

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

MANEJO AGRÍCOLA DA IRRIGAÇÃO COM BASE EM PREVISÃO DE VAZÃO

por

FERNANDO SETEMBRINO CRUZ MEIRELLES

Dissertação 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 obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, junho de 1.999.

por

FERNANDO SETEMBRINO CRUZ MEIRELLES

Bacharel em Agronomia

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Hidrologia/Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Morelli Tucci

Banca Examinadora: Prof. Dr. Antônio Eduardo Leão Lanna

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfun

Prof. Dra. Denise Cybis Fontana

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Carlos Eduardo Morelli Tucci da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A ele, meus profundos agradecimentos pela sugestão do tema e pela orientação contínua e incansável.

Agradeço também aos meus colegas do Setor de Água e Solo, permanentes e honorários, pelo apoio e empréstimo de equipamentos ao longo destes anos. Da mesma forma, meu reconhecimento aos colegas do Programa de Pós-Graduação, em especial ao engenheiro agrônomo Gustavo Merten, ao engenheiro mecânico Walter Collischonn, e às engenheiras civis Andréa Germano e Gerti Brum, pelos trabalhos e estudos compartilhados durante as disciplinas.

Não poderia deixar de agradecer à ECOPLAN Engenharia Ltda., nas pessoas dos engenheiros Carlos Mees, Henrique Kotzian, Rudimar Echer e Carlos Alberto Flores, pela cessão dos dados básicos utilizados nesta dissertação.

Gostaria de deixar registrada a minha insatisfação com o destino, que tirou-me a oportunidade de contar com o Prof. Raul Dorfman na banca examinadora, que seria um momento único de discutir sobre planejamento agrícola, tema que lhe era tão caro.

Por fim, dedico este trabalho à minha pequena família, Célia, Pedro e Lúcia, que souberam valorizar esse esforço e do qual foram a principal motivação.

RESUMO

O volume de irrigação de um projeto é determinado com base em uma série de vazões, admitindo-se um risco de falha. Durante os períodos de falha é possível estabelecer um manejo baseado no conhecimento antecipado da vazão. Essa dissertação analisa a possibilidade de utilizar-se a previsão de falha hidrológica no planejamento de projetos de irrigação atendidos por reservatório.

Pelas práticas correntes em engenharia, os reservatórios são previstos com uma porcentagem de falha considerada aceita, de acordo com critérios preestabelecidos e dependentes da finalidade do empreendimento. Para irrigação, valores de falha de 10% ou menores são considerados como satisfatórios. Esta falha, no entanto, não considera o efeito que a falta do suprimento hídrico trará sobre as culturas implantadas. Para verificar este efeito foram analisados os comportamentos de dois projetos situados no Distrito Federal, que encontra-se em uma região que apresenta época seca bem definida.

Utilizou-se como parâmetro de avaliação deste efeito a redução da produção causada pelo não atendimento da totalidade da necessidade hídrica. Esta necessidade hídrica foi determinada para atender ao valor da evapotranspiração máxima, de forma a maximizar a produção agrícola, considerando que os outros fatores básicos, como fertilizantes e defensivos, fossem atendidos, já que os custos desses fatores foram considerados. Como suprimento hídrico foi considerado apenas o volume posto através da irrigação. Para efeito do controle do reservatório, considerou-se a retirada bruta, levando em conta a eficiência do sistema proposto.

No manejo do reservatório foram, inicialmente, consideradas as vazões registradas ao longo de 35 anos, a precipitação sobre a área inundada média, a altura de evaporação sobre a superfície líquida e a retirada para irrigação, mês a mês. Na simulação, os valores de vazão observados no período de estiagem foram substituídos por valores gerados. A retirada de água do reservatório, por sua vez, obedeceu a uma hierarquização das culturas dentro do plano de exploração agrícola previsto.

Os resultados obtidos permitem validar a preocupação de qualificar a falha, já que o resultado financeiro da exploração de algumas culturas situa-se muito aquém do previsto, chegando a ser nulo durante todo o período de simulação. Ampliando-se a simulação, determinou-se, com base nas falhas, quais as áreas possíveis de serem implantadas sem que ocorresse colapso no atendimento.

ABSTRACT

The irrigation volume of a project is determined based on a series of discharges, assuming a risk of failure. During the failure period management can be established based on previous knowledge of the discharge. This dissertation analyzes the possibility of using the hydrologic failure forecast to plan irrigation projects supplied by a reservoir.

In current engineering practices, the reservoirs are planned with a percentage of failure considered acceptable according to pre-established criteria that depends on the purpose of the project. This failure, however, does not take into account the effect that the lack of a water supply will have on the implemented crops. In order to verify this effect the behavior of two projects in the Distrito Federal of Brazil was analyzed. This region has a well-defined dry period.

The parameter adopted to evaluate this effect was lower yields due to the fact that total water needs had not been covered. The same water need was determined to cover the value of maximum evapotranspiration, maximizing agricultural production, considering that the other basic factors such as fertilizers and pesticides had already been attended to, since the costs of these factors were taken into account. Water supply was taken only as the volume used for irrigation. For reservoir control purposes, the bulk water removal was considered, taking into account the efficiency of the system proposed.

Reservoir management initially took into account the discharges recorded over 35 years, mean rainfall over the flooded area, height of evaporation over the liquid surface, and removal for irrigation, month by month. In simulation, the discharge values observed during the dry period were replaced by generated values. Water removal from the reservoir, on the other hand, obeyed a hierarchy of crops in the predicted agricultural plan.

The obtained results confirm the importance of qualifying the failure, since the financial result of some crops is well below what was expected, and it is almost nil during the simulation period. By expanding the simulation, based on the failures, it became possible to determine which areas could be implemented without causing the water supply to collapse.

SUMÁRIO DOS CAPÍTULOS

	PÁGINA
	CAPÍTULO
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 O PROBLEMA	01
1.2 JUSTIFICATIVAS	02
1.3 OBJETIVOS	04
2. REGULARIZAÇÃO E MANEJO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO	05
2.1 DETERMINAÇÃO DA OFERTA	06
2.2 NECESSIDADE HÍDRICA DAS CULTURAS E EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	20
2.3 OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	30
2.4 PREVISÃO DE VAZÃO	38
2.5 RISCO DE FALHAS, GARANTIA DE ATENDIMENTO E TIPOS DE MANEJO	39
3. A ÁREA DO ESTUDO	47
4. PREVISÃO DA VAZÃO DE ESTIAGEM	65
5. METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE UM PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO ATRAVÉS DE MANEJO AGRÍCOLA	78
5.1 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA BRUTA DE IRRIGAÇÃO	79
5.2 DETERMINAÇÃO DAS FALHAS DE ATENDIMENTO	83
5.3 DETERMINAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NAS RECEITAS DOS PRODUTORES	84
5.4 MANEJO DA ÁGUA EM PERÍODO CRÍTICO	86
5.5 REAVALIAÇÃO DO RISCO E A DIMENSÃO DO PROJETO	87
5.6 MANEJO OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO	89
5.7 - RESUMO DOS RESULTADOS	117
6. CONCLUSÕES	124

SUMÁRIO DAS FIGURAS E TABELAS

FIGURAS	PÁGINA
2.1 – Variação da precipitação e da vazão média na bacia do rio Pípiripau, D.F.	8
2.2 – Trecho de recessão no hidrograma de vazões médias do rio Pípiripau, D.F.	8
2.3 – Gráfico das diferenças acumuladas entre a vazão afluyente e a vazão média para o projeto de um reservatório	14
2.4 – Diagrama de Rippl	14
2.5 – Curva típica da relação cota e armazenamento em um reservatório	18
2.6 – Valores típicos de k_c para a cultura do milho	21
2.7 – Irrigação por sulcos	26
2.8 – Irrigação por faixas	27
2.9 – Irrigação por tabuleiros	28
2.10 – Irrigação subterrânea por elevação do lençol freático	28
2.11 – Irrigação subterrânea com aplicação de água no interior do solo	28
3.1 – Localização das áreas irrigadas, das áreas alagadas, da bacia do rio Pípiripau e dos postos fluviométrico, pluviométrico e climatológico utilizados no projeto de engenharia	48
3.2 – Comportamento da vazão média mensal no período de estiagem no posto Frinocap, D.F.	49
3.3 – Comportamento da vazão média mensal no período chuvoso no posto Frinocap, D.F.	49
3.4 – Média e desvio padrão da série de precipitações adotada	53
3.5 – Variação da evapotranspiração média mensal no posto Formosa, calculada por Hargreaves	53
3.6 – Valores máximos, médios e mínimos da precipitação efetiva, com base em série de precipitações da estação Formosa	62

3.7 - Vazões máximas, médias e mínimas para o posto Frinocap, no rio Pípiripau, D.F., com base na série gerada (1949-1983)	64
3.8 – Razão entre o valor observado e o valor médio das séries de precipitação (posto Formosa) e de vazão anual (posto Frinocap) - valores adimensionais	64
4.1 – Valores de vazão da série original (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de maio - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.	75
4.2 – Valores de vazão da série original (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de junho - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.	75
4.3 – Valores de vazão da série original (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de julho - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.	76
4.4 – Valores de vazão da série original (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de agosto - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.	76
4.5 – Valores de vazão da série original (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de setembro - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.	77
5.1 – Projeto Barbatimão – Resultado da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	119
5.2 – Projeto Barbatimão – Custo da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	119
5.3 – Projeto Barbatimão – Margem da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	120
5.4 – Projeto Barro Preto – Resultado da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	122
5.5 – Projeto Barro Preto – Custo da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	123
5.6 – Projeto Barro Preto – Margem da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados	123

TABELAS	PÁGINA
2.1 – Eficiência de aplicação, em porcentagem, da irrigação em sistemas por superfície	31
2.2 – Vazamento específico observados em canais não impermeabilizados de acordo com o material de construção	31
3.1 - Valores mensais de vazão média (m ³ /s) para o período chuvoso no Posto fluviométrico Frinocap, rio Pipiripau, D.F.	51
3.2 - Valores mensais de vazão média (m ³ /s) para o período de estiagem no Posto fluviométrico Frinocap, rio Pipiripau, D.F.	52
3.3 – Precipitação mensal no período de chuvas, posto Formosa	54
3.4 – Precipitações mensais no período de estiagem, posto Formosa	55
3.5 – Relação entre as áreas das bacias contribuintes dos locais de barramento e a do posto fluviométrico Frinocap, D.F.	56
3.6 – Relações entre cota, área e volume dos reservatórios projetados para atender a demanda hídrica dos projetos Barbatimão e Barro Preto	56
3.7 - Relação entre o volume máximo armazenável e a vazão anual (em volume) - valores adimensionais	58
3.8 - Plano de exploração agrícola dos projetos em estudo - valores em ha	59
3.9: Precipitação efetiva no período chuvoso (mm), Posto Formosa	60
3.10: Precipitação efetiva no período de estiagem (mm), Posto Formosa	61
4.1 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia de Villanueva et al	70
4.2 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia de Villanueva et al, após expurgo de dados discrepantes	70
4.3 : Valores dos produtos entre a vazão de abril e a vazão dos meses entre abril e	71

setembro para o posto Frinocap, no rio Pípiripau, D.F.	
4.4 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia proposta	71
4.5 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia proposta, após expurgo dos dados discrepantes	72
4.6 - Diferenças entre a vazão observada e a calculada pelo método proposto (m^3/s)	72
4.7 – Parâmetros estatísticos das séries de vazões observadas e geradas, em m^3/s	73
4.8 - Parâmetros estatísticos das séries observada e gerada, em m^3/s	73
5.1 - Valores de k_c por mês para as culturas constantes no plano de cultivo	80
5.2 – Valores de área cultivada por mês para as culturas constantes no plano de cultivo – Projeto Barbatimão	80
5.3 - Valores de área cultivada por mês para as culturas constantes no plano de cultivo – Projeto Barro Preto (ha)	81
5.4 - Prioridade de atendimento das culturas propostas	82
5.5 – Valores dos coeficientes k_y das culturas selecionadas	85
5.6 – Custos, produtividade e renda prevista para os planos de exploração agrícola do Projeto Barbatimão	92
5.7 - Renda bruta projetada para o Projeto Barbatimão, D.F. (35 anos)	93
5.8 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário I em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão, D.F.	94
5.9 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário I - Projeto Barbatimão, D.F.	94
5.10 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário II em 1000 US\$ - Projeto	96

Barbatimão, D.F.	
5.11 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário II - Projeto Barbatimão, D.F.	96
5.12 - Resultados obtidos na possibilidade de cenário III em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão, D.F.	98
5.13 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário III - Projeto Barbatimão, D.F.	99
5.14 - Valores das áreas possíveis de serem irrigadas a cada ano (ha) - Projeto Barbatimão, D.F.	102
5.15 - Resultados obtidos na possibilidade de cenário IV em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão, D.F.	103
5.16 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IV - Projeto Barbatimão, D.F.	104
5.17 - Renda bruta projetada para o Projeto Barro Preto (35 anos)	105
5.18 - Resultados obtidos na possibilidade de cenário I em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	105
5.19 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário I - Projeto Barro Preto, D.F.	106
5.20 - Resultados obtidos na possibilidade de cenário II em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	107
5.21 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário II - Projeto Barro Preto, D.F.	108
5.22 - Resultados obtidos na possibilidade de cenário III em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	109
5.23 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites	110

durante o período de 35 anos para o cenário III - Projeto Barro Preto, D.F.	
5.24 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IIIa em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	110
5.25 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IIIa - Projeto Barro Preto, D.F.	111
5.26 - Área de plantio de feijão sob irrigação - Projeto Barro Preto, D.F. - Projeto Barro Preto, D.F.	112
5.27 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IV em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	113
5.28 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IV - Projeto Barro Preto, D.F.	114
5.29 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IVa em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto, D.F.	114
5.30 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IVa - Projeto Barro Preto, D.F.	115
5.31 - Comportamento do perímetro Barro Preto para diferentes áreas de milho cultivado sob irrigação e uso de previsão de vazão na determinação das áreas de feijão	116
5.32 – Quadro referencial de falhas para a alternativa de cenário IVa - Projeto Barro Preto, D.F.	116
5.33 – Resumo dos valores obtidos pelas simulações para o Projeto Barbatimão	118
5.34 – Resumo dos valores obtidos pelas simulações para o Projeto Barro Preto	121

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

Os reservatórios para suprimento de água para atender a um perímetro de irrigação são dimensionados a partir do estabelecimento de uma demanda hídrica vinculada a um plano de exploração agrícola. Este é função das potencialidades edafoclimáticas, das características de mercado, da estrutura de apoio aos irrigantes, da tradição de cultivo, entre outros fatores, incluindo culturas de ciclo longo e anuais. A demanda resultante, portanto, é variável ao longo do tempo e esta variação é resultado da combinação de fatores aleatórios, como o mercado e o clima, com fatores que apresentam comportamento mais rígido, como a estrutura de apoio à produção. Por outro lado, deve ser considerada a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, que também apresenta variação ao longo do tempo.

