanda prioritária, os benefícios incrementais da agricultura seriam anulados pelos referidos custos.

6.3 Análise dos Custos e Benefícios da PO Volumes de Alerta

Conforme mencionado no capítulo 4, a Política Operacional baseada em Volumes de Alerta oferece garantias diferenciadas por quotas também diferenciadas. As quotas associadas a garantias maiores de fornecimento são outorgadas a usuários cujas demandas apresentem prioridades sobre as demais. Já os usos menos prioritários, tais como o uso agrícola, são outorgados em quotas com menores garantias. A figura 6.2 ilustra o funcionamento do sistema de quotas com diferentes garantias associadas.

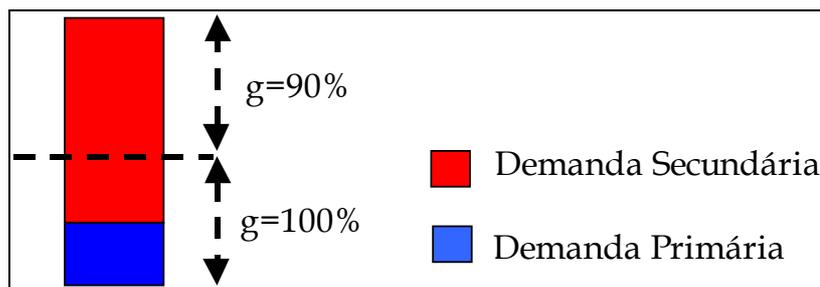


Figura 6.2 – Ilustração do sistema de garantias diferenciadas por quotas, utilizado na PO Volumes de Alerta.

O mecanismo operacional desta PO se baseia em impelir racionamentos em termos percentuais da vazão ofertada quando o volume ou nível de alerta é atingido. Ao se atingir determinado volume ou nível de alerta, as quotas associadas a garantias menores têm seu fornecimento interrompido e as demandas por usos menos prioritários são automaticamente reprimidas no percentual relativo à quota racionada. Os usuários com prioridade sobre os demais deverão se apoderar de parte ou toda a quota associada a maiores níveis de garantia.

Esse mecanismo permite que os usos prioritários, quando outorgados dentro da quota ou faixa “segura”, seja sempre atendido, em detrimento de usos menos prioritários, que têm sua demanda reprimida quando o alerta é atingido.

A tabela 6.3 mostra que a demanda prioritária (ou primária) foi atendida em sua totalidade durante o período simulado de modo que os custos de falhas na demanda primária foram nulos e, conseqüentemente, os benefícios líquidos da agricultura não sofreram impactos.

Pode-se perceber a clara separação de prioridades de uso. Pois a oferta incremental de água para a agricultura não se repercute sobre o setor prioritário. Qualquer decréscimo de benefícios ocasionados pela oferta indevida de água somente recairá sobre o mesmo setor. Na tabela 6.3 este fato é ilustrado claramente, ao se aumentar a oferta (em regime de

acionamento de 50%) de 37.97 hm³ (Q₉₅) para 47.52 hm³ (Q₉₀) o benefício líquido diminui drasticamente sem que a demanda primária seja atingida.

Tabela 6.3– Resumo dos Benefícios decorrentes da PO Volume de Alerta

Suprimento em Racionamento		PO VOLUME DE ALERTA			
		Q _{ofertada} (hm ³)	Custo devido as falhas na demanda primária (R\$)	Benefício líquido da Agricultura (R\$)	Benefício líquido total (R\$)
50%	Q ₉₅	37,97	-	3.041.643,00	3.041.643,00
	Q ₉₀	42,73	-	2.865.628,00	2.865.628,00
	Q ₈₀	47,52	-	362.258,00	362.258,00
30%	Q ₉₅	39,61	-	3.119.649,20	3.119.649,20
	Q ₉₀	47,73	-	3.360.792,13	3.360.792,13
	Q ₈₀	56,63	-	9.215,00	9.215,00

6.4 PO Volumes de Alerta e o “Recolhimento Compulsório”

Pode-se dizer que o recolhimento compulsório ou poupança compulsória já está implicitamente associado a esta Política de Operação. Durante os períodos de racionamento (embora estes sejam limitados a percentuais da série) o percentual racionado é poupado do uso para que a demanda prioritária possa ser satisfeita enquanto não houver afluências e para que nível de armazenamento do reservatório retorne a níveis seguros, onde toda a demanda poderá ser satisfeita.

Outra maneira de detectar o recolhimento compulsório nesta PO é comparar as vazões regularizadas que são ofertadas na tabela 6.4, com aquelas ofertadas pela PO padrão (tabela 6.2). Por exemplo, segundo a PO Padrão, a Q₉₅ equivale a 47.5 hm³/ano enquanto na PO Volumes de Alerta a Q₉₅ corresponde a 37.97 hm³/ano (tabela 6.4). Comparando as duas ofertas, nota-se que cerca de 10 hm³ está sendo poupado do uso, no entanto convém observar que a quantidade evaporada média anual aumenta 6 hm³/ano, ocasionado uma poupança efetiva (em relação a PO Padrão) de 4 hm³/ano,

que vai integrar ao estoque de água do reservatório para garantir que os objetivos desta PO sejam atingidos. Estes 4 hm³/ano que são efetivamente poupados, possibilitam que na pior situação 19 hm³/ano (50% de 37.97 hm³/ano) ainda possam ser oferecidos além de incrementar os benefícios em cerca de R\$ 140.000,00.

Exceto para a Q₈₀, a prática de ofertar percentuais da vazão regularizada, tal qual foi feito na PO Padrão, não traz bons resultados na PO Volumes de Alerta. Nas tabelas 6.4 e 6.5 este fato fica evidente. Sempre que foi ofertado menos que 100% da vazão regularizada, as perdas anuais médias aumentaram sem que houvesse uma contrapartida nos benefícios líquidos totais, de modo contrário estes diminuíram significativamente.

Cabe lembrar que ao ofertar percentuais da vazão regularizada, o volume de alerta foi mantido o mesmo. Por exemplo, simulou-se 80% Q₉₀ e com o mesmo nível de alerta estabelecido para 100% Q₉₀, sem levar em consideração que a simulação de 80% Q₉₀ requer um nível de alerta próprio.

Não é coerente, portanto, se ofertar menos que o regularizado sem que novos parâmetros de alerta sejam otimizados para esta nova oferta, pois os resultados (benefícios totais e confiabilidade) são fortemente condicionados por tais parâmetros. O valor da oferta não caracteriza por si só a PO, como pode ser observado na tabela 6.4, a oferta de 100% Q₉₀ e de 80% Q₈₀ apresentam valores anuais semelhantes (42 e 42.48 hm³/ano, respectivamente) sem no entanto apresentarem benefícios totais semelhantes.

Tabela 6.4– Análise dos benefícios em função da oferta e do total evaporado, PO Volume de Alerta suprindo 50% no regime de racionamento.

Q_{ref} (hm³)		Evaporação Média (hm³/ano)	Benefício Total (R\$)	g (%) secundária
100%Q ₉₅	37,97	75	3.041.643,00	95,2
90% Q ₉₅	34,17	78	2.824.355,90	96,5
90% Q ₉₅	30,37	80	2.430.867,79	98,5
100% Q ₉₀	42,00	74	2.824.355,98	90,5
90% Q ₉₀	38,45	73	1.374.866,00	92,3
80% Q ₉₀	33,60	79	2.458.417,00	94,0
100% Q ₈₀	47,20	73	362.258,00	80,0
90% Q ₈₀	42,48	75	805.090,00	84,0
80% Q ₈₀	33,60	79	2.458.417,84	94,0

Tabela 6.5– Análise dos benefícios em função da oferta e do total evaporado, PO Volume de Alerta suprindo 30% no regime de racionamento.

Q_{ref} (hm³)		Evaporação Média (hm³/ano)	Benefício Total (R\$)	g (%) secundária
100%Q ₉₅	39,61	75	3.119.649,00	95,0
90% Q ₉₅	35,65	77	3.014.586,77	96,7
90% Q ₉₅	31,71	79	2.668.547,00	98,0
100% Q ₉₀	47,73	71	3.360.792,00	90,0
90% Q ₉₀	42,96	74	3.024.320,00	92,0
80% Q ₉₀	38,20	76	2.987.621,00	94,4
100% Q ₈₀	56,63	69	9.215,00	80,0
90% Q ₈₀	50,96	71	1.011.729,00	84,0
80% Q ₈₀	45,30	73	2.297.509,00	88,0

A vazão de referência Q₈₀ se tornou uma exceção pelo fato de qualquer redução de oferta (mesmo que não seja alterado o nível de alerta) provocar um aumento da confiabilidade. Conclui-se que a oferta de vazões com níveis de garantia reduzidos, tais como 80%, não são satisfatórios.

6.5 Cotejando o Suprimento em Regime de Racionamento

Os resultados das simulações realizadas para os suprimentos em regime de racionamento de 50% e 30% nas tabelas 6.4 e 6.5 mostraram diferenças significativas para as duas alternativas.

Na figura 6.2 o nível de alerta é representado pela linha tracejada horizontal. Este nível poderá ser restabelecido de acordo com a necessidade do suprimento em regime de racionamento.

A prática o tem estabelecido em 50%. No entanto, este valor poderá ser alterado a fim de que somente os usos essenciais possam ser supridos. Na tabela 6.5, onde são mostrados os resultados para a simulação considerando o nível de suprimento em 30%, percebe-se que os níveis de perdas por evaporação são significativamente mais baixos que na tabela 6.4 que considerou o nível de suprimento em 50%. Os benefícios também foram incrementados em relação a tabela 6.4.

6.6 Análise de Sensibilidade do Contingente Populacional Abastecido pelo Reservatório Poço da Cruz sobre os Benefícios da Operação.

Conforme a metodologia adotada, os custos operacionais devido às falhas na demanda primária são condicionados pelo contingente populacional abastecido pelo reservatório e pelo custo unitário de falhas.

Considerando a sensibilidade das PO analisadas neste trabalho aos parâmetros supracitados, repetiu-se a simulação das vazões de referência Q_{95} e Q_{90} ambas associadas a um suprimento de 50% em regime de racionamento, e abastecendo um contingente populacional de 150.000 habitantes.

Na tabela 6.6, o contingente populacional de 65.843 habitantes se apodera de 14% da vazão outorgada pela PO padrão e de 17% da vazão outorgada pela PO volumes de alerta. Ao se incrementar o contingente populacional para 150.000 habitantes, a população se apodera de 32% da vazão outorgada pela PO padrão e de 40% da vazão outorgada pela PO volumes de alerta. Observa-se na tabela 6.6 que os impactos do aumento populacional afetam mais significativamente a PO padrão que a PO volumes de alerta. Para a PO volumes de alerta, na pior das situações, 50% da vazão ofertada regularmente será fornecida em regime de racionamento, e como a demanda primária se apodera de no máximo 40% da oferta, ainda resta 10% a ser consumido pelo setor agrícola. Na PO padrão o impacto é mais significativo, pois durante a falha a população deve ser abastecida pela alternativa de carros-pipa, onerando os custos de abastecimento.

Tabela 6.6– Resultados da simulação Q₉₅ (Suprimento em regime de racionamento corresponde a 50% do período regular)

Indicadores	População servida pelo reservatório			
	65.843 habitantes		150.000 habitantes	
	PO Padrão	PO V. Alerta	PO Padrão	PO V. Alerta
Q _{out} (hm ³)	47,75	37,97	47,50	37,97
Dem. Primária. (hm ³)	6,64	6,64	15,12	15,14
Dem. Primária. (% Q _{out})	14%	17%	32%	40%
Dem. Secundária (hm ³)	40,86	31,33	32,88	22,83
Dem. Secundária. (% Q _{out})	86,00%	83,00%	68%	60%
Anuidade equivalente (R\$)	2.893.140,79	3.041.643,00	1.355.186,00	2.167.999,00

De forma análoga à análise da tabela 6.6, descrita no parágrafo anterior, a tabela 6.7 apresenta - para a vazão de referência Q₉₀ - resultados similares a Q₉₅.

Observe que na tabela 6.7 o aumento populacional acarreta custos tão significativos que inviabilizam completamente a operação do reservatório pela PO padrão, enquanto a redução dos benefícios é pouco significativa quando o mesmo é operado segundo a PO volumes de alerta.

Figura 6.7- Resultados da simulação Q₉₀ (Suprimento em regime de racionamento corresponde a 30% do período regular)

Indicadores	População servida pelo reservatório			
	65.843 habitantes		150.000 habitantes	
	PO Padrão	PO V. Alerta	PO Padrão	PO V. Alerta
Q _{out} (hm ³)	65,00	42,00	65,00	42,73
Dem. Primária. (hm ³)	6,64	6,64	15,12	15,12
Dem. Primária. (% Q _{out})	10%	16%	23%	35%
Dem. Secundária (hm ³)	58,36	35,36	49,88	27,61
Dem. Secundária. (% Q _{out})	90%	84%	77%	65%
Anuidade equivalente (R\$)	1.425.226,00	2.824.355,00	(1.609.019)	2.195.144,00

6.7 Comparação entre as Confiabilidades Mensais e Anuais

Neste item será determinada para o setor agrícola a equivalência entre as confiabilidades mensais das vazões operadas pelo reservatório e a confiabilidade da produtividade agrícola anual.

A primeira coluna das tabelas 6.8 e 6.9 contém a vazão de referência associada às respectivas confiabilidades (garantias). As colunas g-Mensal indicam a confiabilidade mensal apresentada pela operação, sendo determinada através de um contador mensal que considera como “falha” o não atendimento à demanda.

Nas colunas g-Anual, são descritas as confiabilidades em termos de receitas anuais. Neste caso, o indicador g-Anual (conforme a metodologia adotada) considera o balanço financeiro negativo como falha.

Este indicador, apesar de conservador (pois só considera como falhas os benefícios líquidos anuais negativos), é mais realista que o indicador de confiabilidade mensal. Conforme foi levantado em capítulos anteriores, uma vazão de referência associada a uma confiabilidade em nível mensal não necessariamente informa o nível de confiabilidade econômica e financeira do empreendimento. Principalmente se este empreendimento tem seus

investimentos planejados em nível anual, como é o caso da agricultura irrigada.

Os resultados das tabelas 6.8 e 6.9 demonstram que, para a PO padrão, os valores de confiabilidade anual da produção são significativamente menores que as confiabilidades associadas às vazões de referência. Estes valores, para a PO padrão, se distanciam à medida que se diminui a confiabilidade da vazão de referência ofertada.

Tabela 6.8– Comparação entre as confiabilidades (g) Anuais e Mensais decorrentes das PO Padrão e Volume de Alerta (50% de Suprimento em regime de racionamento).

Q _{out}	PO Padrão		PO Volumes de Alerta	
	g - Mensal	g-Anual	g-Mensal	g-Anual
100% Q ₉₅	95,2%	89,0%	95,2%	96,0%
90% Q ₉₅	96,4%	92,9%	96,5%	100,0%
100% Q ₉₀	89,3%	75,0%	90,5%	89,3%
90% Q ₉₀	91,4%	85,7%	92,3%	85,7%
100%Q ₈₀	72,0%	50,0%	80,0%	78,0%
90%Q ₈₀	77,0%	57,1%	84,0%	85,7%

Para a PO volumes de alerta, a confiabilidade anual da produção não apresenta distanciamento significativo da confiabilidade mensal. Em alguns casos, devido ao caráter conservativo do indicador anual de produção, este último supera o valor do indicador mensal. Portanto, ao se ofertar uma vazão para a agricultura associada a um nível de confiabilidade mensal, não se erra significativamente ao se associar este índice de confiabilidade a um índice de sucesso anual da atividade agrícola, enquanto não se pode dizer o mesmo no caso da PO padrão.