No equacionamento deste problema existem dois lados a serem considerados: no primeiro, está a disponibilidade hídrica não regularizada, representada pela série de dados hidrológicos disponíveis em postos fluviométricos ou obtidos por diversos métodos determinísticos ou estocásticos; por outro, há uma demanda que apresenta variação ao longo do tempo, sendo que na etapa de planejamento é determinada por um plano de exploração agrícola teórico, podendo apresentar alterações significativas na fase de operação do projeto.

Na busca de uma solução, existem dois riscos envolvidos: (i) a probabilidade de obtenção de uma vazão regularizada, a partir da implantação de um reservatório com volume útil estabelecido para atendimento da demanda estimada; (ii) a probabilidade de fornecimento de água, através da operação das estruturas de armazenamento e distribuição, na época e na quantidade adequada para satisfazer as necessidades hídricas das culturas exploradas sob irrigação.

Normalmente, o primeiro risco é considerado apenas na fase de estudo deste tipo de obra. Depois de construído o reservatório, o perímetro de irrigação atendido por reservatório é operado sem um plano de manejo considerando a previsão relacionada com os períodos de falha de atendimento à irrigação. Este tipo de procedimento implica na perda de produção e rentabilidade econômica de projetos de irrigação.

A previsão hidrológica depende muito do regime hidrológico da região. Um regime hidrológico pouco definido é entendido aqui como aquele observado em bacias em que as vazões dos diferentes meses não apresentam uma sazonalidade marcante, quando, por exemplo, no mês de maio tanto pode ocorrer uma enchente quanto uma seca. Um regime hidrológico bem definido ocorre quando a sazonalidade é bem definida com períodos de estiagem ocorrendo nos mesmos meses ao longo dos anos.

Em regimes hidrológicos pouco definidos, a previsão de vazão apresenta pouco determinismo e risco similar ao já estabelecido pelos métodos clássicos. No entanto, é possível estabelecer uma previsão de curto prazo para melhor gerenciamento do perímetro.

Em regimes bem definidos, a previsão de vazão e da capacidade de regularização passa a ser um problema determinístico. Esta previsão deve ser realizada antes do período de plantio, permitindo um manejo eficiente do perímetro com evidentes benefícios econômicos.

O uso de rotinas para verificar qual a consequência do não fornecimento adequado de água para as culturas exploradas no perímetro também não é comum, sendo o manejo de água ditado por esquemas preestabelecidos, nos sistemas mais rígidos, ou com retirada livre por parte dos agricultores, nos sistemas mais livres de operação e de custo inicial de implantação mais elevados.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A necessidade de estudar-se a variação dos rendimentos financeiros obtidos por irrigantes em perímetros atendidos por reservatórios derivou da observação do fato de que a falha de atendimento, parâmetro fundamental do dimensionamento do volume útil do reservatório, não era avaliada quanto aos seus efeitos junto aos agricultores, mas apenas quanto ao dimensionamento do sistema de acumulação e distribuição.

Segundo Effertz et al (1993), na maioria dos países da América Latina os resultados dos projetos de irrigação não têm atingido as metas esperadas. A falta de êxito na execução de projetos e/ou programas no setor agropecuário tradicional resulta de algumas desvinculações, entre as quais podem ser consideradas:

- desvinculação entre a etapa de elaboração de projeto e sua execução;
- desvinculação entre projetista e executores do projeto com os usuários ou beneficiários do mesmo;

- desvinculação entre o que se quer fazer e a maneira de fazê-lo.

Mesmo para projetos que tenham sido bem concebidos e bem implantados em termos físicos, o funcionamento depende de pessoas e formas de atuação, estando sujeitos a deficiências no cumprimento dos propósitos iniciais, as quais podem levar ao não atendimento das metas fixadas e até prejudicar o sistema e os beneficiários do projeto.

Sendo a irrigação uma prática fundamental para a produção agrícola em regiões áridas, semi-áridas ou com prolongado período de deficiência de umidade, o sucesso da atividade dos agricultores é dependente do fornecimento de água. Se é possível avaliar-se as falhas de atendimento em porcentagem de tempo ou de volume fornecido, a produção agrícola, objetivo final da irrigação, não apresenta um comportamento tão simplificado, respondendo de maneira diversa a deficiências hídricas de mesmo porte, dependendo da época em que ocorram. Do mesmo modo, não é possível recuperar-se os efeitos de uma deficiência de umidade com fornecimento de um volume de água superior em um período posterior.

Os projetos de irrigação atendidos por barramentos em bacias com anos hidrológicos bem definidos têm um risco de falha incluído no seu dimensionamento. A ocorrência de falha de atendimento pode comprometer em parte ou na totalidade o resultado de uma safra agrícola, com inegáveis prejuízos aos agricultores. Por outro lado, a possibilidade de prever esta falha antes do plantio pode resultar em um planejamento mais eficiente do uso da água, gerando benefícios a todos os irrigantes. Com base na previsão da vazão em estiagem e do estado de armazenamento do reservatório em um dado mês, é possível simular a aplicação de variantes do modelo de exploração agrícola básico, com vistas a obter o maior retorno financeiro possível.

Uma vez implantado o perímetro de irrigação e seu respectivo reservatório, é necessário estabelecer-se uma regra de operação que possibilite a maximização do retorno financeiro do conjunto dos agricultores. Em caso de falha no fornecimento de água em um perímetro sem regras de operação, é provável que todos os agricultores venham sofrer reduções em seus rendimentos. Uma situação pior ocorreria se os agricultores situados em pontos mais longínquos do sistema de distribuição fossem constantemente afetados pela falta de água, em função da retirada da vazão necessária pelos irrigantes mais a montante.

Os planos agrícolas propostos para projetos de irrigação devem produzir uma receita tal que, ao longo da vida do projeto, resultem em valores que justifiquem a execução do empreendimento. Na seleção de culturas para compor tais planos, destacam-se as culturas de ciclo

longo, que normalmente apresentam valores de venda mais atrativos do que os dos grãos. Por vezes, ainda, são previstas culturas de sequeiro ou pastagens como forma de utilização das terras no período de chuva. Os critérios de formulação destes planos, no entanto, não são fixados pela forma de manejo do perímetro de irrigação. Os planos de exploração agrícola constituem um produto inicial do planejamento do empreendimento e servem para calcular a vazão a ser regularizada para atendimento da demanda.

O objetivo da operação de um sistema de irrigação é a administração, distribuição e fornecimento de água para irrigação, de forma racional, eficiente e de acordo com as reais necessidades dos cultivos, bem como dirigir o pessoal do projeto e gerenciar adequadamente os recursos, a fim de que seja possível alcançar os objetivos do projeto. Existindo um reservatório e uma área a irrigar é necessário existir uma regra operativa que harmonize o volume disponível no início do período de plantio com o plano agrícola proposto pelos irrigantes. Também é necessário obter um controle rígido da irrigação quando a disponibilidade hídrica é um fator de limitação à plena produção agrícola. Este controle deve ser realizado com o menor espaço temporal possível, de forma que seja possível a correção das deficiências ou a mitigação de seus efeitos em tempo hábil. Se necessário, deve-se buscar a formulação de planos agrícolas alternativos para que resultados de exploração agrícola sejam positivos.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo global desta pesquisa é o de conjugar técnicas de previsão e de manejo de irrigação para o gerenciamento eficiente de um perímetro.

O objetivo específico deste trabalho é estudar a variação do resultado econômico obtido quando se altera o plano de exploração agrícola, de acordo com a água estimada disponível no começo do período de estiagem, explorando as características interanuais das séries hidrológicas.

Como estudo de caso, procedeu-se a aplicação das metodologias de previsão de vazão de estiagem e de alteração do plano de exploração agrícola, com base na disponibilidade hídrica no início do período de estiagem, em dois projetos de perímetros de irrigação anteriormente dimensionados.

CAPÍTULO 2. REGULARIZAÇÃO E MANEJO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Um projeto de irrigação depende dos seguintes elementos básicos:

- disponibilidade hídrica
- necessidade hídrica de irrigação
- sistema de distribuição

Portanto, para permitir o equacionamento do problema, fez-se necessário estudar as variáveis que determinam a oferta e a demanda de água em um projeto alimentado por reservatório e qual a influência de cada uma destas variáveis.

A base desse capítulo é a relação existente entre oferta de água, demandas de água e volume armazenado a cada intervalo temporal.

A oferta natural é determinada pelo escoamento superficial da bacia contribuinte e pela precipitação efetiva. As demandas são compostas pela necessidade bruta de irrigação, por vazões mínimas a serem derivadas para jusante e pela evaporação direta do lago.

A necessidade bruta de irrigação, por sua vez, depende da necessidade líquida, definida pela evapotranspiração potencial, e das eficiências de aplicação e de condução.

A eficiência de aplicação é função do método de irrigação, que pode ser escolhido entre várias possibilidades.

A eficiência de condução é determinada pela estrutura de distribuição, normalmente composta por canais, revestidos ou não, adutoras e aquedutos, entre outras estruturas, além dos tipos de manejo e de controle que são executados.

Por fim, a área exposta à atmosfera e sujeita à evaporação é função do volume armazenado, que por sua vez depende da geometria do reservatório, da relação entre o volume de escoamento e o volume possível de ser acumulado, do balanço entre oferta e demandas e do manejo do reservatório, este sendo um fator de muita influência.

2.1 DETERMINAÇÃO DA OFERTA

2.1.1. Disponibilidade hídrica natural

O parâmetro hidrológico que traduz a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é o deflúvio médio de longo período, que estabelece o limite superior do seu potencial hídrico regularizável.

Por outro lado, em virtude da variabilidade do regime pluvial, as disponibilidades hídricas nas épocas de baixa pluviosidade tornam-se reduzidas. Nestas situações, para captações superficiais, deve-se adotar um outro parâmetro que seja julgado adequado, como a $Q_{7,10}$, que é o deflúvio mínimo de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, ou a $Q_{0,95}$, que é a vazão que é superada em 95% do período hidrológico com dados disponíveis, por exemplo (Porto, 1986).

A avaliação da disponibilidade de água pode ser simples nos seguintes casos:

- a) bombeamento ou derivação de um rio com uma vazão média muito maior do que a retirada;
- b) bombeamento de aquíferos abundantes;
- c) armazenamento em barragens situadas em regiões onde a estação chuvosa não coincide nem parcialmente com o período de irrigação ou apenas ocorrem pequenas precipitações.

Em todos estes casos, os recursos hídricos ou são conhecidos com exatidão no começo da temporada de irrigação ou não representam limitação para o desenvolvimento da irrigação.

Para determinar o volume de água que um aproveitamento implantado em uma bacia hidrográfica recebe ao longo de um período de tempo, é necessário conhecer o regime de precipitações observado na sua bacia de contribuição, o escoamento superficial resultante e a parcela deste escoamento que depende da contribuição sub-superficial.

Precipitação é o termo geral de todas as formas de umidade emanadas da atmosfera e depositadas na superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Desde que atinge o solo, torna-se o elemento básico da hidrologia. A precipitação em forma de chuva é a mais importante no Brasil, visto que a ocorrência de neve é bastante incomum e porque as outras formas pouco contribuem para o regime hidrológico de uma região (Villela, 1975).

Parte da precipitação que atinge o solo fica retida quer seja em depressões quer seja em torno de partículas sólidas. Do excedente da água retida, parte se infiltra e parte esco superficialmente. Pode ocorrer que a água infiltrada venha, posteriormente, aflorar na superfície como fonte para novo escoamento superficial (Villela, 1975). Pelo termo escoamento superficial entende-se toda quantidade de água que esco em determinada seção de um curso de água (Porto, 1986).

Durante os períodos de estiagem, esse escoamento é proporcionado exclusivamente pela água armazenada no subsolo e chama-se *vazão básica ou escoamento subterrâneo*. As camadas geológicas inferiores funcionam, portanto, como reservatórios que armazenam a água infiltrada durante os períodos chuvosos, liberando-a, lentamente, nos meses subseqüentes para os pontos mais baixos da bacia (Porto, 1986).

Durante os períodos chuvosos a parcela de água que não se infiltra e não se evapora esco sobre a superfície com velocidades muito maiores do que as do escoamento subterrâneo. Esta fase do ciclo hidrológico chama-se *escoamento superficial direto – ESD* (Porto, 1986).

A observação de hidrogramas de rios perenes costuma apresentar duas características distintas ao longo do ano, conforme a Figura 2.1.

No exemplo mostrado, típico da região tropical do Brasil, o período chuvoso (outubro a março) mostra hidrogramas bastante irregulares, pois normalmente prevalece o ESD causado por chuvas que se distribuem aleatoriamente no tempo e no espaço. No período que vai de abril a setembro, a forma do hidrograma costuma ser mais regular, pois prevalece o escoamento subterrâneo, mais lento e uniforme. Neste período a vazão decresce continuamente. A vazão será tanto menor quanto maior for o período sem chuvas.

Ao trecho do hidrograma em que a vazão do curso de água é resultado apenas da alimentação pelo subsolo dá-se a denominação de *curva de recessão*. Em regiões de pequeno armazenamento subterrâneo e altas taxas de evaporação, o escoamento básico costuma ser desprezível, prevalecendo o ESD nos meses chuvosos e inexistindo vazão no período sem chuvas, sendo que os rios são *cortados ou não-perenes* (Porto, 1986). A Figura 2.2 mostra um exemplo de trecho de recessão de um hidrograma.

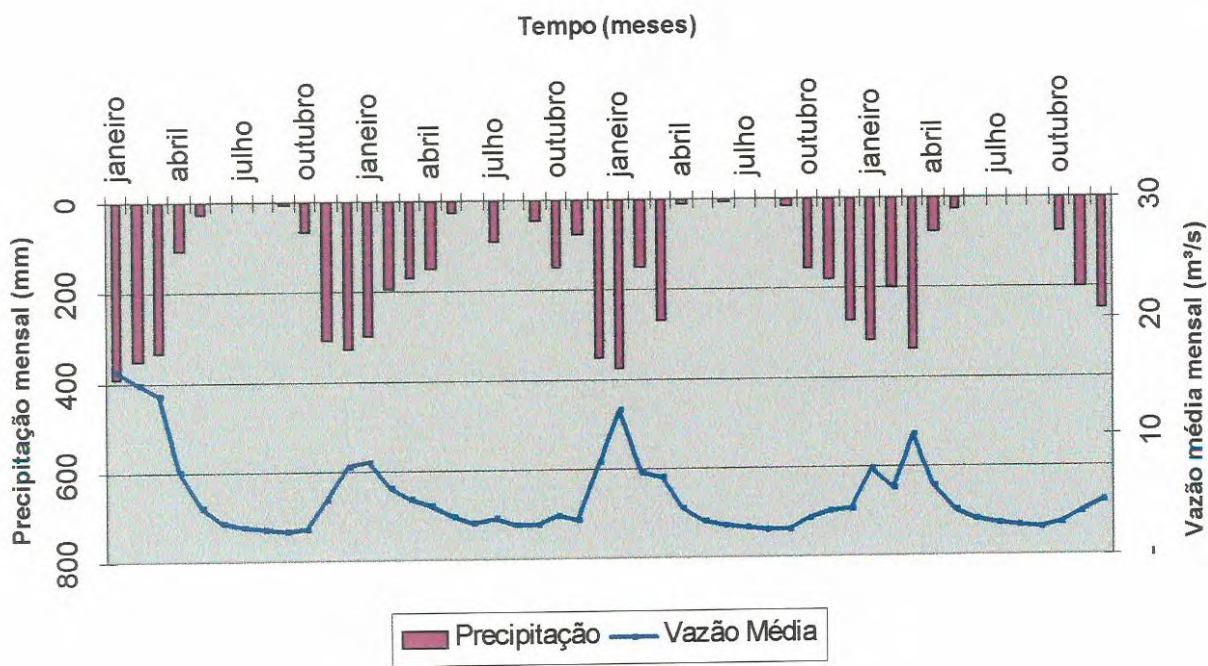


Figura 2.1 - Variação da precipitação e da vazão média na bacia do rio Pípiripau, D.F.