Tabela 6.9 - Comparação entre as confiabilidades (g) Anuais e Mensais decorrente das PO Padrão e Volume de Alerta (30% de Suprimento em regime de racionamento).

Q_{out}	PO Padrão		PO Volumes de Alerta	
	g - Mensal	g-Anual	g-Mensal	g-Anual
100% Q ₉₅	95,0%	89,0%	95,0%	92,7%
90% Q ₉₅	96,1%	92,9%	96,7%	92,9%
100% Q ₉₀	87,5%	75,0%	90,0%	85,0%
90% Q ₉₀	90,8%	85,7%	92,0%	89,0%
100%Q ₈₀	75,0%	50,0%	80,0%	67,9%
90%Q ₈₀	79,8%	60,7%	84,0%	75,0%

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho duas políticas de operação (PO) foram avaliadas através de um modelo computacional, elaborado para fornecer indicadores econômicos dos benefícios e custos decorrentes do suprimento à demanda humana e agrícola.

O procedimento adotado foi: (1) Determinar a vazão de referência ofertada segundo a PO; (2) Simular as outorgas e apropriações das quantidades que foram disponibilizadas; (3) Estimar as demandas; (4) simular o atendimento as demandas operando a vazão de referência segundo a PO adotada e (5) estimar os benefícios e custos sobre os usuários decorrentes de suprimento ou falhas no atendimento às demandas.

Vários valores de referência usualmente adotados nos decretos Estaduais de forma empírica (Q_{95} , Q_{90} e Q_{80}) foram testados pelo modelo segundo a PO Padrão e Volumes de Alerta.

Com base nos resultados analisados no capítulo 6, neste capítulo serão dadas respostas aos questionamentos que motivaram este trabalho, questionamentos estes já colocados no item 1.1.

7.1 Operar o Sistema com Maior ou Menor confiabilidade?

A oferta de água associada a uma maior ou menor garantia dependerá da natureza do uso que se faz da quantidade de água ofertada. Mais precisamente, dependerá do impacto econômico que a ausência de suprimento nos períodos de falha acarreta na economia.

O abastecimento doméstico (demanda primária) é o setor que demanda por maiores garantias de fornecimento, uma vez que a ausência de suprimento pelo modo convencional onera significativamente o sistema de

abastecimento. As garantias das quotas outorgadas a usos prioritários, tais como o abastecimento doméstico, devem ser as mais altas possíveis.

No caso de operações que compartilhem as falhas entre os setores, tais como a PO padrão, recomenda-se ofertar vazões associadas a garantias de 95 %, como uma maneira de intermediar as exigências de garantias diferenciadas entre os usos.

No caso de oferta de quotas com garantias diferenciadas, como o caso da PO Volumes de Alerta, o nível de garantia adotado para usos menos prioritários pode ser adotado entre 90 e 95 %, uma vez que a demanda primária é sempre suprida com 99 % de confiabilidade.

A oferta de quotas associadas a garantias de 80% inviabilizam as políticas de operação de reservatórios interanuais no Semi-Árido. A regularização artificial de vazões em rios intermitentes perde seu sentido quando se reduz a confiabilidade da vazão ofertada a níveis tão baixos como 80%. Isso por que nos 20% restantes do tempo os usuários seriam submetidos a condições semelhantes à intermitência natural. Não se recomendada a oferta de água com níveis de garantia menores que 90%

7.2 As Perdas por Evaporação Justificam a oferta de Água com Menor Confiabilidade?

Diante dos resultados apresentados no capítulo anterior, a adoção de uma ou outra PO, ou a oferta de água associada à determinada confiabilidade, que tenha como consequência o incremento do total evaporado, não deve deixar de ser implementada.

Na verdade, o objetivo da regularização, principalmente no semi-árido, é adequar os padrões temporais da oferta aos padrões da demanda, e

não evitar perdas inevitáveis. Especialmente se atenta-se que se está em uma região onde a demanda evaporativa supera os 2.000 mm anuais e que inevitavelmente esse tipo de perda ocorrerá e será grande.

A negociação entre confiabilidade e redução de perdas por evaporação deve se dar em função dos objetivos a serem alcançados. Caso o aumento da evaporação aumente os benefícios dos projetos que fazem uso da água, ou mesmo atendam aos níveis de confiabilidade de determinado setor, tal operação deve ser implementada.

No item 6.2 mostrou-se que é possível aumentar os benefícios mesmo que se aumentem os níveis de perdas por evaporação e se reduzam os volumes das quotas ofertadas. Portanto o argumento de “perder água por evaporação” não é suficiente para a não implementação de uma PO mais eficiente.

Deve ser salientado que as simulações foram realizadas para o reservatório Poço da Cruz (ou Francisco Sabóia), cujo sistema de regularização é interanual. Para pequenos açudes, construídos para atender à demanda durante meses específicos do ano, incapazes de atravessar longos períodos de seca, recomendações específicas devem ser seguidas. É o caso do reservatório custódia, que por apresentar uma capacidade útil reduzida não é capaz de atravessar grandes períodos de seca, não sendo possível encontrar um volume de alerta no qual cessados os suprimentos menos importantes ainda seja possível atender a demanda e atravessar o período seco.

Para o reservatório de Custódia, cuja capacidade é de apenas 20 hm³, sua única alternativa de operação é a PO padrão. Qualquer outra operação que tente poupar água durante anos úmidos para serem utilizados em anos secos resultará em perdas evaporativas sem retorno algum. Alternativas específicas para estes açudes devem ser estudadas.

7.3 A Análise Econômica, exclusivamente, do Ponto de Vista do Setor Agrícola é Suficiente para Subsidiar Diretrizes Operacionais ?

Na existência de mais um uso, de prioridade e natureza diferenciada, se torna necessário incluir na análise os custos e os benefícios de cada um. Este requisito se torna mais importante quando a política de operação oferece a mesma garantia a todos os usos, permitindo desta forma que os usos mais prioritários sejam colocados sob o mesmo patamar de vulnerabilidade que usos menos prioritários. Esta característica da PO padrão permite que o usuário doméstico que utiliza água para um uso nobre, por exemplo, a dessedentação, seja impactado pelo incremento de oferta para atendimento de usos menos nobres como o agrícola.

A inobservância deste fato e, conseqüentemente, a desconsideração destes custos na análise, constitui uma prática não realista que vêm a mascarar os reais impactos da oferta de água sobre a economia. O item 6.1 ilustra quão altos seriam os benefícios da PO padrão caso não fossem considerados os custos de falhas na demanda primária.

Por outro lado, caso os usos implantados a jusante sejam unicamente de natureza agrícola a PO padrão pode vir a ser implementada maximizando assim os benefícios. O maior benefício líquido da agricultura na PO padrão foi R\$ 3.886.651 (tabela 6.1) decorrente da oferta de 80% da Q_{90} . Enquanto para a PO Volume de Alerta o maior benefício decorrente da agricultura foi de R\$ 3.119.649,20 (tabela 6.3), decorrente da oferta de Q_{95} com 30% de suprimento em racionamento.

Do parágrafo anterior conclui-se que quando não há demanda por abastecimento humano a PO Padrão pode vir a ser implementada maximizando os benefícios.

7.4 Quando a Confiabilidade (Garantia) da Vazão Ofertada Significa Sucesso da Atividade Agrícola?

Ao se informar a um agricultor que a vazão lhe foi outorgada associada a uma garantia mensal de 90%, o que se espera que o mesmo compreenda? Será que esta informação é servível para quem gostaria de saber com que freqüência seus rendimentos brutos serão insuficientes para pagar suas dívidas ? De modo análogo pode-se proceder com mesmo questionamento considerando os interesses de um agente financeiro.

Dependendo da Política de Operação, estes níveis mensais de confiabilidade ou garantia são amplamente distanciados da confiabilidade anual da produção.

Para a PO padrão estes indicadores diferem, em termos absolutos, em torno de 15% para o nível de garantia mensal de 90%.