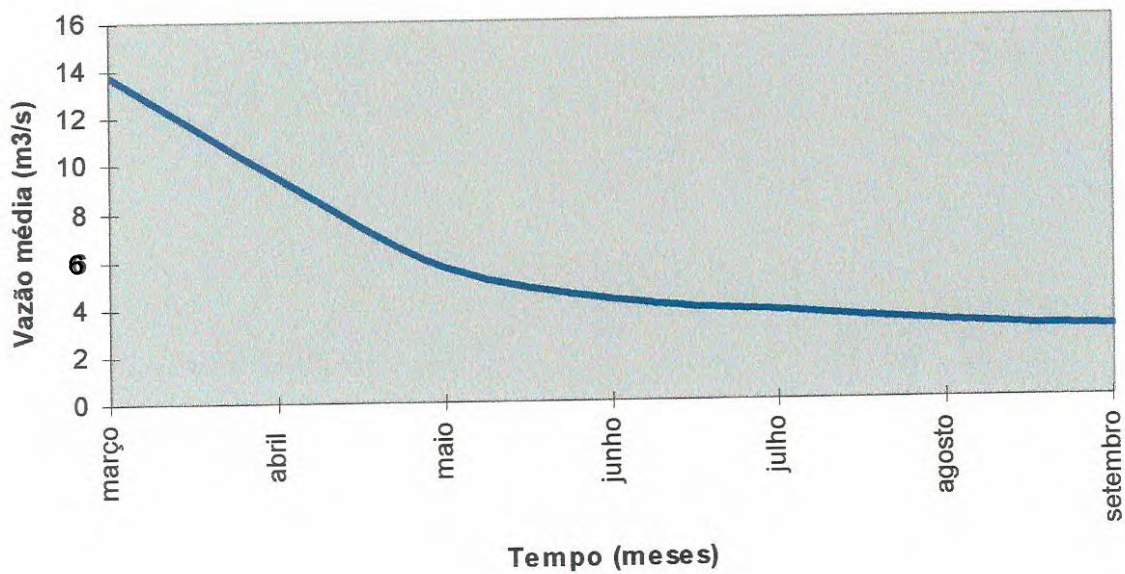


Figura 2.2 - Variação da precipitação e da vazão média na bacia do rio Pípiripau, D.F.

É possível admitir com razoável precisão que o subsolo comporte-se como um reservatório cuja descarga é diretamente proporcional ao volume armazenado, de acordo com a seguinte relação:

$$V = k.Q \quad (2.1)$$

onde V é o volume armazenado em m^3 , Q é a descarga do reservatório em m^3/s e k é a uma constante com a dimensão de tempo em segundos. A substituição dessa expressão na Equação da Continuidade ($dV/dt = Q$) leva a uma equação diferencial, que, integrada, tem a solução

$$Q_i = Q_{i-\Delta t} e^{-(\Delta t/k)} \quad (2.2)$$

onde Q_i é a vazão no instante i ; $Q_{i-\Delta t}$ é a vazão no instante $i-\Delta t$; Δt é o intervalo decorrido entre as duas vazões; e k é a constante definida anteriormente, denominada de constante de recessão. A constante de recessão k pode ser determinado através do traçado do hidrograma em papel semi-logarítmico, utilizando a função $\log Q = f(t)$. O trecho de recessão do hidrograma transforma-se em segmento de reta, cujo coeficiente angular é numericamente igual a $1/k$. A constante de recessão é uma importante característica do escoamento superficial, pois permite a previsão de vazões de estiagem e a avaliação da reserva hídrica subterrânea (Porto, 1986).

A análise de um hidrograma de um rio leva às seguintes conclusões:

- pode-se definir, em um período determinado, as vazões máxima, média e mínima, de cujos valores dependem grande parte do planejamento relativo à utilização dos recursos do rio;
- pode-se definir se as vazões extremas (máximas e mínimas) ocorrem em eventos isolados ou existem períodos extensos com vazões próximas a esses extremos.

Conforme o tipo de problema a resolver e de acordo com o tamanho da bacia hidrográfica pode-se buscar as variações das vazões médias diárias, mensais ou anuais.

Para as pequenas bacias ou para se estudar enchentes, as vazões diárias ou até horárias seriam as adequadas; para bacias maiores ou para estudar-se estiagens, o conhecimento das vazões médias mensais seria suficiente (Porto, 1986).

2.1.2 Regularização de vazão

Quando a vazão natural não tem condições de atender a demanda estipulada, é possível construir reservatórios para a regularização da vazão.

Para reservatórios que atendem exclusivamente a projetos de irrigação, a demanda de água reflete unicamente a vazão que deve ser liberada pela tomada de água para suprir os volumes exigidos pelas culturas, somado com um valor de vazão mínima a ser mantida a jusante, sendo esta uma exigência normal dos órgãos de controle ambiental.

A disponibilidade hídrica para uma determinada seção de controle é estabelecida com base numa série de vazões suficientemente longa para ser representativa do comportamento hidrológico da sua bacia hidrográfica. A representatividade necessariamente não é dependente do número de anos de uma série, mas sim da existência de períodos representativos nesta série (Tucci, 1998).

A disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser estimada pela curva de permanência, obtida com base na série histórica e que relaciona vazão e sua permanência no tempo.

A variabilidade temporal das vazões fluviais tem como resultado visível a ocorrência de excessos hídricos nos períodos chuvosos e a carência nos períodos secos, sendo natural a tendência de formação de reservas no período chuvoso para utilização no período seco (Lanna, 1993). Geralmente, um curso de água que não atende a demanda por períodos longos necessita regularização da vazão, o que é obtido através da implantação e operação de reservatórios. Os reservatórios de acumulação são construídos quando as vazões disponíveis em um curso de água, embora em média sejam superiores às necessidades de consumo, apresentam mínimos inferiores a estas necessidades (Martins, 1987).

Como a ocorrência de vazões é aleatória, ou seja, não há possibilidade de previsão de ocorrências a longo prazo, não é também possível prever-se com precisão o tamanho da reserva de água necessária para suprimento das demandas de períodos de seca no futuro. Isto leva o planejador de recursos hídricos a duas situações ineficientes: superdimensionar as reservas às custas de investimentos demasiados no reservatório de acumulação, ou subdimensionar as reservas às custas de racionamento durante o período seco. Entre estas duas dimensões estaria aquela ótima (Lanna, 1993).

A dimensão ótima para um reservatório deverá ser considerada em função de um compromisso entre o custo de investimento na sua implantação e o custo da escassez de água durante os períodos secos. O primeiro custo é diretamente proporcional e o segundo é inversamente proporcional à dimensão do reservatório. Quanto menor for a capacidade útil de acumulação de água, ou seja, aquela que pode ser efetivamente utilizada, mais provável é a ocorrência de racionamento. Portanto, apenas na situação extrema de aversão ao racionamento seria ótima a decisão de construir-se um reservatório que sempre pudesse acumular água para atender à demanda (Lanna, 1993).

Os métodos clássicos utilizados para os estudos de regularização de descargas de cursos de água naturais têm por escopo a determinação do volume de armazenamento necessário num reservatório para garantir uma determinada descarga regularizada constante, durante o período mais crítico de estiagem observado. (Porto, 1986)

O estudo de regularização compreende a determinação dos volumes V_n necessários para diferentes vazões Q_r , dentro da faixa $Q_{\min} < Q_r < Q_{\text{média}}$ (Porto, 1986).

Com a definição do volume necessário para regularizar uma determinada vazão, verifica-se a adequação do local de armazenamento e o fornecimento de água por parte da bacia.

O levantamento planialtimétrico da bacia de acumulação, cuja cota máxima é definida pela altura das ombreiras disponíveis, permite a elaboração das curvas cota – área – volume, com as quais se pode avaliar a possibilidade de armazenar o volume necessário.

Segundo Molle e Cadier (1992), uma das dificuldades encontradas no uso dos açudes para irrigação é a adequação da superfície do perímetro a ser instalado à potencialidade do reservatório. Implantar um perímetro pequeno demais corresponde a um desperdício, já que não se aproveita todo o potencial do reservatório. Implantar um perímetro grande demais e plantar a totalidade da superfície ocasiona a falta da água antes dos cultivos completarem o seu ciclo vegetativo. Não são raros os casos de agricultores que tendo iniciado a irrigação de uma parcela mal dimensionada, esgotaram o volume acumulado no meio do ciclo cultural.

Quando o volume de água disponível é limitado, a área a ser irrigada deve ser função desse volume e do nível tecnológico da irrigação, o que definirá a eficiência global do projeto. A irrigação realizada de forma deficitária, com uma oferta menor do que a demanda, em uma área maior pode resultar mais rentável do que irrigar uma área menor com atendimento pleno da

demanda (Keller et al, 1992), pois a queda do rendimento das culturas não assume o mesmo percentual de falta de água.

A vazão máxima possível de ser regularizada pode ser obtida pelo dimensionamento simplificado de um reservatório hipotético, onde os ingressos são representados pelas vazões afluentes e a única retirada de água é feita por descargas operadas, não ocorrendo perdas por evaporação nem por infiltração. Buscando a regularização total, a demanda será considerada constante ao longo do tempo, sendo representada por uma constante X . Pelo princípio de conservação de massa tem-se que:

$$S_0 + \sum_{t=1}^N q_t = N.X + S_N \quad (2.3)$$

ou seja, o armazenamento inicial no açude (S_0) somado aos deflúvios afluentes ao açude durante um período de N intervalos de tempo (q_t), deve ser igual à soma das descargas retiradas do açude neste mesmo período, dada pelo produto $N \cdot X$, mais o armazenamento final (S_N). Supondo que o armazenamento inicial é idêntico ao final, ou que a diferença entre eles é pequena diante da soma das afluições, vem:

$$\sum_{t=1}^N q_t = N.X, \quad (2.4)$$

de onde conclui-se que a descarga máxima atingível nessas circunstâncias é:

$$X = \frac{\sum_{t=1}^N q_t}{N} \quad (2.5)$$

Observando-se a expressão à direita da igualdade, conclui-se que a descarga máxima regularizável é a média aritmética dos deflúvios afluentes no período t (Tucci, 1993)

Os métodos clássicos de dimensionamento de reservatório de regularização são (Lanna, 1993):

a) Método da curva de diferenças acumuladas: os procedimentos necessários para a aplicação do método em questão ao se pretender realizar um estudo de regularização de vazão de um dado curso de água são os seguintes:

- com a série de n dados de vazão do local a estudar, determinar a vazão média do período;
- calcula-se a diferença entre a vazão observada em um determinado período, normalmente um mês, e a vazão média;
- calcula-se a diferença acumulada a cada período, sendo que no final dos n períodos para os quais dispõe-se de dados a diferença acumulada será nula;
- com os resultados da diferença acumulada, constrói-se um gráfico semelhante ao apresentado na Figura 2.3.

Na Figura 2.3, os elementos indicados têm o seguinte significado: N – número total de intervalos de tempo; n – número qualquer de intervalos menor que N ; n_0 - início do período crítico; n_c – duração do período crítico; QR – vazão a ser regularizada; RE - reservatório em início de esvaziamento; RC - reservatório cheio e iniciando a verter; e áreas em azul – períodos de deficiência de armazenamento do reservatório ou volumes consumidos para garantir a vazão regularizada QR . A deficiência máxima representa o volume necessário de armazenamento para que seja possível regularizar a vazão QR .

Outra forma de determinar-se a capacidade útil do reservatório é a aplicação do Diagrama de Rippl, que é um diagrama de massas, apresentado na Figura 2.4.

Na Figura 2.4 as letras indicam o seguinte:

- A – reta cuja inclinação representa a demanda, que no caso é constante;
- B – curva correspondente ao volume disponível acumulado, obtido pela transformação da vazão em volume e somatório das vazões ao longo do período de observação;
- C e D – pontos de máximos e mínimos relativos pelos quais são traçadas retas tangentes à curva B paralelas à reta A . A tangente passando por C deverá cortar a curva B à direita (ponto E), enquanto que a tangente que passa por D cortará a curva B à esquerda (ponto F). O ponto C indica o reservatório em seu nível máximo para aquela contribuição e o instante em que o volume acumulado inicia um período de descida; o ponto D indica o instante em que terminou a estiagem e inicia o período chuvoso; e o ponto E representa o instante em que o reservatório está cheio e a água começa a escoar pelo vertedouro. O intervalo temporal entre C e E é denominado período crítico.

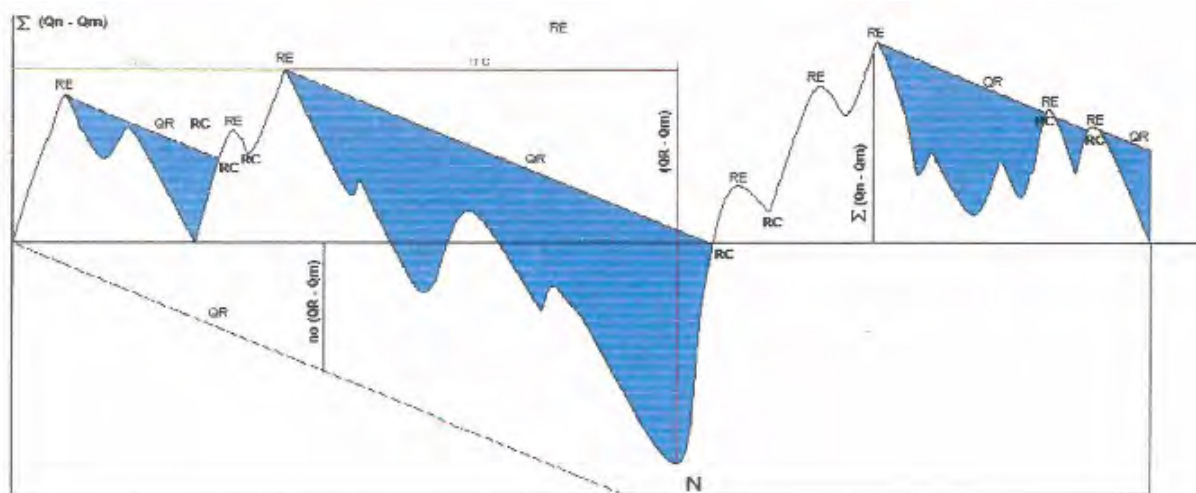


Figura 2.3 - Gráfico das diferenças acumuladas entre a vazão afluyente e a vazão média para o projeto de um reservatório (Porto, 1986)

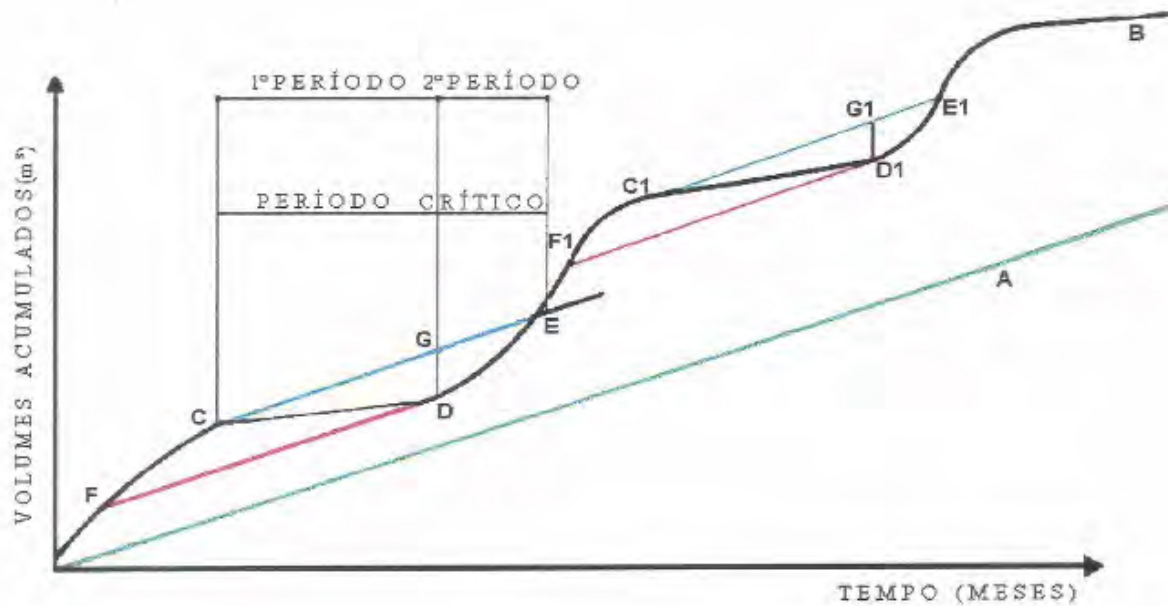


Figura 2.4 - Diagrama de Rippl (Martins, 1987)

- a partir do ponto D é determinado o ponto G, situado sobre as retas tangente que passam por C, sendo o segmento de reta DG paralelo ao eixo das ordenadas. Os valores de volume representados pelos diversos segmentos de reta DG são os máximos déficits de água durante os períodos críticos. Para atender a demanda estipulada na totalidade do período de análise, o reservatório deverá ter um volume útil igual ao maior que o valor de DG encontrado.

Quando os volumes demandados ao reservatório não são constantes ao longo do ano, o correspondente diagrama de valores deixa de ser uma reta, impossibilitando o traçado das tangentes conforme o processo exposto acima. Neste caso, tomam-se como ordenadas as diferenças acumuladas entre os valores disponíveis e os volumes demandados, obtendo-se uma curva. A partir desta curva são traçadas tangentes paralelas ao eixo das abcissas. Os volumes de armazenamento necessários serão, então, representados pelos afastamentos entre estas tangentes horizontais (Martins, 1987).

b) Método baseado nas diferenças em relação a seqüências de deflúvios mínimos: este método apresenta similaridade com relação ao método da curva de diferenças acumuladas. Neste último existe um período que determina os valores de capacidade de acumulação necessários para as diferentes demandas a serem supridas. Ele é o período de vazões mínimas, quando ocorrem as condições mais críticas de suprimento e, portanto, quando o armazenamento de água é totalmente utilizado, esvaziando completamente o reservatório. Este período, chamado de período crítico, pode ser distinto, dependendo da demanda a ser suprida. Supondo que o reservatório esteja cheio no início do processo, resulta que no instante mais crítico toda a capacidade de armazenamento terá sido utilizada (Lanna, 1993). Dessa constatação conclui-se que se forem computadas as seqüências de deflúvios mínimos com diversos períodos de extensão, serão obtidas alternativas de período crítico. Computando-se as diferenças entre os volumes totais a serem supridos e os deflúvios totais em cada período crítico alternativo seriam obtidas as capacidades de armazenamento útil necessárias.

Este método tem a vantagem de automatizar o cálculo das capacidades sem necessidade de iterações, como no método de simulação. As restrições a sua utilização são as mesmas do método de simulação, acrescidas de que não é considerada a evaporação e há a exigência de que a demanda atendida seja constante e de que o reservatório esteja cheio no início do processo. A evaporação pode ser introduzida de forma aproximada, como um valor mensal constante a ser subtraído dos deflúvios referente a um volume útil armazenado médio entre $\frac{2}{3}$ e $\frac{3}{4}$ da

capacidade útil. Esse é o valor médio dos armazenamentos, que na prática é encontrado nos reservatórios reais, embora seja sujeito a confirmação. Os resultados serão aproximados, mas eliminarão em parte uma incorreção que é importante quando se trabalha em regiões semi-áridas, principalmente (Lanna, 1993).

c) método da simulação: os métodos descritos acima não consideram a evaporação. Alguns podem estimar esta perda como sendo uma demanda adicional, mas utilizando um valor médio, o que pode gerar incertezas. A simulação é o procedimento clássico mais adequado para a determinação do volume do reservatório necessário para suprir a demanda projetada. Para este método é necessário definir-se as condições iniciais de simulação, que são o intervalo inicial de simulação e armazenamento inicial. Estas situações devem representar uma situação real para evitar que os resultados da simulação sejam por elas afetados indevidamente. Geralmente, existe um intervalo de tempo quando, com grande certeza, pode-se assegurar que o reservatório estará cheio ou vazio, por exemplo, ao final ou no início da estação úmida, respectivamente. Finalmente, são introduzidos valores tentativos para a capacidade útil do reservatório, S , e a demanda a ser atendida, D . Na execução é adotada a equação da continuidade:

$$S_{(t+1)} = S_t + Q_t \cdot \Delta t - D + (P_t - E_t) \cdot A \cdot k - q_j \quad (2.6)$$

onde Δt é o intervalo de tempo entre t e $t+1$, S_t é o armazenamento no tempo t , Q_t é o deflúvio afluente durante o período Δt , D é a descarga operada visando ao suprimento da demanda no período Δt , E_t é a evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo Δt , P_t é a chuva sobre o reservatório durante o mesmo intervalo de tempo Δt , A é a superfície média do lago durante o intervalo de tempo Δt , k é uma constante de correção de unidades, q_j é a vazão a ser derivada a jusante durante o intervalo de tempo Δt e S_{t+1} é o armazenamento no tempo $t+1$.

A evaporação E é computada pelo produto de uma taxa de evaporação e_t em altura de lâmina de água evaporada por unidade de tempo, que pode variar com as estações do ano, pela área do espelho líquido do reservatório, designada por A .

A chuva sobre o reservatório é calculada pelo produto de uma altura de precipitação por intervalo de tempo p_t , que varia temporalmente, pela mesma pela área do espelho líquido do reservatório. Se a área for expressa em km^2 e as alturas de precipitação e evaporação em mm , aplica-se a equação:

$$E'_t = E_t - P_t = (e_t - p_t) \cdot A/1000 \quad (2.7)$$

na qual E'_t seria o volume perdido por evaporação descontando o ingresso da chuva sobre o reservatório, em hm^3 ; E_t e P_t são, respectivamente, os volumes evaporado e precipitado no instante t ; e_t e p_t são as alturas de evaporação e precipitação no instante t em mm ; e A é a área da superfície líquida em km^2 .

As perdas por evaporação devem ser estimadas para o período crítico de depleção do reservatório, considerando a área da superfície líquida, que é variável neste período.

Não dispondo-se da variação do valor de A a cada intervalo de tempo, é usual avaliar a perda por evaporação considerando a área da superfície líquida a $2/3$ da profundidade do mesmo, determinada a partir do fundo. As variações sazonais da evaporação podem, em determinados casos, revestir-se de certa importância, em particular nos projetos de irrigação, uma vez que normalmente nos períodos em que a evaporação é máxima, as demandas de água também o são (Porto, 1986).

Para calcular a área da superfície líquida exposta a cada instante, deve-se conhecer a relação entre o volume armazenado, a cota da água no reservatório e a superfície líquida. A curva da cota versus armazenamento é obtida pela cubagem da topografia do lago a ser formado pelo reservatório. Esta relação pode ser obtida na forma de tabela ou gráfico.

Devido às características em geral encontradas nos reservatórios, esta relação também pode ser ajustada a uma função do seguinte tipo:

$$Z = a \cdot S^b \quad (2.8)$$

onde Z = cota; a e b são coeficientes ajustados aos dados e S é o volume armazenado. A Figura 2.5 mostra uma curva típica para um reservatório.

As perdas por infiltração tendem a reduzir-se ao longo dos primeiros anos, se a barragem tiver sido construída de acordo com as técnicas recomendadas. Se o açude tem apenas um ano de idade, deve-se considerar que, depois de encher pela primeira vez, há geralmente um rebaixamento superior, já que ocorre o umedecimento das encostas e a bacia hidráulica tende a colmatar pelo depósito de partículas finas. Isto acontecerá, também, em açudes cuja bacia hidráulica apresenta solos profundos e/ou aluviões extensos. O rebaixamento do nível da água

logo depois da enchente é mais alto porque ocorrem infiltrações no solo até este ficar saturado (Molle e Cadier, 1992).

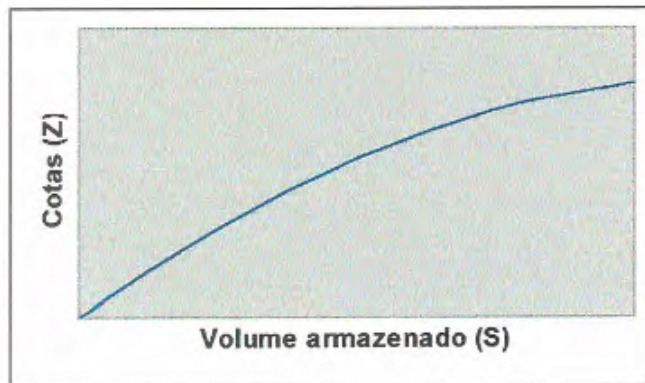


Figura 2.5 – Curva típica da relação cota e armazenamento em um reservatório

As infiltrações acontecem geralmente através da parede e, sobretudo, por baixo dela, na junção entre o terreno da fundação e a base do aterro. Em alguns casos, pode haver uma fissura no terreno da fundação e perdas muito importantes como no caso de leitos de rios situados em fraturas geológicas.

O rebaixamento resultante das infiltrações pode ser obtido multiplicando-se o volume perdido por evaporação por um coeficiente que varia de 1 (sem infiltração) até 2 (quando o volume perdido por infiltração é tão grande quanto o volume perdido por evaporação) (Molle e Cadier, 1992).

Na impossibilidade de medir o rebaixamento do açude ou de se obter informações no local, podem-se adotar valores médios de maneira a realizar cálculos aproximados. Por exemplo, para açudes com altura superior a 5 metros e espelho de água superior a 10 hectares (100.000 m²), considera-se, para as condições do sertão nordestino, um rebaixamento de 7 mm/dia, ou um valor de segurança do rebaixamento igual a 9 mm/dia. Para a região do Agreste, deve-se considerar uma redução de 20% deste valor (Molle e Cadier, 1992).

O valor de $S_{(t+1)}$ calculado a partir da simulação deve ficar no intervalo

$$S_{\min} \leq S_{(t+1)} \leq S_{\max} \quad (2.9)$$

onde S_{\min} e S_{\max} são, respectivamente, os valores mínimos e máximos de armazenamento do reservatório. Quando $S_{\min} > S_{(t+1)}$, ocorre uma situação de desabastecimento e $S_{(t+1)}$ deve ser

considerado como nulo. Para $S_{(t+1)} > S_{\text{máx}}$, o reservatório apresenta extravazamento e $S_{(t+1)}$ assume o valor de $S_{\text{máx}}$.

No caso de desabastecimento, é contada uma falha de atendimento.

As falhas devem ser independentes entre si. Usualmente, a falha é expressa em porcentagem do tempo em que a demanda é superior à oferta, mas pode também ser determinada em termos de volume, sendo que, neste caso, é obtida pela razão entre o volume que não foi ofertado e o total necessário.

A simulação é iniciada com $S_{(t)} = S_{\text{máx}}$, para $t = 0$. Após simular o comportamento do reservatório com os dados disponíveis, calcula-se a probabilidade de atendimento da demanda D a partir das condições iniciais estipuladas, utilizando-se a relação

$$P_{(\%) } = \frac{n_1}{n_2} \cdot 100, \quad (2.10)$$

onde n_1 é o número de intervalos de tempo com atendimento da demanda e n_2 é o número de meses onde existe demanda.

Para atender a demanda ao longo de toda a série histórica, basta variar o valor de $S_{\text{máx}}$ até que a série apresente $P_{(\%) } = 100\%$. Para uma demanda D qualquer haverá um volume V que atenderá a mesma durante toda a série histórica. A relação entre diversos valores de D e V nestas condições é a curva de regularização para atendimento de 100% da série histórica. Esta mesma relação pode ser obtida para outros valores de probabilidade P de atendimento, passando a ser representada pela função

$$V = f(D, P_{(\%) }) \quad (2.11)$$

Esta função pode ser estabelecida com base em várias séries hidrológicas geradas estocasticamente. Deve-se considerar que o maior valor de D é a vazão média, que dificilmente é atingido devido às perdas por evaporação.

A probabilidade de atendimento (P_A) e a probabilidade de falha (P_F) no abastecimento têm uma relação de complementariedade, ou seja,

$$P_A = 1 - P_F. \quad (2.12)$$

2.2 NECESSIDADE HÍDRICA DAS CULTURAS E EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

A necessidade hídrica de uma cultura é determinada através do valor de evapotranspiração em condições ótimas de suprimento hídrico e com rendimento também ótimo. Este valor é obtido através da multiplicação do valor de evapotranspiração de referência por um coeficiente de cultura.

A evapotranspiração de referência é definida como a taxa de evapotranspiração de uma superfície extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme, de crescimento ativo, que sombreiam totalmente o solo e que não sofram escassez de água (Doorembos e Pruitt, 1990). A determinação deste valor pode ser realizada por diversos métodos indiretos: evaporímetros (Tanque Classe A, evaporímetro de Piche, atmômetros de Livingstone e de Bellani) ou por equações, das quais as mais conhecidas são as de Blanney-Criddle, da radiação, de Penman modificado e do evaporímetro de cuba (Doorembos e Pruitt, 1990); de Thorntwaite (Porto, 1986); de Papadakis e Hamon (Bernardo, 1989); e de Hargreaves (CONSÓRCIO, 1997), entre outras. Também pode ser obtida através de métodos diretos, como lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle da umidade do solo e método da *entrada e saída* de água em grandes áreas (Bernardo, 1989).