Para a PO volumes de alerta o indicador de confiabilidade anual da produção, sem grande erro, pode ser estimado pelo indicador de confiabilidade mensal da oferta, de forma que o sucesso financeiro anual da atividade agrícola pode ser estimado pela confiabilidade mensal.

7.5 Ofertar Quotas Associadas a Confiabilidades Diferenciadas é Uma boa Prática?

A oferta de quotas com garantias diferenciadas se constitui numa prática recomendável. Suas vantagens são:

- Oferecer garantias maiores para usos de maior prioridade nos quais a incidência de falhas provoca aumento significativo dos custos;

- Os usos prioritários se tornam “intocáveis”, deixando os custos devido ao incremento da oferta a serem rateados pelo setor que demandou pelo aumento da mesma. Isto facilita a negociação de aumento da oferta e evita a indisposição entre setores de natureza diferenciada, garantido desta forma o princípio da primazia dos usos;
- O aumento do total evaporado não é tão significativo, a ponto de diminuir os benefícios líquidos das atividades que fazem uso da água. Pelo contrário, estes são incrementados.
- O fato de sempre haver uma parte da demanda que será suprida pelo reservatório propicia aos usuários uma sensação de segurança.
- O ajuste do percentual da vazão outorgada a ser suprido em regime de racionamento pode ser ajustado de acordo com as necessidades da bacia;
- No caso de variações significativas do contingente populacional a ser atendido pelo reservatório, ou mesmo aumento dos custos de provisão de alternativas de suprimento em regime de falhas (aumento nos custos de carro-pipa), o oferecimento de quotas com maior segurança proporciona um “hedging” para PO operacional.

7.6 Qual a Melhor Política de Operação: Padrão ou Volumes de Alerta ?

Diante de todas vantagens oferecidas por uma política operacional capaz de ofertar quotas com garantias diferenciadas, e diante do desempenho apresentado pela PO volumes de alerta nas simulações realizadas na bacia do Rio Moxotó, recomenda-se sua implementação em

reservatórios de regularização interanual cujos usos necessitem de garantias diferenciadas, conforme colocado no item 7.2.

Nas bacias onde o uso agrícola constitui a única demanda, a PO padrão pode ser utilizada, desde que as falhas prolongadas e intensas provocadas pelas secas do semi-árido não sejam cruciais aos cultivos. No caso de grande parte da demanda se constituir de cultivos temporários, uma operação arrojada como a PO padrão, incrementará significativamente os benefícios.

7.7 RECOMENDAÇÕES

As recomendações aqui expostas decorrem de dificuldades enfrentadas na obtenção de informações e diante de limitações da metodologia aplicada.

Os próximos trabalhos nesta linha de atuação em que, no seu exercício de execução, seja possível a implementação destas recomendações, terão seus resultados acrescidos de maior precisão.

Caso o raciocínio utilizado nesta abordagem metodológica seja adotada para subsidiar a avaliação dos instrumentos de gestão (não somente no semi-árido), as recomendações a seguir servirão de incentivo à realização de trabalhos de campo e experimentais, cujos resultados são imprescindíveis ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

7.7.1 Limitações de Informações Hidrológicas

Dentro deste escopo recomenda-se que, caso haja disponibilidade de uma série de vazões extensa e representativa do regime semi-árido, deve-se utilizar a amostra dividida (*split sample*). Na primeira parte se procede a

avaliação da oferta e utiliza-se a segunda parte da série para avaliar os impactos econômicos, ao contrário do procedimento que foi adotado, que utilizou a mesma série para determinar a oferta e para avaliar os impactos da operação.

7.7.2 Limitações de Informações Agrícolas e Pedológicas

Os modelos de predição de perda de cultivo já foram amplamente testados e validados. No entanto, diante da ausência de informações é forçosa a adoção de alguns valores de literatura referentes a: capacidade de campo, ponto de murcha permanente e coeficientes de resposta ao déficit para alguns cultivos. Sugere-se que, em regiões sujeitas a déficits hídricos, se desenvolvam mais pesquisas experimentais capazes de avaliar a influência das falhas de suprimento no rendimento dos cultivos. Desta forma espera-se ter uma gama maior de cultivos experimentados e submetidos aos déficits agrícolas.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, sentiu-se necessidade de informações de perda agrícola para déficits hídricos relativos, maiores que 50%, uma vez que os modelos de perda de produção se limitam aos déficits menores que este valor, o que leva a serem adotados procedimentos conservadores de perda total de produção para déficits maiores que 50%.

Informações sobre a propagação da perda de produção nos anos seguintes ao que ocorrem déficits também necessitam ser consideradas e estudadas. Não se conseguindo informações sobre tais efeitos, os mesmos foram desconsiderados.

7.7.3 Limitações de Informações sobre as demandas

Necessita-se obter informações mais precisas sobre as demandas, principalmente no que se refere aos custos induzidos por suprimentos alternativos e a demanda que efetivamente é abastecida pelo sistema.

Recomenda-se que os custos decorrentes da operação dos sistemas de abastecimento d'água sejam precisamente avaliados e publicados, a fim de que os benefícios de uma política operacional possam ser melhor avaliados.

7.7.4 Alternativas Metodológicas

A avaliação da oferta e simulação da operação utilizando a série histórica é um processo determinístico, cujas vazões de referência foram determinadas em função do período crítico da série simulada, sendo fortemente condicionados pelo armazenamento inicial adotado. Metodologias alternativas que considerassem as incertezas do processo poderiam ter sido utilizadas ao menos para avaliação da oferta, pois dentre as três grandes correntes classificadoras dos métodos de regularização citadas neste trabalho, o método utilizado (simulação da série histórica) é considerado o mais limitado.

Este trabalho não incorporou o aspecto de qualidade água em função das políticas operacionais. Estudos que avaliassem a qualidade das águas em função das políticas de operação viriam a complementar e validar ou não os resultados quantitativos. Isto aconteceria em função, por exemplo, de um aumento de salinidade da água que provocasse decréscimo de produção agrícola.

7.7.5 Transferência de Informações para bacias semelhantes

A transferência de resultados para outras bacias é válida desde que às condições de regularização dos reservatórios se enquadrem no sistema interanual.

No caso analisado em específico, as demandas prioritárias sempre se enquadraram na “faixa segura” de atendimento. Nos casos em que esta classe de demanda se apropria de uma quantia considerável da vazão ofertada pelo reservatório, as falhas de atendimento aumentam consideravelmente os custos, o que muda por completo o cenário aqui analisado. Tal situação não proporcionará a liberdade de ofertar um uso menos prioritário com menor garantia, sendo assim os resultados obtidos para a configuração da bacia do rio Moxotó não podem ser estendidos nem tomados como base para sua operação.

7.7.6 A Gestão Participativa e a Operação de Açudes

As políticas operacionais aqui adotadas demandam por decisão em vários momentos. No entanto algumas decisões tais como a redução de plantio temporário e suprimento emergencial foram adotados pelo autor diante da impossibilidade de simular a tomada de decisão por parte de um comitê de bacia.

O espaço para participação dos usuários e sociedade de forma organizada está plenamente aberto à medida que o Sistema Nacional de Recursos Hídricos seja implementado por completo e tenhamos seus elementos atuantes e fortalecidos.

Um exemplo que se conhece através de literatura é o Estado do Ceará onde os comitês participam da operação dos reservatórios com a ajuda da companhia de gestão – COGERH, que atua como agência de bacia.

Acredita-se que a forma como o comitê deve participar da operação do sistema - amparado pelos técnicos da agência - seria de forma semelhante ao exemplo cearense. Uma vez que uma agência esteja de posse do modelo em questão será possível abrir os seguintes espaços para a participação do comitê:

a) Planejamento - O comitê poderá decidir quais são as demandas que entrarão nas cotas com maiores garantias de suprimento e aquelas que devem ser outorgadas com menores garantias. Com base nesta eleição de prioridades, a agência executa algumas simulações com garantias diferenciadas e expõe os resultados para escolha do comitê.

b) Planejamento – O comitê poderá demandar à agência um estudo sobre as vantagens e desvantagens de cada política de operação. Caso seja vantagem para os usuários, optar por menos garantia e maior vazão. A agência poderá mostrar qual a vazão ofertada em que os benefícios são superados pelos custos.

c) Operação – A cada ano, a agência poderá fazer uma simulação prévia ao comitê para mostrar quanto está disponível para o plantio no ano seguinte. Se a vazão disponível for menor que a disponibilizada em regime normal de suprimento o comitê poderá redimensionar sua demanda através de uma negociação interna entre os usuários com devidas compensações.