O coeficiente de cultura, designado correntemente por k_c , sofre influência das características do cultivo, das datas de plantio ou semeadura, do ritmo de desenvolvimento da cultura e da duração do período vegetativo, das condições climáticas e, especialmente durante a primeira fase de crescimento, da frequência das chuvas ou da irrigação (Doorembos e Pruitt, 1990).

Os valores de k_c , obtidos por ensaios a campo, são distintos de acordo com o ciclo do cultivo, sendo apresentados para quatro fases de desenvolvimento das culturas, definidas abaixo:

- fase inicial – germinação e crescimento inicial, quando a superfície do solo está descoberto ou pouco coberto (aproximadamente 10%) pelo cultivo;
- fase de desenvolvimento do cultivo – desde o final da fase inicial até que se chega a uma cobertura efetiva completa (aproximadamente 80% do solo sombreado);
- fase média – desde que se obtém o sombreamento efetivo até o momento de iniciar-se a maturação da cultura. Isto manifesta-se pela descoloração das folhas do feijão, pela queda das folhas do algodão ou por aspectos peculiares (grão pastoso) de diversos cereais;

- fase final – desde o final da fase anterior até o completo amadurecimento ou colheita.

A demanda de água cresce da fase inicial até a média, quando atinge seu máximo, passando a decrescer na fase final, sendo este comportamento refletido nos valores de k_c . Para cada cultivo, é possível montar uma curva com os valores de k_c que, multiplicados pelos respectivos valores de evapotranspiração referencial, indicam a necessidade de água a cada período.

Na Figura 2.6, que mostra uma curva de valores de k_c típicos para a cultura do milho, observa-se que a fase inicial (0 a 10 dias) o valor de k_c é baixo, igual a 0,3, crescendo até 1,1 na fase média (45 a 60 dias), voltando para valores próximos ao inicial no final do ciclo da cultura (80º dia). Desta forma, a demanda de água no sistema de irrigação sofrerá uma intensa variação ao longo de cada safra. A demanda hídrica do perímetro de irrigação será o somatório dos produtos das áreas cultivadas com cada uma das culturas envolvidas no plano de exploração, pela evapotranspiração de referência e pelo coeficiente k_c respectivo.

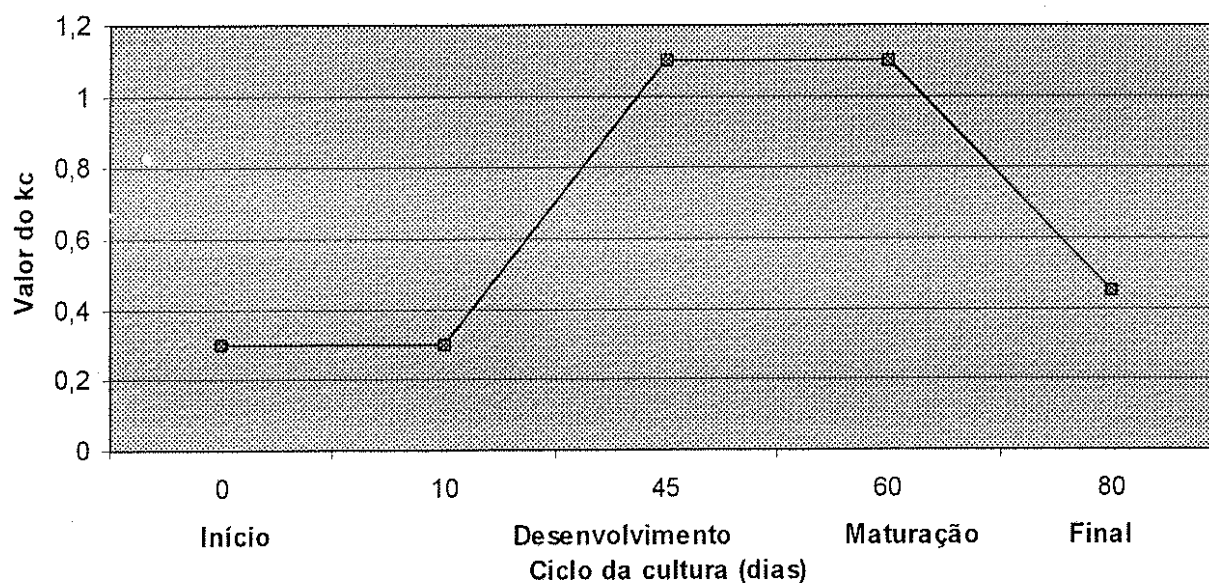


Figura 2.6 – Valores típicos de k_c para cultura do milho (Moreira, 1993)

Uma programação de irrigação requer quatro componentes essenciais: uma estimativa da água extraída pela zona radicular das culturas, uma taxa projetada de depleção da água remanescente no solo, uma medida apurada do suprimento de água pela precipitação e uma estimativa do fornecimento de água pela irrigação. A estimativa da retirada máxima de água do solo, antes do período de plantio, necessita da determinação da taxa de evapotranspiração potencial (Hatfield e Allen, 1996).

Para a determinação da demanda hídrica líquida, que assumirá no máximo o valor da evapotranspiração potencial, Olson et al (1993) preconiza o cálculo da necessidade de água da cultura (NAC), definida como a diferença entre a evapotranspiração potencial de cada cultura e a precipitação efetiva. Em um projeto de irrigação, as necessidades de água para irrigação são obtidas através das demandas mensais de água de cada modelo de exploração agrícola estipulado, multiplicando-se o número de hectares de cada cultura pela sua respectiva NAC mensal, expressa em m³ /ha, e dividindo pela eficiência de aplicação. A soma das necessidades hídricas mensais de cada cultura é a demanda mensal para a irrigação parcelar. As demandas anuais de cada modelo são, simplesmente, a soma dos valores mensais.

Em condições reais de cultivo ocorrerão perdas de rendimento devido às condições climáticas adversas durante períodos curtos, suprimento limitado de água ou nutrientes e problemas de cultivo (preparo de solo, controle de pragas e invasoras e colheita). No entanto, o cálculo de um valor potencial máximo fornece um parâmetro de comparação com o realmente obtido, permitindo iniciar um processo de correção de práticas ou de insumos.

Quando a água é o mais importante fator que afeta a produção agrícola, o conhecimento da relação entre a produção e o fornecimento de água é a chave para a seleção de planos de manejo de água mais adequados em áreas irrigadas. Em complementação ao uso racional de água, é necessário selecionar culturas economicamente viáveis para uma dada área e recursos disponíveis. Carvalho et al (1998) determinaram diversos fatores para solos e culturas diferenciadas e uma função não-linear para prever o rendimento das culturas em função da razão entre a evapotranspiração prevista e a evapotranspiração potencial.

A resposta potencial das culturas ao suprimento adequado de água também pode ser calculado pelo método proposto por Doorembos e Kassam (1988). Nesse, é aplicado o fator de resposta da cultura k_y como indicador do suprimento adequado de água. O valor k_y relaciona a queda de rendimento relativo ($1 - Y_r/Y_m$) com o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - E_{Tr}/E_{Tm}$), onde Y_r é o rendimento real obtido, Y_m é o rendimento máximo para as condições climáticas e de manejo encontradas, E_{Tr} é a evapotranspiração real e E_{Tm} é a evapotranspiração potencial, que é a que ocorreria se não houvesse falta de água na zona radicular durante todo o ciclo, isto é, seria o valor da evapotranspiração potencial. A expressão 2.13 apresenta o cálculo de k_y .

$$k_y = \frac{(1 - Y_r / Y_m)}{(1 - E_{Tr} / E_{Tm})} \quad (2.13)$$

A aplicação do fator de resposta da cultura (k_y) para planejamento, projeto e operação dos perímetros irrigados permite a quantificação do suprimento de água e sua utilização em termos de rendimento da cultura e produção total para a área do projeto. Em condições de suprimento de água limitado, se houver uma distribuição uniforme durante todo o período de crescimento, e se o projeto contemplar culturas com diferentes valores de k_y , aquela que possuir maior valor de k_y sofrerá maior perda de rendimento. Tanto as perdas prováveis de rendimento, como os ajustes necessários no suprimento de água para minimizar tais perdas, podem ser quantificados.

Segundo AGRONOMIA (1993), os valores de k_y podem ser deduzidos para a maioria dos cultivos supondo que a relação entre o rendimento relativo (Y_r/Y_m) e a evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m) é linear e válida para deficiências de água até 50% aproximadamente, o que é o mesmo do que afirmar que a metodologia é válida para a situação expressa abaixo:

$$\frac{ET_r}{ET_m} \geq 0,5. \quad (2.14)$$

Para deficiências de umidade maiores do que 50%, os rendimentos devem ser anulados, mostrando que não há condições de cultivo da área ou do elenco de cultivos propostos.

O não atendimento das necessidades hídricas de uma cultura de ciclo longo durante um ano tem reflexos no desenvolvimento da cultura nos anos seguintes, como demonstrado por Guitjens (1993) com experimento com alfafa.

O déficit hídrico das culturas sob irrigação pode ser deliberado. A redução do volume aplicado pode ser uma forma de gerenciamento utilizada para aumentar a área cultivada em algumas circunstâncias. A redução do rendimento das culturas com irrigação deficitária é acompanhada da redução dos custos de irrigação e os custos de oportunidade da água podem ser compensados por esta produção menor. A frequência de irrigação também pode ter implicações econômicas importantes, pois os custos de irrigação, o rendimento das culturas e a eficiência de irrigação podem ser afetadas pelo regime de irrigação adotado. Altas frequências de irrigação e aplicação adequada de água em volume podem maximizar o rendimento por minimizar o potencial mátrico do solo. Por outro lado, uma baixa frequência de irrigação reduz o trabalho e os custos de manutenção e resulta em usos consuntivos menores. A decisão de praticar uma irrigação deficitária implica em haver um consenso entre os irrigantes em aceitar a redução da produtividade por um aumento da área irrigada (English e Nakamura, 1989)

A demanda de água calculada acima reflete a necessidade líquida das culturas, ou seja, o valor obtido é a lâmina que deve chegar efetivamente ao solo. Para a determinação da vazão a ser derivada do reservatório é necessário estabelecer-se a eficiência da distribuição da água, que, por sua vez, depende do método de irrigação utilizado.

Os métodos de irrigação podem ser classificados em:

- a) por superfície
- b) subterrânea
- c) aspersão
- d) localizada

A irrigação superficial ou por superfície é aquela na qual a condução da água do sistema de distribuição (canais ou tubulações) até qualquer ponto de infiltração dentro da parcela a ser irrigada é feita diretamente sobre a superfície do solo. Durante o processo de infiltração, a água pode ser acumulada sobre a superfície do solo, acumulada e movimentada sobre essa superfície ou simplesmente movimentada sobre o solo. A irrigação por superfície pode ser dividida em três tipos: por sulcos, por faixas e por inundação. A irrigação por sulcos consiste na condução da água em canaletas ou sulcos, paralelos às fileiras das culturas, durante o tempo necessário para que a água infiltre ao longo do sulco e umedeça o solo na zona radicular da cultura. A irrigação por faixas consiste na aplicação de água no solo por meio de faixas de terrenos compreendidas entre diques paralelos. Essas faixas possuem pouca ou nenhuma declividade transversal mas uma determinada declividade longitudinal que determinará a direção do movimento da água sobre a faixa. Já a irrigação por inundação consiste na colocação de uma lâmina de água sobre áreas planas ou com baixa declividade denominadas de tabuleiros ou quadros, onde a água permanece por certo tempo e infiltra. É um dos métodos mais simples e utilizados. A separação de um tabuleiro para o outro é feito por pequenos diques de terra, também chamados de taipas. Para culturas de sequeiro, o tempo de inundação é curto para não prejudicar o sistema radicular. Para o arroz irrigado, que possui capacidade de fornecer oxigênio ao sistema radicular a partir de uma estrutura específica, essa lâmina é mantida a maior parte do tempo do ciclo vegetativo, sendo o volume perdido por evapotranspiração repostado continuamente. As Figuras 2.7, 2.8 e 2.9 a seguir ilustram os três tipos.

Na irrigação subterrânea, também chamada de subirrigação, a aplicação de água é feita no interior do solo, por um dos dois processos:

- a) elevação do nível do lençol freático – a profundidade do lençol freático deve ser tal que determine uma boa combinação entre umidade e ar na zona radicular;
- b) aplicação da água no interior do solo – pode ser realizada através de tubos perfurados, manilhas porosas ou outros dispositivos permeáveis instalados à pequena profundidade.

As Figuras 2.10 e 2.11 a seguir ilustram esses dois tipos.

Pelo método de aspersão, a água é lançada a certa distância das plantas, caindo em forma de gotas sobre o solo. Necessita para isto ser conduzida sob uma pressão adequada. É um método que imita a chuva, apresentando uma variedade enorme de equipamentos: convencional, autopropelido, montagem direta, pivô central e lateral rolante, além de outros sistemas mecanizados.

No método de irrigação localizada, por fim, a água é disposta apenas próximo ao sistema radicular de planta. O solo funciona como um pequeno reservatório de água, mas a oferta de água não é nunca reduzida. É um método de alta frequência, mas com economia de água, dada a sua alta eficiência de aplicação.

• **Não existe o método ideal para todas as situações. Cada situação em particular deve ser estudada, sugerindo-se soluções em que as vantagens inerentes possam compensar as limitações naturais dos métodos de irrigação. A escolha adequada do método de aplicação de água é importante para o sucesso de um empreendimento com agricultura irrigada e, nesta escolha, todos os fatores devem ser considerados (Telles, 1986). A irrigação superficial é predominante em termos de área em diversas regiões irrigadas do mundo, sendo esta predominância gerada pelas vantagens que os sistemas por superfície apresentam em relação aos outros sistemas, dentre as quais destacam-se:**

- geralmente revelam o menor custo, incluindo os custos fixos e variáveis;
- maior simplicidade operacional, facilmente assimilada pelos irrigantes;
- adaptados a um grande número de solos e culturas;
- operação pouco afetada pelos ventos;
- elevado potencial para aumento de eficiência de irrigação;
- elevado potencial para redução do consumo de energia;
- não interferem nos tratamentos fitossanitários das culturas;

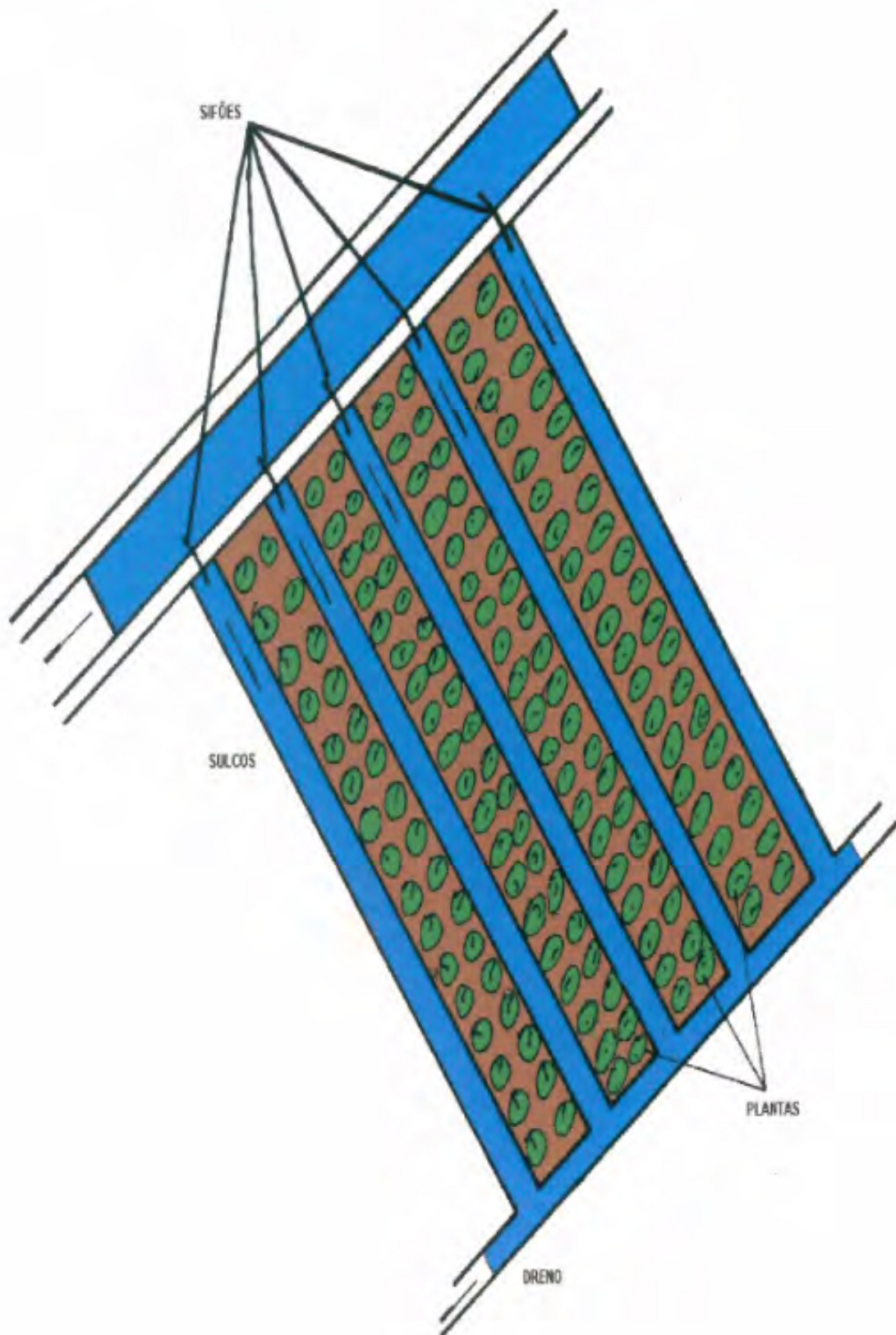


Figura 2.7 Irrigação por sulcos (Telles, 1986)

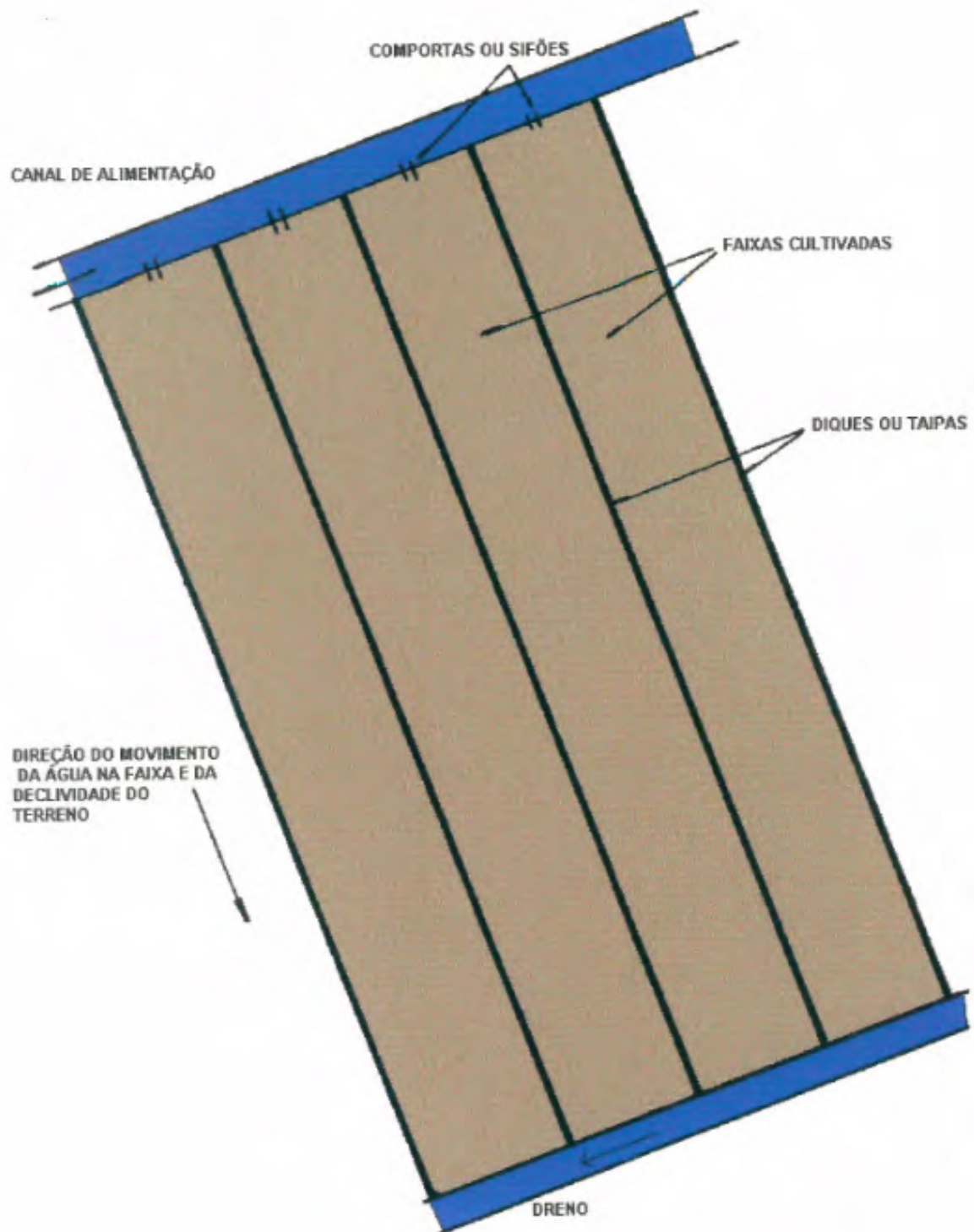


Figura 2.8 Irrigação por faixas (Telles, 1986)

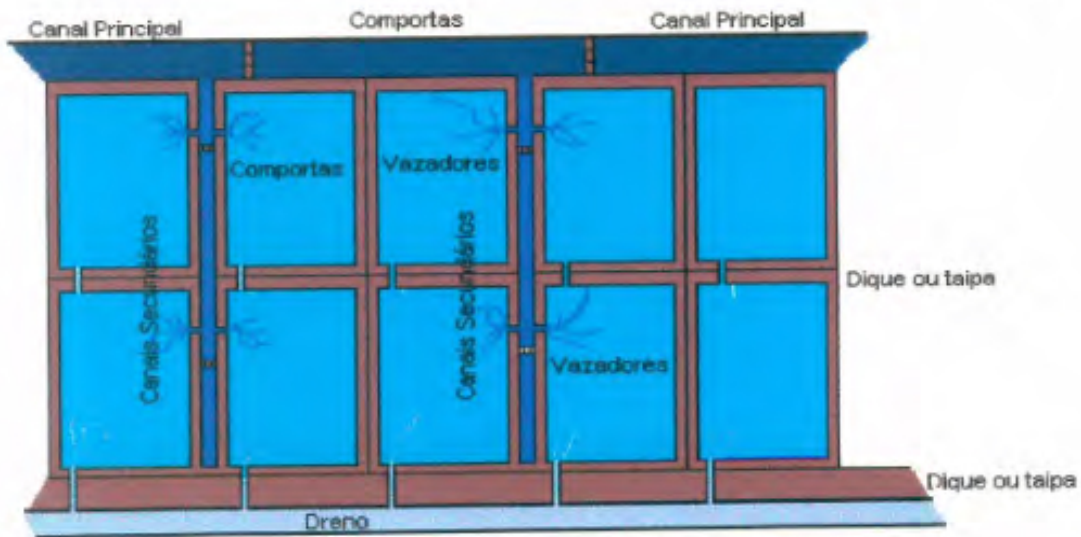


Figura 2.9 - Irrigação por tabuleiros (Telles, 1986)

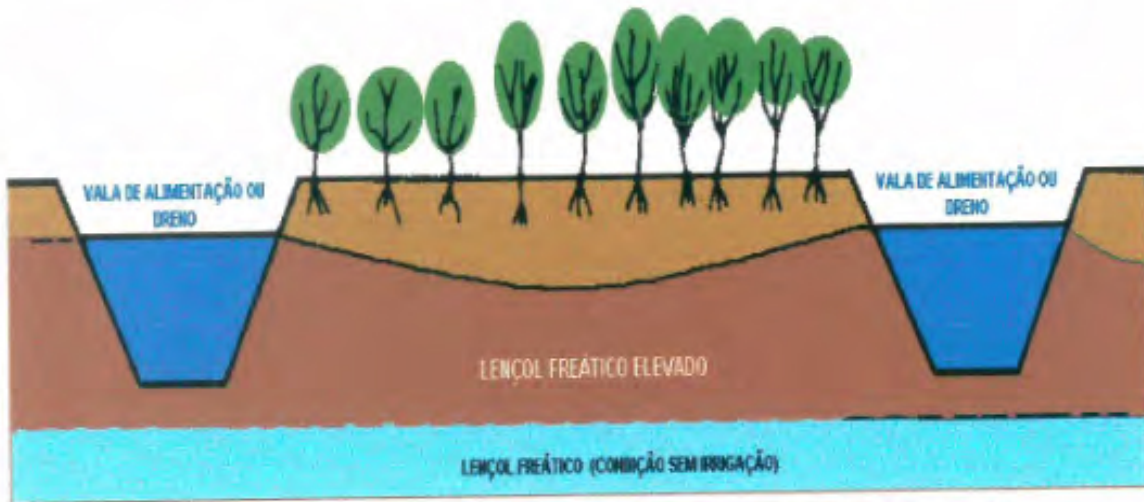


Figura 2.10 - Irrigação subterrânea por elevação do lençol freático (Telles, 1986)

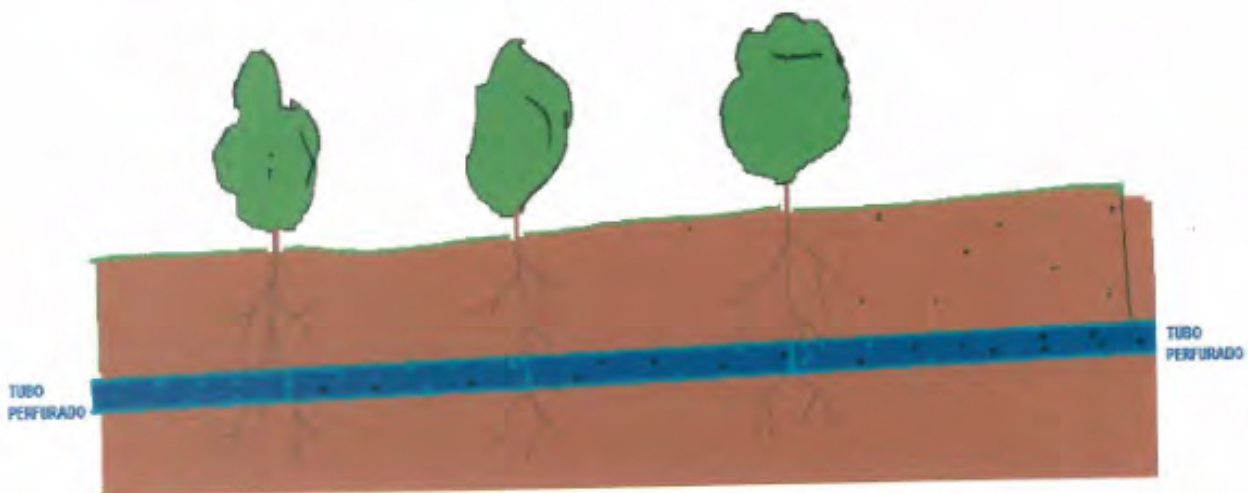


Figura 2.11 - Irrigação subterrânea com aplicação de água no interior do solo (Telles, 1986)

- permitem a utilização de águas contendo apreciáveis quantidades de sólidos em suspensão ou poluídas;
- maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais; e
- possibilidade de automação operacional.

À semelhança de outros sistemas de irrigação, também apresentam importantes limitações, tais como:

- acentuada dependência às condições topográficas, geralmente requerendo sistematização;
- inadequados para solos excessivamente permeáveis, pouco profundos e desprovidos de estrutura no horizonte superficial;
- seu dimensionamento envolve ensaios de campo;
- variabilidade de importantes parâmetros de dimensionamento, dentre os quais a característica de infiltração da água no solo;
- necessidade de reavaliações frequentes com a finalidade de introduzir medidas dimensionais e operacionais corretivas para assegurar um desempenho satisfatório do sistema;
- o sistema integra a área para o qual foi projetado e, portanto, não pode ser deslocado para outras áreas;
- a cultura deve ser implantada prevendo-se o sistema de irrigação, pois torna-se praticamente impossível desenvolver uma irrigação eficiente em culturas que tenham sido implantadas sem o planejamento adequado;
- medidas eficientes de controle de erosão devem ser adotadas; e
- limitada divulgação pela indústria e pelos técnicos, não havendo interesse comercial envolvido (Telles, 1986).

O uso inadequado e o desconhecimento das potencialidades dos sistemas por superfície têm resultado em reduzida eficiência deles. Por estas razões, eles têm recebida a imerecida reputação de sistemas de reduzida eficiência. Entretanto, quando adequadamente dimensionados e operados, podem apresentar um desempenho comparável a qualquer outro sistema de irrigação (Telles, 1986). A deficiência de irrigação superficial pode levar a um processo de salinização do solo. Atualmente, cerca de 20.000.000 de hectares de um total de 230.000.000 hectares irrigados no mundo são afetados pelo sal (Tayfur et al, 1995).