Como se vê existe um grande espaço para a cooperação entre o comitê e a agência.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, MI- Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Infra-estrutura Hídrica, Relatório da Operação Integrada de Reservatórios, Brasília-DF, 2000, Tomo I - 187 p.
- CAMPOS, J.N.B & VIERA, V.P.P.B. Gerenciamento dos Recursos Hídricos: A Problemática do Nordeste. In: Revista de Administração Pública – Vol.27, n.2, pp. 83-92, Rio de Janeiro, Abr./Jun.1993.
- CAMPOS, J.N.B, A água e a vida: textos e contextos. Fortaleza: ABC, 1999.
- CAMPOS, J.N.B, Dimensionamento de Reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização. Fortaleza: EUFC, 1996.
- CARDOSO DA SILVA, L.M. Análise de critérios de outorga na bacia do rio Branco. Dissertação de Mestrado. Curso de pós-graduação em engenharia de recursos hídricos e saneamento ambiental da universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1997.
- COELHO, Jorge. As Secas do Nordeste e a indústria das secas. Petrópolis - RJ: Vozes, 1985.
- CONEJO, J.G.L. A Outorga de Usos de Água como Instrumento de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. In: Revista de Administração Pública – Vol.27, n.2, pp. 28-62, Rio de Janeiro, Abr./Jun.1993.
- DOOREMBOS J. & KASSAN A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Traduzido por GHEYI H.R. et. alli. Campina Grande: UFPB, 1994. Tradução de: Yeld Response do Water.
- FERREIRA, Roberto Gomes. Matemática financeira aplicada ao mercado de capitais. 4ª edição, Recife, Ed. Universitária da UFPE, 1995.

- FRICK, D.M. et. al. Effect of drought on urban water supplies. I: Drought analysis, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 116, n. 6, pp. 733 - 753, junho, 1990.
- GARRIDO, José Raymundo, Considerações sobre a formação de preços para a cobrança pelo uso da água no Brasil. In: A Cobrança pelo uso da Água. Org. Antônio Carlos de Mendes Thame, São Paulo; IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, pp. 57-92, 2000.
- GARRIDO, José Raymundo, O Combate à Seca e a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. In: O Estado das Águas no Brasil, Ministério de Minas e Energia – MME, Ministério do Meio Ambiente – MMA/SRH, pp. 287-318, 1999.
- GOLDBARG, M.C. Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos. - Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- HASHIMOTO, T. et. alli; Reliability, Resiliency and Vulnerability critérios for water system performance evaluation in water resource research. Vol. 18, n.1, pp. 14-20, Fev.,1982.
- KELMAN, Jerson, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos. In: A cobrança pelo uso da água. Org. Antônio Carlos de Mendes Thame, São Paulo; IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, pp. 93-124, 2000.
- KEMPER, Karin E. O Custo da água gratuita: Alocação e Uso dos Recursos Hídricos no vale do Curú, Ceará, Nordeste Brasileiro. ABRH: Porto Alegre - RS, 1997.
- LABADIE, JOHN W. Otimização da Operação de Projetos Hidroagrícolas. Colorado State University. Fort Collins. 1987.
- LANNA, A.E. Derivação da função de regularização de Reservatórios por simulação interativa- Programa CASCATA. Porto Alegre. IPH-UFRGS. 12p. 1996.

- LANNA, A.E. & ALMEIDA, J.P. Estimativa de necessidades hídricas para irrigação e de produtividade de culturas agrícolas. Porto Alegre-RS. IPH – UFRGS,1996.
- LANNA, A.E. et. alli. Análise de critérios de outorga de direitos de uso de água. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória-ES, 1997 .
- LANNA, A.E. Modelos de Gerenciamento das Águas. In: A água em revista – Revista técnica da CPRM, ano V, n. 8, 1997 .
- LANNA, A.E. Texto de Referência da disciplina: Gestão de Recursos Hídricos, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre: IPH - UFRGS, 1999.
- LANNA, A.E.(a) Introdução à gestão Ambiental e à análise econômica do ambiente. Programa de pós-graduação em engenharia de recursos hídricos e saneamento ambiental. IPH-UFRGS. Porto Alegre - RS, 2000.
- LANNA, A.E.(b) Regularização de Vazões em Reservatórios. In: Hidrologia, Ciência e aplicação. Org. TUCCI, C.E.M.;2. Ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS:ABRH.2000.
- LANNA, A.E.(c) Notas de Aula da disciplina Análise Sistêmica dos Recursos Hídricos. IPH. - Porto Alegre: UFRGS.2000.
- LEAL, Márcia Souza, Gestão Ambiental de Recursos Hídricos: Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.
- LIMA, H.V. C. & LANNA, A.E. L.(a) Modelos para operação de sistemas de reservatórios: Atualização do Estado da Arte. Artigo submetido a RBRH, Porto Alegre - RS, 2001.
- LIMA, H.V. C. & LANNA, A.E.L.(b) Operação "Ótima" de sistemas de reservatórios - Aplicação ao sistema de abastecimento da região

- metropolitana de fortaleza. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju-SE,2001.
- McMAHON, T.A. & MEIN, R. G. Reservoir Capacity and Yield. Amsterdam-Oxford - New York; Elsevier Scientific Publishing Company,1978.
- MACEDO, H.P.; A chuva e o chão na terra do sol. São Paulo: Maltese, 1996.
- MOLINAS, P. A. & MELO-LIMA, L.C.T. Estudos de Secas agrícolas no nordeste brasileiro. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999.
- MOLINAS, P.A. & SARMENTO, F.J. Operação dos reservatórios sujeitos a transposição de águas - Estudo de caso dos reservatórios das bacias receptoras de águas da transposição do Rio São Francisco. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 1999.
- MOLINAS, P.A. et. alli. Aspectos da operação dos reservatórios das bacias receptoras de águas da transposição do rio São Francisco. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife - PE, 1995.
- MOURA REIS, L.G. et. alli. Determinação da vazão regularizada considerando o volume de alerta ótimo através de simulação e otimização enumerativa. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju-SE,2001.
- OLIVEIRA, J.A. & LANNA, A.E. Otimização de um sistema de múltiplos usos no Nordeste Brasileiro, RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 2, n. 2, pp. 123-141, Jul/Dez 1997.
- PAIVA, Ana Emília D.S. & Ribeiro, Márcia M.R. Outorga dos direitos de uso de água na bacia do Rio Gramame-PB. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal-RN, 2000.

- PEREIRA, J.S.P. & LANNA, A.E.L. Análise de critérios de outorga dos direitos de uso da água. In: III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA, 1996.
- PIRES, C.L.F. A outorga de uso na Gestão de Recursos Hídricos. In: III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA, 1996.
- PROÁGUA Semi-Árido, Suprograma de Desenvolvimento sustentável de Recursos Hídricos para o Semi-árido Brasileiro - Manual Operativo, Brasil: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal-MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Vol 1, 1998.
- RAO, N.H. et alli A simple dated water- production function for use in irrigated agriculture. Agricultural water management - Vol. 13, pp. 25-32, Amsterdam, 1988.
- RIBEIRO, M.M.R. & LANNA, A.E. Instrumentos Regulatórios e Econômicos – Aplicabilidade à Gestão das Águas e à Bacia do Rio Pirapama, PE, RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 6, n. 4, pp. 41-70, Out/Dez 2001.
- SCHEFFER S. et. alli. Estimativa de volumes de armazenamento em açudes do sertão de pernambuco. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife-PE, 1995.
- SCHVARTZMAN, A.S. et. al. Avaliação preliminar do critério de outorga adotado no estado de minas gerais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG. 1999.
- VIANNA JR., W.P. & LANNA, A.E. L. Simulação e otimização da operação de um sistema de reservatórios: Bacia do rio Curú. Artigo submetido a RBRH, Porto Alegre - RS, 2000.