A seleção de culturas, solos, locais e técnicas de preparo de solo deverá ser realizada de forma a elevar a eficiência do sistema de irrigação.

Os valores da eficiência de aplicação para sistemas de irrigação por superfície são os apresentados na Tabela 2.1. Estes valores são obtidos pela razão entre o volume de água que é extraído da fonte hídrica do projeto e o que realmente chega até o sistema radicular das culturas em exploração.

A eficiência de distribuição é relacionada com o volume de água que é perdido entre a tomada de água e o ponto de aplicação. Para a adução feita em tubulações fechadas, as perdas estarão restritas a vazamentos eventuais e que deverão ter pequena importância em relação ao volume total aduzido. Para a distribuição feita através de canais revestidos ou não, haverá a perda por evaporação direta e do volume extravazado nas estruturas de segurança quando ocorrerem manobras de redução da vazão, se o sistema tiver controle por jusante. Para os canais não revestidos, a infiltração ao longo do trajeto pode assumir valores importantes. As perdas de água para canais não impermeabilizados podem ser estimados dentro dos intervalos apresentados na Tabela 2.2.

2.3 OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A operação do sistema de irrigação deve prever as ações desde a captação, a condução e a distribuição em toda a rede de canais do sistema até a tomada parcelar. Assim, além da demanda de água das culturas implantadas pelos produtores, dever-se-ão levar em consideração as perdas que acontecem no nível da rede de condução e distribuição e/ou perdas de algumas deficiências operacionais (Effertz et al, 1993).

Se a água não chega em quantidade e no tempo adequados, a cultura entra em estresse e o retorno financeiro poderá decrescer (Molden e Crates, 1990). O requerimento de água das culturas é função da área irrigada, do uso consuntivo de água, da função entre água e rendimento, das perdas na aplicação e das práticas culturais, podendo ainda estar relacionada com a época de preparo do solo e com o teor de sais na água de irrigação e no solo. A entrega do volume requerido de forma adequada é dependente do volume disponível de água, do esquema de distribuição proposto, da capacidade das estruturas hidráulicas em conduzir a água seguindo o esquema proposto e da operação e manutenção dessas mesmas estruturas.

Tabela 2.1 – Eficiência de aplicação, em porcentagem, da irrigação em sistemas por superfície (Effertz et al, 1993)

Textura do Solo e Topografia	Sistema de Irrigação		
	Faixas	Sulco ou corrugação	Contorno
<i>I SOLO ARENOSO</i>			
Bem nivelado	60 – 65	45 – 55	40 – 45
Com nivelamento insuficiente	45 – 55	35 – 40	30
Sem nivelamento – com declividade	15 – 20	25 – 35	20 – 25
<i>II SOLO FRACO, MÉDIO</i>			
Bem nivelado	65 – 75	60 – 65	50 – 55
Com nivelamento insuficiente	50 – 60	55	40 – 50
Sem nivelamento – com declividade	25	30 – 40	35
<i>III SOLO FRACO MÉDIO, POUCO PROFUNDO</i>			
Bem nivelado	55 – 60	45 – 55	45
Com nivelamento insuficiente	45 – 55	35 – 40	30 – 35
Sem nivelamento – com declividade	25 – 30	30	30
<i>IV SOLO COMPACTO, PESADO</i>			
Bem nivelado	55 – 65	65	45 – 55
Com nivelamento insuficiente	45 – 55	55	45
Sem nivelamento – com declividade	25 – 35	35 – 45	25 – 35

Tabela 2.2 – Vazamento específico observados em canais não impermeabilizados de acordo com o material de construção (Brighetti, 1986)

Material	Vazamento específico [m ³ .m ⁻² . dia ⁻¹]
Solo argiloso barrento	0,08 – 0,25
Solo areia barrenta	0,30 – 0,45
Solo arenoso fofo	0,45 – 0,60
Solo com cascalho	0,90 – 1,80

Os fatores que afetam as demandas hídricas de um perímetro irrigado são dos mais variados: aspectos climáticos, técnicos, econômicos, sociais e operacionais (Effertz et al, 1993).

A necessidade de água das culturas, como visto acima, dá-se em função da evapotranspiração, que vem a ser a quantidade de água usada pelas culturas que inclui a evaporação da umidade do solo e a transpiração das plantas. Esta evapotranspiração varia em função das condições climáticas, sendo os fatores de temperatura, vento, radiação solar e umidade relativa os que têm maior influência. A precipitação destaca-se como fator de aporte hídrico e redutor de demanda de água, sendo necessário observar a regularidade da precipitação e o cálculo da quantidade que será aproveitável (Effertz et al, 1993).

Os fatores técnicos dizem respeito à engenharia de projeto, aos estudos básicos e ao desenvolvimento físico-parcelar. Dentre estes, os estudos edáficos têm alta influência, já que limitam o método de irrigação, o tempo e a quantidade de água a ser aplicada (Effertz et al, 1993).

A cobrança de tarifas de água em função do volume fornecido ajuda a racionalizar a demanda de água no nível parcelar e, de certa forma, contribui para que a administração do projeto melhore o sistema de controle do perímetro de irrigação. Quando o produtor implanta culturas de alto retorno econômico e que exigem tratamentos culturais eficientes, há uma indução de uma maior eficiência no uso de água. Neste item, devem ser consideradas situações inerentes como o plano de cultivo, época e duração do ciclo agrícola, condições de mercado e oportunidade do crédito, já que todos têm incidência no retorno econômico das culturas (Effertz et al, 1993).

Na maioria das vezes, os beneficiários dos projetos de irrigação implantados pelo setor público são pessoas acostumadas a gerenciar o lote isoladamente e com pouca experiência de irrigação. Quando possuem experiência, muitas vezes é em modalidade diferente da implantada. Este é outro fator de aumento de perdas (Effertz et al, 1993).

Segundo Doorembos e Kassam (1988), para obter-se rendimentos elevados na exploração agrícola irrigada, a operação do sistema de suprimento e distribuição de água deve destinar-se a atender às necessidades hídricas da cultura no tempo necessário e em toda a área plantada.

A estimativa da demanda de água é determinada fundamentalmente pelas rotações de cultivo previstas e pela eficiência do sistema de irrigação, tanto no nível individual quanto no total do projeto. A dificuldade de prever a rotação de cultivo esperada em um perímetro de

irrigação varia de acordo com o grau de liberdade que se deixa aos agricultores para optar por um ou outro cultivo e sobre o calendário dos trabalhos mecanizados e tratos culturais. No caso brasileiro, normalmente existe uma livre opção de cultivos, comandada pela tradição de cada agricultor e pelos preços de mercado.

Em alguns projetos, o calendário de suprimento baseia-se num intervalo fixo e/ou numa lâmina de aplicação de água fixa, sem considerar as variações nas necessidades hídricas das culturas durante o período de crescimento. No planejamento e estudo de sistemas de suprimento de água alimentados por barragens, a liberação de água para irrigação baseia-se, às vezes, em dotações preestabelecidas ou normas de suprimento, conceitos estes válidos para esta etapa, devendo ser substituídos por considerações relativas à eficiência de uso de água e nível de produção da cultura na etapa de operação efetiva. A operação da barragem deve destinar-se a reduzir ao mínimo a escassez de água durante aqueles períodos de crescimento em que a resposta do rendimento da cultura aos déficits hídricos for mais sensível.

Conforme Doorembos e Kassam (1988), as culturas com maior valor de k_y têm maior sensibilidade à deficiência hídrica, respondendo com uma maior perda de produção agrícola.

Havendo a definição da oferta e da demanda, deve-se fazer o equilíbrio entre esses volumes. Neste ponto, segundo Sagardoy et al (1991), os sistemas de irrigação podem ser divididos em três tipos:

- onde a oferta média de água é superior ou igual a demanda;
- onde há um déficit hídrico moderado; e
- onde há um déficit hídrico severo.

No primeiro caso, só devem ocorrer problemas no fornecimento de água nos períodos de pico, o que pode ser corrigido, normalmente, alterando as datas de semeadura de alguns cultivos para evitar a concordância das respectivas demandas máximas.

Quando a diferença entre a necessidade de água para a irrigação e a disponibilidade é pequena ou, de outra forma, o déficit hídrico é moderado, com uma deficiência definida pelo autor entre 10 e 20% da disponibilidade normal de água (como o volume útil do reservatório), a causa pode ser a ocorrência de anos secos, alterações no sistema de cultivo, erro no dimensionamento da oferta hídrica, deficiências técnicas do sistema ou outras razões, inclusive de ordem social.

No caso do déficit hídrico acentuado, a demanda pode ser 100% superior à oferta. Muitos dos sistemas existentes com estas características foram concebidos com objetivos sociais, buscando beneficiar o maior número de agricultores ou pela inclusão da prática de pousio de áreas, como verifica-se na lavoura orizícola na região Sul do País. Exemplo desta situação é o sistema do arroio Duro, em Camaquã, onde a cada ano são irrigados com água da barragem cerca de 9.400 dos 50.000 hectares disponíveis (AUD, s.d.). Assim, a área habilitada é muito maior que a possibilidade de irrigação, e a rede de distribuição também é maior do que deveria ser, com o que as perdas por condução tornam-se mais relevantes.

O objetivo fundamental de qualquer projeto de irrigação é prover eficiente e eficazmente o controle de água para incrementar a produção agrícola. Um controle eficiente de água não é, por si só, suficiente para garantir a produção agrícola; simultaneamente, os outros insumos necessários (sementes, fertilizantes, pesticidas, maquinário, energia e crédito) devem ser disponibilizados (Biswas, 1990).

A operação e manutenção de sistemas de irrigação é um dos aspectos mais subestimados em projetos de irrigação nos países em desenvolvimento (Biswas, 1990). Para que os benefícios dos projetos de irrigação apareçam no tempo planejado, é indispensável que os responsáveis pela operação e manutenção do perímetro entreguem aos irrigantes o suprimento de água adequado para todos os agricultores, inclusive para os situados no fim dos canais de distribuição.

Embora vários autores tenham-se preocupado em estabelecer metodologias para o gerenciamento de perímetros de irrigação (Chávez-Morales et al, 1992), mas uma revisão do histórico dos projetos de irrigação já implantados indicará que os responsáveis, em geral, não estão prontos para administrar a operação e manutenção quando a fase de construção está finalizada. Da mesma forma, os recursos previstos para a operação e manutenção são, em geral, inadequados e não estão disponíveis no tempo correto.

O planejamento da safra durante os períodos de seca requer uma análise das secas históricas e seus efeitos nas produções agrícolas (Raman et al, 1992).

Durante os períodos de seca, o estabelecimento de uma política de operação de reservatório realista para alocação de água é um dos aspectos mais críticos da gestão de água (Chang et al, 1995).

Sendo a demanda maior do que a oferta, é necessário harmonizá-las na medida do possível, atuando sempre na redução do consumo. Normalmente, são adotados procedimentos com relação a:

- rotação de cultivos;
- distribuição de água; e
- tarifas de água.

As medidas em relação à rotação de cultivos são as de maior eficiência, mas são de difícil aplicação. Entre elas, destacam-se:

- alteração na época de semeadura de algumas culturas, evitando o acúmulo de períodos críticos;
- trocar os cultivos selecionados por outros de menor consumo, desde que esta troca seja interessante para os agricultores;
- reduzir a área de irrigação através da diminuição do volume de água entregue para cada agricultor ou conjunto de lotes;
- descartar as áreas mais afastadas da estrutura de armazenamento, reduzindo as perdas na condução.
- fornecer água apenas para alguns setores, desde que os outros agricultores tenham condições de sustentar-se com cultivos de sequeiro.

Quanto à distribuição de água em si, pode-se reduzir o volume de água mas manter o método de distribuição, ou substituir o modo de distribuição, o que pode implicar na execução de obras complementares.

Em casos de secas, a área irrigada deve ser reduzida ao mesmo tempo em que a eficiência de distribuição e de aplicação deve ser aumentada. Na seca verificada na Califórnia nos anos de 1990 e 1991 (Wichelns e Cone, 1992), houve uma redução de 50% e 75% do fornecimento de água aos irrigantes, respectivamente. Em 1991, a redução de área irrigada atingiu 38% do *Broadview Water District*, principalmente nas áreas de melão e beterraba açucareira. A gerência do distrito aumentou o nível de serviço aos irrigantes para melhorar o uso de água, aumentou a flexibilidade no esquema de distribuição de água e intermediou transferências de direito de água entre os irrigantes. A eficiência global do distrito subiu de 0,73 em 1989 para 0,81 em 1991.

Para reduzir o volume de água a ser distribuído pode-se:

- fornecer água apenas para culturas preferenciais, como pomares de frutíferas, que apresentam alto custo de implantação;
- reduzir o volume de água fornecido a cada irrigação, mas desde que não se afete significativamente a estimativa de rendimento. Esta prática pode ser facilmente aplicada quando há o predomínio de uma cultura em todo o perímetro ou quando o projeto pode ser dividido em blocos por tipo de cultura. A redução nem sempre pode ser significativa por causa do dimensionamento hidráulico do sistema de canais, onde o abastecimento dos canais secundários depende do nível de água no canal principal e assim sucessivamente; e
- ampliação do turno entre irrigações, o que também pode ser difícil em um projeto com várias culturas implantadas.

Os efeitos da irrigação com baixos e altos volumes foram determinados por Tracy e Mariño (1989) na Califórnia. Para pequenas aplicações de água, entre 0 e 0,04 m³/m², uma única jornada de irrigação pode apresentar ganhos relativos na produção agrícola, tanto quanto várias aplicações de mesmo volume. No entanto, para aplicações maiores, entre 0,05 e 0,1 m³/m², um maior número de aplicações resulta em uma maior produção agrícola por que a taxa de transpiração é mantida próximo do valor máximo durante um maior período de desenvolvimento da cultura.

A troca do sistema de distribuição por outro mais eficiente dependerá da adequabilidade da rede fixa (canais, estações de recalque, rede de energia elétrica) existente e da capacidade dos agricultores em se acostumarem ao sistema substituto.

Os principais tipos de sistema de distribuição são:

- pela demanda: o agricultor dispõe de água em qualquer momento e em qualquer quantidade;
- semi-demanda: o agricultor dispõe de água após ter solicitado. O volume por hectare é limitado;
- rotação de canais com demanda livre: os canais secundários recebem água por turnos, e, quando a água chega em um setor, os agricultores podem usar a quantidade que quiserem;
- por turnos: os canais secundários recebem água por turnos e os irrigantes, dentro de uma determinada zona servida por este canal, recebem água em horas e quantidades fixadas previamente;
- vazão contínua: em toda a temporada de irrigação, o agricultor recebe uma pequena mas contínua vazão, que compensa a evapotranspiração diária das culturas.

A limitação da demanda pela tarifa da água para ser aplicada com eficiência exige que haja um sistema de medição do consumo e que os agricultores recebam orientação sobre como reduzir seu consumo, com base na relação solo-água-planta. Também um aumento excessivo da tarifa da água pode levar a uma inadimplência por parte dos agricultores, o que pode gerar situações difíceis para a administração do perímetro.