VIEGAS FILHO, J.S. O paradigma da Modelagem orientada a objetos aplicada a sistemas de recursos hídricos. Tese de Doutorado. Curso de pós-graduação em engenharia de recursos hídricos e saneamento ambiental da universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

VIEIRA, Vicente P.P.B. Água Doce no Semi-Árido. In: Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. Org. Rebouças et. alli. Escrituras: São Paulo, 1999.

VIEIRA, Vicente P.P.B. et. al. Níveis de Garantia de vazões regularizadas em rios intermitentes e riscos econômicos associados - estudo de caso. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado - RS, Vol.1, 1993.

DNOCS: História. Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. Disponível em: < <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/historia.htm> >.

Acesso em: 25/01/2001.

SERHI-AL, Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Moxotó. Maceió-AL, 1998.

SUDENE: Programas Emergenciais de Combate aos efeitos da Seca
Disponível em:< www.sudene.gov.br >.

Acesso em: 28/01/2002.

A – ANEXO

Tabela A.1 – Registros pluviométricos (mm) utilizados na simulação para a bacia do rio Moxotó.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1963	31	68	109	61	28	36	9	2	4	4	33	182
1964	98	128	111	114	62	40	39	31	20	3	11	40
1965	91	55	173	119	47	72	22	11	6	37	5	35
1966	65	135	22	148	29	37	51	11	5	13	61	32
1967	8	88	168	195	120	15	12	8	18	4	44	88
1968	41	77	156	85	104	23	14	1	4	9	6	40
1969	83	77	113	54	40	50	110	18	0	3	1	18
1970	107	67	92	34	14	15	29	8	0	37	15	6
1971	44	30	79	197	56	57	19	7	33	14	11	8
1972	61	72	88	84	56	68	8	45	7	13	0	49
1973	62	15	114	94	42	51	13	2	29	28	1	23
1974	119	165	243	154	85	14	9	0	10	1	66	56
1975	32	70	148	167	99	68	121	11	18	4	9	23
1976	20	135	84	103	16	10	1	0	14	64	43	28
1977	138	48	59	119	80	64	68	5	10	49	4	58
1978	12	153	219	100	54	48	54	4	43	11	15	16
1979	59	59	84	78	84	6	4	0	23	0	11	4
1980	79	174	68	12	5	45	9	0	3	18	51	11
1981	55	3	305	54	2	0	1	1	0	0	35	45
1982	14	32	52	81	63	19	4	0	3	1	0	20
1983	40	143	113	41	11	38	17	5	0	0	3	1
1984	10	5	152	249	71	10	38	38	11	5	6	13
1985	133	175	231	268	50	67	19	18	0	0	1	54
1986	49	116	200	130	66	38	52	12	10	8	42	9
1987	26	45	172	77	17	38	42	2	0	2	1	0
1988	23	30	208	174	18	32	37	3	2	0	17	75
1989	42	8	127	185	163	67	70	9	2	42	10	110
1990	12	49	19	103	35	4	34	0	12	3	6	6

Tabela A.2 – Série fluviométrica (mm) afluente ao reservatório Poço da Cruz (Francisco Sabóia).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1963	0,00	0,39	1,53	0,12	0,02	0,20	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31
1964	7,64	2,81	0,43	0,51	0,38	0,08	0,04	0,20	0,03	0,00	0,00	0,30
1965	0,65	0,57	3,43	20,34	7,14	0,31	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,05
1966	0,06	2,16	0,07	5,52	0,32	0,11	0,01	0,22	0,00	0,01	0,50	0,24
1967	0,00	0,21	3,35	37,59	18,54	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,59
1968	1,01	0,00	6,13	0,63	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1969	0,77	0,25	2,46	0,02	0,01	0,24	0,94	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
1970	0,46	0,01	3,16	0,01	0,01	0,00	0,14	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00
1971	0,14	0,15	0,48	6,98	6,10	0,43	0,02	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
1972	0,76	0,33	0,55	0,31	0,73	1,35	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,04
1973	0,03	0,00	0,92	0,55	0,39	0,58	0,00	0,00	0,23	0,08	0,00	0,04
1974	0,83	6,29	11,06	19,93	14,73	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,10
1975	0,08	0,07	5,68	1,66	14,26	4,95	4,35	0,70	0,01	0,00	0,01	0,02
1976	0,00	2,72	0,19	3,36	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,17
1977	0,75	2,24	0,11	2,34	0,47	0,30	0,49	0,21	0,01	0,83	0,00	0,09
1978	0,00	2,42	45,18	1,05	1,00	0,30	0,64	0,28	0,15	0,00	0,00	0,00
1979	0,20	0,03	0,20	0,97	6,63	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
1980	0,54	5,14	3,18	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,03	0,51	0,00
1981	0,04	0,00	82,96	32,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06
1982	0,00	0,00	0,43	1,16	3,35	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1983	0,11	3,66	0,68	0,96	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,00	1,91	42,47	10,80	0,60	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	0,79	8,22	10,30	157,51	11,33	0,30	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07
1986	0,08	0,47	8,68	5,17	1,52	0,37	0,12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
1987	0,00	0,03	1,77	1,32	0,02	0,07	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	0,09	6,91	7,35	5,03	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73
1989	0,24	0,00	2,36	14,17	44,60	12,55	3,52	0,00	0,00	0,38	0,00	1,74
1990	0,00	0,05	0,01	0,37	1,95	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

Tabela A.3 – Evaporação média mensal na bacia do rio Moxotó.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
182,0	152,8	152,0	135,2	130,4	147,2	164,0	208,8	246,4	251,2	249,6	216,8

Tabela A.4 – Curva área Volume do reservatório Poço da Cruz (Francisco Sabóia).

Área (km ²)	Volume (hm ³)
0.00	0.00
0.01	0.01
0.12	0.14
0.29	0.55
0.52	1.37
0.84	2.73
1.46	5.04
2.32	8.82
3.60	14.74
5.31	23.65
7.55	36.51
10.47	54.52
14.17	79.15
18.62	111.96
24.03	154.60
29.54	208.17
36.04	273.75
43.23	353.02
51.75	447.99
60.43	560.17
69.48	690.08

$S_{\text{máx}}=504 \text{ hm}^3$; $S_{\text{min}}=50 \text{ hm}^3$

Tabela A.5 – Arquivo de saída do modelo, quadro de atendimento às demandas

RESULTADO DAS SIMULAÇÕES OPERACIONAIS DOS RESERVATÓRIOS

Regra de Operação 1
Volume de Alerta

LEGENDA

Disp_P - Disponibilidade Líquida Para o Suprimento da Demanda Primária
Dem_P - Demanda Primária
Disp_S - Disponibilidade Líquida Para o Suprimento da Demanda Secundária
Dem_S - Demanda Secundária
Atend_S - Percentual de Atendimento da Demanda Secundária

Intervalo	Mês	ano	Disp_P (hm3)	Dem_P(hm3)	Atend_P(%)	Disp_S(hm3)	Dem_S(hm3)	Atend_S(%)
1	1	1	3.70	0.28	100.00	3.29	2.36	100.00
2	2	1	3.63	0.28	100.00	3.21	2.31	100.00
3	3	1	3.61	0.28	100.00	3.20	2.29	100.00
4	4	1	2.85	0.28	100.00	2.44	1.72	100.00
5	5	1	2.36	0.28	100.00	1.95	1.36	100.00
6	6	1	2.59	0.28	100.00	2.18	1.53	100.00
7	7	1	2.83	0.28	100.00	2.41	1.71	100.00
8	8	1	3.45	0.28	100.00	3.03	2.17	100.00
9	9	1	4.28	0.28	100.00	3.87	2.80	100.00
10	10	1	4.68	0.28	100.00	4.26	3.09	100.00
11	11	1	5.18	0.28	100.00	4.77	3.47	100.00
.....				
321	9	27	6.59	0.28	100.00	6.17	4.53	100.00
322	10	27	7.22	0.28	100.00	6.81	5.00	100.00
323	11	27	8.04	0.28	100.00	7.63	5.62	100.00
324	12	27	5.41	0.28	100.00	5.00	3.65	100.00
325	1	28	5.65	0.28	100.00	5.23	3.82	100.00
326	2	28	5.52	0.28	100.00	5.11	3.73	100.00
327	3	28	5.50	0.28	100.00	5.08	3.71	100.00
328	4	28	4.27	0.28	100.00	3.85	2.79	100.00
334	10	28	7.22	0.28	100.00	6.81	5.00	100.00
335	11	28	8.04	0.28	100.00	7.63	5.62	100.00
336	12	28	5.41	0.28	100.00	5.00	3.65	100.00

Tabela A.6 – Arquivo de saída do modelo: estatísticas de falhas no atendimento das demandas primária e secundária

ESTATÍSTICAS DE FALHAS DECORRENTE DAS REGRAS OPERACIONAIS DOS RESERVATÓRIOS

Regra de Operação 1

Volumes de Alerta

Falhas Primárias

Número de Intervalos em que a Demanda Primária está Ativa: 336

Suprimento (%)	Nº Falhas Meses	Confiabilidade(%)
0-10%	00	0.00
11-20%	00	0.00
21-30%	00	0.00
31-40%	00	0.00
41-50%	00	0.00
51-60%	00	0.00
61-70%	00	0.00
71-80%	00	0.00
81-90%	00	0.00
91-100%	336	100.00

Falhas Secundárias

Número de Intervalos em que a Demanda Secundária está Ativa: 336

Suprimento (%)	Nº Falhas Meses	Confiabilidade(%)
0-10%	00	0.00
11-20%	01	0.30
21-30%	00	0.00
31-40%	00	0.00
41-50%	32	9.52
51-60%	00	0.00
61-70%	00	0.00
71-80%	00	0.00
81-90%	00	0.00
91-100%	303	90.18

Tabela A.7 – Arquivo de saída do modelo: Estatísticas de déficits hídricos para o cultivo do milho.

RESULTADOS DOS DÉFICITS AGRÍCOLAS NOS CULTIVOS DECORRENTES DAS REGRAS DE OPERAÇÃO			
REGRA DE OPERAÇÃO 1			
VOLUMES DE ALERTA			
//- - - - - -//			
NOME DO CULTIVO: Milho			
Número de Intervalos em que a Demanda Secundária está Ativa: 112			
(ETR/ETM)	Nº Ocorrências	Perc. da Série(%)	
0-10%	16	14.29	
11-20%	00	0.00	
21-30%	00	0.00	
31-40%	00	0.00	
41-50%	00	0.00	
51-60%	00	0.00	
61-70%	00	0.00	
71-80%	00	0.00	
81-90%	00	0.00	
91-100%	96	85.71	

Tabela A.8 – Arquivo de saída do modelo: Estatísticas de déficits hídricos para o cultivo de citrus.

RESULTADOS DOS DÉFICITS AGRÍCOLAS NOS CULTIVOS DECORRENTES DAS REGRAS DE OPERAÇÃO

REGRA DE OPERAÇÃO 1
VOLUMES DE ALERTA

//- - - - - -//

NOME DO CULTIVO: Citrus

Número de Intervalos em que a Demanda Secundária está Ativa: 336

(ETR/ETM)	Nº Ocorrências	Perc. da Série(%)
0-10%	00	0.00
11-20%	00	0.00
21-30%	01	0.30
31-40%	00	0.00
41-50%	09	2.68
51-60%	11	3.27
61-70%	10	2.98
71-80%	01	0.30
81-90%	00	0.00
91-100%	303	90.18

Tabela A.9 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para o cultivo do milho.

ANÁLISE ECONÔMICA DAS REGRAS DE OPERAÇÃO						
REGRA DE OPERAÇÃO 1						
VOLUMES DE ALERTA						
ANÁLISE ECONÔMICA POR CULTIVO						
//- - - - -//						
NOME DO CULTIVO: Milho						
Ano	Área	Custeio(R\$)	Prod. (t/ha)	Prod. (t)	Benef.Bruto(R\$)	Benef.Liquid. (R\$)
1	426.59	369856.87	4.95	2111.36	1266813.52	896956.65
2	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
3	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
4	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
5	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
6	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
7	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
8	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
14	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
.....
22	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
23	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
24	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
25	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
26	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
27	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81
28	426.59	369856.87	4.99	2129.82	1277892.69	908035.81

Tabela A.10 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para o cultivo do feijão.

REGRA DE OPERAÇÃO 2							
REGRA MÍOPE							
ANÁLISE ECONÔMICA POR CULTIVO							
NOME DO CULTIVO: Feijão							
Ano	Área	Custeio (R\$)	Prod. (t/ha)	Prod. (t)	Benef.Bruto (R\$)	Benef.Liquid. (R\$)	
1	319.95	450617.99	2.36	1218.96	207223.58	-243394.41	
2	319.95	450617.99	2.50	1293.21	219845.82	-230772.17	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	319.15	449491.50	2.35	1214.55	206473.05	-243018.45	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	319.95	450617.99	2.36	1218.98	207226.12	-243391.86	
7	319.95	450617.99	2.50	1293.21	219846.04	-230771.95	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	20.14	28362.76	0.00	0.00	0.00	-28362.76	
14	319.95	450617.99	2.39	1234.28	209828.15	-240789.84	
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
17	319.95	450617.99	2.36	1218.96	207223.58	-243394.41	
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	319.95	450617.99	2.36	1218.96	207223.58	-243394.41	
21	319.95	450617.99	2.50	1293.21	219845.82	-230772.17	
22	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
23	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
24	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
25	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
26	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
27	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	
28	319.95	450617.99	2.50	1293.39	219876.75	-230741.24	

Tabela A.11 – Arquivo de saída do modelo: análise econômica para todos os cultivos.

ANÁLISE ECONÔMICA DA AGRICULTURA (TOTAL)						
Ano	Dívida	Custeio (R\$)	OAM (R\$)	Benef. Bruto (R\$)	Benef. Liquid. (R\$)	% Armaz. Jan.
1	1909910.53	4806074.52	860054.36	13773504.81	6197465.41	241.22
2	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394607.33	6818567.92	163.21
3	1909910.53	3757391.79	860054.36	12120061.48	5592704.81	115.60
4	1909910.53	4803452.95	860054.36	14330669.72	6757251.88	151.78
5	1909910.53	3757391.79	860054.36	12120061.48	5592704.81	93.04
6	1909910.53	4806074.52	860054.36	14340929.79	6764890.38	250.95
7	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394607.55	6818568.14	177.07
8	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	97.19
9	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	27.88
10	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	12.64
11	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	0.00
12	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	0.00
13	1909910.53	3823397.90	860054.36	12120061.48	5526698.70	141.26
14	1909910.53	4806074.52	860054.36	14349141.85	6773102.44	173.64
15	1909910.53	3757391.79	860054.36	7776122.03	1248765.36	98.97
16	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	46.93
17	1909910.53	4806074.52	860054.36	14340927.24	6764887.83	163.62
18	1909910.53	3757391.79	860054.36	9304052.52	2776695.85	94.66
19	1909910.53	3757391.79	860054.36	0.00	-6527356.67	47.55
20	1909910.53	4806074.52	860054.36	14340927.24	6764887.83	382.05
21	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394607.33	6818567.92	259.87
22	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	164.64
23	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	280.56
24	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	396.42
25	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	333.54
26	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	217.92
27	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	190.25
28	1909910.53	4806074.52	860054.36	14394638.25	6818598.85	406.57

1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	5
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 UM BREVE HISTÓRICO DAS SECAS NO NORDESTE	7
2.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	13
2.2.1 OUTORGA: ASPECTOS CONCEITUAIS E ESTADO DA ARTE	17
2.3 OUTORGA & SEMI-ÁRIDO I : PECULIARIDADES E OBSTÁCULOS LEGAIS	23
2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO	23
2.3.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS	26
2.4 OUTORGA & SEMI-ÁRIDO II: A OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E OS CRITÉRIOS DE OUTORGA	32
2.4 OUTORGA & SEMI-ÁRIDO II: A OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E OS CRITÉRIOS DE OUTORGA	32
2.4.1 TIPOS DE RESERVATÓRIOS	32
2.4.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA OFERTA	35
2.4.3 ANÁLISE DE SISTEMAS, POLÍTICAS DE OPERAÇÃO E A CONTRIBUIÇÃO ENGENHARIA DE SISTEMAS	37
2.4.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO	40
2.4.5 PRÁTICA DA OUTORGA NO SEMI-ÁRIDO	44
3 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA: A BACIA DO RIO MOXOTÓ	50
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	50
3.2 DIVISÃO MUNICIPAL	52
3.3 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA BACIA	53
3.4 HIDROLOGIA E CLIMA	55
3.5 HIDROGEOLOGIA	58
3.6 INFRA-ESTRUTURA HIDRÁULICA	59
3.6.1 ACUMULAÇÃO	59
3.6.2 ADUTORAS E POÇOS	60

3.7 TOPOLOGIA	60
3.8 SANEAMENTO BÁSICO	61
3.8.1 DIAGNÓSTICO	61
3.8.2 TENDÊNCIAS	62
3.9 IRRIGAÇÃO	65
3.9.1 DIAGNÓSTICO	65
3.9.2 TENDÊNCIAS	65
3.10 PECUÁRIA	66
3.10.1 DIAGNÓSTICO	66
3.10.2 TENDÊNCIAS	67
<u>4 - METODOLOGIA DE ANÁLISE E SIMULAÇÃO: CONCEBENDO UM SISTEMA DE APOIO À OUTORGA EM RESERVATÓRIOS.</u>	<u>68</u>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO	68
4.2 SIMULAÇÃO DA OUTORGA	71
4.2.1 VOLUME ANUAL RESERVADO À DEMANDA PRIORITÁRIA	72
4.2.2 VOLUME ANUAL RESERVADO À DEMANDA SECUNDÁRIA	73
4.2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PERDAS E EFICIÊNCIA NA QUANTIFICAÇÃO DAS DEMANDAS ANUAIS	76
4.3 POLÍTICAS DE OPERAÇÃO	77
4.3.1 POLÍTICA PADRÃO COM PLANEJAMENTO ANUAL	78
4.3.2 POLÍTICA DE OPERAÇÃO BASEADA EM VOLUMES DE ALERTA	91
4.4 OPERAÇÃO DOS PROJETOS DE IRRIGAÇÃO	97
4.5 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS IRRIGADAS	102
4.6 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS PARA O ATENDIMENTO DA DEMANDA PRIMÁRIA	105
4.7 AVALIAÇÃO BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DO ATENDIMENTO DA DEMANDA AGRÍCOLA	109
4.7.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO (SERVIÇO DA DÍVIDA)	109
4.7.2 CUSTO DE EXPLORAÇÃO (CUSTEIO)	110
4.7.3 CUSTO DE OPERAÇÃO ADMINISTRAÇÃO MANUTENÇÃO (OAM)	111
4.7.4 BENEFÍCIO BRUTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	111
4.7.5 BENEFÍCIO LÍQUIDO DA PRODUÇÃO	112
4.6 SUBSÍDIOS PARA A AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA POLÍTICA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	112
4.6.1 DISTRIBUIÇÃO DAS OUTORGAS	112

4.6.2	ÁREA IRRIGADA-----	112
4.6.3	NÍVEL DE ATENDIMENTO POR FAIXA DE ATENDIMENTO NAS CLASSE DE DEMANDA -----	113
4.6.4	DÉFICITS HÍDRICOS POR FAIXA DE ATENDIMENTO PARA OS CULTIVOS CONSIDERANDO O UNIVERSO AMOSTRAL REDUZIDO -----	114
4.6.5	ÁREA, PRODUTIVIDADE, CUSTEIO E RECEITAS BRUTAS POR CULTIVO -----	115
4.6.6	AValiação EconôMica AgrÍcola Total -----	116
4.6.7	AValiação dos Custos Operacionais para Suprimento da Demanda Primária -----	118
4.6.8	CONFIABILIDADE ANUAL NAS CLASSES DE DEMANDA -----	119
 <u>5 - APLICAÇÃO E RESULTADOS -----</u>		120
5.1	INFORMAÇÕES PRELIMINARES-----	121
5.1.1	DEMANDA PRIMÁRIA -----	121
5.1.2	DEMANDA SECUNDÁRIA -----	123
5.1.3	ESTIMATIVA DE CUSTOS E RECEITAS -----	126
5.2	DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES REGULARIZADAS PELOS RESERVATÓRIOS -----	127
5.2.1	RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ -----	128
5.3	SIMULAÇÃO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA NO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ-----	134
5.3.1	COMPARAÇÃO ENTRE A PO PADRÃO E A PO VOL. DE ALERTA SUPRINDO 50% EM REGIME DE RACIONAMENTO -----	135
 <u>6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS -----</u>		140
6.1	BENEFÍCIOS E CUSTOS INCREMENTAIS DA OFERTA DE ÁGUA PELA PO PADRÃO -----	140
6.2	A POLÍTICA DE OPERAÇÃO PADRÃO E O “RECOLHIMENTO COMPULSÓRIO” -----	143
6.3	ANÁLISE DOS CUSTOS E BENEFÍCIOS DA PO VOLUMES DE ALERTA -----	144
6.4	PO VOLUMES DE ALERTA E O “RECOLHIMENTO COMPULSÓRIO” -----	146
6.5	COTEJANDO O SUPRIMENTO EM REGIME DE RACIONAMENTO -----	149
6.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CONTINGENTE POPULACIONAL ABASTECIDO PELO RESERVATÓRIO POÇO DA CRUZ SOBRE OS BENEFÍCIOS DA OPERAÇÃO.-----	149
6.7	COMPARAÇÃO ENTRE AS CONFIABILIDADES MENS AIS E ANUAIS -----	151
 <u>7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES-----</u>		154
7.1	OPERAR O SISTEMA COM MAIOR OU MENOR CONFIABILIDADE? -----	154

7.2 AS PERDAS POR EVAPORAÇÃO JUSTIFICAM A OFERTA DE ÁGUA COM MENOR CONFIABILIDADE?	155
7.3 A ANÁLISE ECONÔMICA, EXCLUSIVAMENTE, DO PONTO DE VISTA DO SETOR AGRÍCOLA É SUFICIENTE PARA SUBSIDIAR DIRETRIZES OPERACIONAIS ?	157
7.4 QUANDO A CONFIABILIDADE (GARANTIA) DA VAZÃO OFERTADA SIGNIFICA SUCESSO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA?	158
7.5 OFERTAR QUOTAS ASSOCIADAS A CONFIABILIDADES DIFERENCIADAS É UMA BOA PRÁTICA?	158
7.6 QUAL A MELHOR POLÍTICA DE OPERAÇÃO: PADRÃO OU VOLUMES DE ALERTA ?	159
7.7 RECOMENDAÇÕES	160
7.7.1 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS	160
7.7.2 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES AGRÍCOLAS E PEDOLÓGICAS	161
7.7.3 LIMITAÇÕES DE INFORMAÇÕES SOBRE AS DEMANDAS	162
7.7.4 ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS	162
7.7.5 TRANSFERÊNCIA DE INFORMAÇÕES PARA BACIAS SEMELHANTES	163
7.7.6 A GESTÃO PARTICIPATIVA E A OPERAÇÃO DE AÇUDES	163
<u>8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>165</u>
<u>A – ANEXO</u>	<u>171</u>