A programação do fornecimento de água pelo sistema de distribuição é feita para minimizar as perdas operacionais. Os sistemas de irrigação no Brasil são projetados para fornecer água quando necessário (*demand system*), porém, quando a demanda ultrapassa a capacidade de fornecimento do sistema, é necessário controle e programação da distribuição. Se não há uma programação e controle, alguns irrigantes ao longo do sistema não mais receberão a quantidade necessitada. Isto pode acontecer, especialmente, nos meses de demanda máxima e em horários de demanda máxima durante o dia (Effertz et al, 1993).

A programação através do sistema de distribuição abrange o cálculo e a organização do fornecimento de água às parcelas em todo o projeto, em tempo hábil e na quantidade suficiente para atender as necessidades das culturas. O programa de manejo e conservação de água empenha-se em melhorar a operação do sistema, com entrega das reais necessidades das parcelas. Esta programação tem o propósito de ajudar o distrito de irrigação em suas tarefas de operações do sistema. Este programa dá assistência ao distrito nas agregações das demandas de água nas parcelas, com base nas culturas que atualmente estão sendo cultivadas dentro do perímetro e os fatores climáticos requeridos. As necessidades de irrigação diferem do uso consuntivo da cultura, pois este uso reflete as eficiências de condução, distribuição e aplicação e a precipitação efetiva (Effertz et al, 1993).

Para aperfeiçoar o manejo parcelar pode ser necessário fazer mudanças substanciais nas práticas vigentes de irrigação e de fornecimento de água às parcelas. O irrigante deverá receber informações exatas sobre quando irrigar determinada cultura e que quantidade de água aplicar.

O gerenciamento de sistemas de irrigação superficial pode ser um processo muito complexo. Os esquemas adotados normalmente utilizam uma forma de assistência e de gerenciamento que indicam quando irrigar e quanto é necessário. O irrigante também necessitará tomar decisões como qual a melhor maneira de aplicar água, o tamanho dos sulcos, o tempo de aplicação ou o volume a aplicar (Clemmens, 1992).

2.4 PREVISÃO DE VAZÃO

A previsão das vazões em uma bacia hidrográfica pode ser realizada a longo prazo ou a curto prazo. A estimativa de longo prazo só pode ser realizada estatisticamente, através de modelos probabilísticos. A previsão de curto prazo ou em tempo atual, também denominada de previsão em tempo real, pode ser realizada ao longo da ocorrência do processo, desde que se conheçam algumas variáveis ou a previsão de comportamento dessas variáveis, tais como a precipitação ou os níveis na parte superior de um rio (Tucci, 1998).

A previsão de vazão de um rio *que apresenta regime hidrológico bem definido* pode ser realizada com base na precipitação ocorrida, na vazão de um posto à montante ou na combinação dos mesmos. Geralmente, quando a previsão é realizada nos períodos chuvosos existem maiores incertezas porque depende da precipitação ocorrida e dos eventos que ainda virão ocorrer.

A estimativa da vazão em tempo atual pode ser contínua ou eventual. No primeiro caso, é realizada ao longo do tempo independente das condições hidrológicas. A previsão eventual é realizada em épocas definidas do regime hidrológico, enchentes ou estiagens em que as condições são críticas para o usuário de água interessado nesse processo (Tucci, 1998).

A vazão observada em um ponto de medição de uma bacia é uma variável de comportamento aleatório, sendo que a amplitude dessa variação aumenta quando se reduz o período de observação e aumenta-se o número de fatores que também possam sofrer variação no mesmo período. Assim, a variação da vazão instantânea, durante um dia em que ocorre precipitação com intensidade e localização variáveis ao longo do tempo, e com o estado de umidade inicial do solo também variável ao longo do tempo e do espaço, será mais importante do que a variação da vazão média anual ao longo de uma série de anos.

Não havendo previsão de vazão e em casos em que existe uma incerteza sobre a disponibilidade do recurso hídrico, pode-se fazer uma estimativa prudente da oferta hídrica, como, por exemplo, utilizar-se probabilidades de chuva de 75 a 80% de chance de serem superadas. Nestas circunstâncias, também é de suma importância dispor de planos alternativos que possam ser utilizados se as condições meteorológicas não forem as esperadas (Villanueva et al, 1987).

Em regiões onde o ano hidrológico está bem definido e a estiagem ocorre sazonalmente, com precipitações nulas ou próximas de zero, é possível, mediante o prognóstico das vazões do

período de estiagem, minimizar os riscos de não atender a demanda, planejando de forma simples a quantidade de hectares que podem ser irrigados (Villanueva et al, 1987).

Em um período de estiagem, em que toda a água disponível já se encontra dentro da bacia, a previsão é realizada com metodologia determinística, que envolve principalmente o escoamento subterrâneo e a propagação do escoamento existente nos rios (Tucci, 1998). Assim, a previsão realizada durante o período de estiagem depende somente de quantidade de água existente na bacia e o comportamento da vazão afluente tende a apresentar uma curva exponencial como a da equação 2.2 desde que o parâmetro k e a vazão atual seja conhecida.

2.5 RISCO DE FALHAS, GARANTIA DE ATENDIMENTO E TIPOS DE MANEJO

A metodologia de planejamento de projetos de irrigação adotada tradicionalmente no Brasil estipula que, quando um projeto será alimentado por barramento, é necessário estabelecer a garantia de atendimento, expressa em termos de volume ou de tempo. Este conceito expressa ou a parcela volumétrica da demanda, determinada de acordo com o plano de exploração agrícola, que deverá ser plenamente atendida ao longo de todo o período de irrigação a cada safra, ou a parcela de tempo em que o sistema consegue fornecer o volume de água necessário para manter a evapotranspiração máxima. Por exemplo, uma garantia de vazão de 90% significa que o somatório dos volumes fornecidos ao longo do período avaliado é igual a 90% da demanda projetada (Olson et al, 1993).

Considera-se uma falha de atendimento quando, durante a simulação, o valor de S em um instante t qualquer assumir um valor negativo, demonstrando que o armazenamento não foi suficiente para atender a demanda. Neste caso, corrige-se o valor de S_t , que deve assumir o valor nulo (Lanna, 1993). Com este raciocínio, as demandas a serem retiradas dos reservatórios apresentam incrementos significativos do que os obtidos para 100% de garantia de atendimento, assumindo-se a série de dados hidrológicos existentes. Os incrementos são mais significativos para os aproveitamentos localizados na região semi-árida em relação aos localizados no Centro-Oeste (Lanna, 1993)

Para a avaliação das falhas expressas em número de meses em que o armazenamento tornou-se negativo, pode-se calcular a probabilidade de falha, utilizando-se a expressão 2.10.

Para a análise do comportamento de reservatórios de acumulação destinados a atender projetos de irrigação, deve-se considerar que o evento ao qual se refere a falha é a colheita, ou seja, a perda de parte da colheita ou de sua totalidade. Desta forma, a expressão da falha pelo número de meses em que a demanda não é atendida pode subestimar o risco, já que uma única falha que ocorra em um período crítico para o desenvolvimento das culturas pode comprometer todo o resultado agrícola (Villanueva et al, 1987).

Considerando que cada colheita de culturas anuais ocorre em um semestre e que podem ser obtidas duas safras por ano, é possível determinar-se uma relação de risco semestral, dado pela relação:

$$P_{Fs} = \frac{N_{Fs}}{NS}; \quad (2.15)$$

onde P_{Fs} é a probabilidade de falha semestral; N_{Fs} é o número de semestres com falha e NS é o número total de semestres (Villanueva et al, 1987).

Outra definição de risco pode ser definida como a relação do número de anos em que ocorra a perda em pelo menos uma das duas colheitas. Esta nova definição denomina-se risco anual e é expressa por

$$P_{Fa} = \frac{N_{Fa}}{NA}; \quad (2.16)$$

onde P_{Fa} é a probabilidade de falha anual; N_{Fa} é o número de anos com falha e NA é o número total de anos (Villanueva et al, 1987).

A garantia de atendimento é calculada como o complemento do risco, de acordo com a expressão 2.12.

Para as severas condições de seca no Nordeste, uma garantia de 90% em tempo pode significar que quase não haverá disponibilidade de água durante os dois anos consecutivos mais secos de um período de vinte anos. Isso seria considerado inaceitável pelos pequenos agricultores e pela maioria dos grandes, face ao elevado capital necessário para manter uma empresa agrícola durante dois anos sem, praticamente, nenhuma renda. Um dos objetivos principais do desenvolvimento da irrigação no Nordeste é o de aliviar os efeitos da seca. Normalmente, o critério de 90% não atinge esse objetivo (Olson et al, 1993).

Olson et al (1993) propõe uma mudança de critério para o planejamento da irrigação, denominado estudo de déficit. Por esta visão, a estrutura de irrigação a ser implantada não pode apresentar déficit hídrico superior a 50% da demanda anual em qualquer ano, enquanto que o déficit acumulado em qualquer período de dois anos consecutivos não pode ser superior a 75 % da demanda anual, e, em qualquer período de dez anos consecutivos, o déficit acumulado não pode ser superior a 100% da demanda anual. O objetivo desses critérios de déficit hídrico é minimizar os efeitos econômicos sobre irrigantes que devem amortizar dívidas de empréstimos para investimentos. O suprimento de água médio anual de longo prazo deveria ficar em torno de 95 % da demanda.

No entanto, o mesmo autor, na seqüência da afirmação anterior, conclui, com base na avaliação do rendimento de perímetros de irrigação situados no Nordeste brasileiro, que estes parâmetros podem resultar-se muito rígidos, propondo valores substitutos de 65%, 100% e 200%, respectivamente. Desta forma, a estrutura de irrigação a ser implantada não poderia apresentar déficit hídrico superior a 65% da demanda anual em qualquer ano, a 100 % da demanda anual em qualquer período de dois anos consecutivos e a 200% da demanda anual em qualquer período de dez anos consecutivos. Isto seria plausível desde que ocorresse um maior apoio do governo aos irrigantes nos períodos de seca. Porém, até o ano de 1986, os perímetros de irrigação no Brasil vinham sendo administrados, integralmente, por organismos públicos. A partir deste ano, foi iniciado um processo denominado emancipação, o qual procura que os próprios beneficiários se organizem para administrar os projetos (Effertz et al, 1993). Esta nova realidade resulta em uma maior dificuldade de buscar-se o apoio generalizado do governo nos períodos de seca.

A metodologia sugerida para o desenvolvimento de projeto no nível de estudo de viabilidade (Olson et al, 1993) não prevê a possibilidade de ajustes. Segundo o autor, o planejamento agrícola, os estudos climatológicos, as necessidades hídricas e os parâmetros para dimensionamento do sistema hidráulico (como vazões unitárias e eficiência de aplicação) deverão ser conclusivos no nível de estudo de viabilidade, não devendo sofrer qualquer alteração nos estágios seguintes do projeto. Eventuais mudanças significativas desses parâmetros em estágios posteriores ao do estudo da viabilidade do projeto provocarão a necessidade de revisá-lo.

Além deste enfoque persistir na fase de planejamento, deve-se considerar a fase seguinte à conclusão da implantação do projeto. É certo que a simulação realizada na fase de viabilidade,

onde normalmente são privilegiadas as culturas de maiores retornos financeiro e econômico, dificilmente será implantada na realidade.

Como, também, para diversos projetos já implantados, os critérios de planejamento já não são válidos, deve-se buscar um meio de possibilitar a redução dos prejuízos em caso de falha do abastecimento causados pelo não enchimento do reservatório.

O tipo de manejo de perímetros de irrigação, conforme analisado no item anterior, condiciona a distribuição de água ao longo da superfície irrigada. A programação do fornecimento de água deve ser realizada pela necessidade do elenco das culturas que estão implantadas em todas as parcelas. Esse estudo da necessidade líquida consiste em determinar as áreas cobertas pelas culturas e a evapotranspiração observada e a prevista para o próximo período.

Segundo a metodologia estipulada por Effertz et al (1993), para um nível de precisão e intensidade de previsão das necessidades de irrigação adequada, é necessário monitorar a depleção da umidade de água no solo através de investigações semanais. Com a formulação de um balanço de umidade no solo, o corpo técnico que gerencia o perímetro de irrigação poderá informar ao irrigante quando e quanto irrigar, com base na evapotranspiração potencial passada e prevista e do coeficiente cultural (k_c). Nesta decisão, pode ser adotado um entre três níveis possíveis de dificuldade gerencial: o nível I, menos detalhado, baseia-se apenas na solicitação dos irrigantes, sem estimar solicitações futuras; o segundo nível determina uma tabela para fornecimento de água conforme solicitações presentes e estimativa da demanda futura, com base no uso consuntivo, que é calculado teoricamente; no último nível, a irrigação presente e futura fazem parte de uma programação contínua, com acompanhamento permanente. Este nível adequado de previsão, denominado nível III, é o mais detalhado dos três existentes.

Já Sagardoy et al (1991) apresentam uma visão mais realista sobre a operação de perímetros de irrigação. A propagação do plano de irrigação deve considerar as seguintes etapas:

- estimativa da disponibilidade de água futura (dentro do ciclo considerado);
- estimativa de demanda de água da rotação de culturas prevista
- adequação da demanda à disponibilidade prevista

A definição da disponibilidade de água futura pode ser realizada pela previsão de vazão; a da demanda, de acordo com um plano cultural consolidado; e a adequação entre um valor e outro é o objetivo do gerenciamento do perímetro.

A maioria dos modelos de simulação de gerenciamento de irrigação para determinação das demandas foram desenvolvidos com a programação de uma única cultura (Steiner e Keller, 1992). Modelos múltiplos são muito mais complexos e geralmente incorporam métodos de uma única cultura como sub-rotina.

Um plano cultural simples, que consiste em plantar um cultivo de ciclo curto no período seco, depois do tradicional cultivo de sequeiro da época das chuvas, é o mais adequado aos pequenos açudes (Molle e Cadier, 1992). Esquemas alternativos de irrigação para atendimento de duas safras de culturas anuais no período seco do mesmo ano hidrológico foram sugeridos por Ghani et al (1989) para o projeto Ganges – Kobadak, em Bangladesh, onde há escassez de água, mas neste caso o perímetro é de grande extensão.

O dimensionamento de um perímetro plantado com culturas perenes é muito diferente do dimensionamento para um plano cultural limitado ao plantio de um cultivo de ciclo curto no início do período seco, pois:

- há a necessidade de garantir água o ano todo;
- o prejuízo econômico é maior quando as culturas morrem.

Quanto maior o perímetro, maior será o risco de déficit prolongado e de morte das culturas do perímetro. A superfície do perímetro, no caso de um plano que envolva culturas perenes, deverá ser menor do que um perímetro que implante apenas culturas de ciclo curto (Molle e Cadier, 1992).

O dimensionamento do perímetro quando o açude já existe deve considerar se este está adequadamente dimensionado. Esta informação pode ser dada pela relação entre os volumes retirados deste para irrigação ou outros usos e os volumes afluentes ao açude. Esta razão mostra a adequação do açude aos recursos hídricos gerados por sua bacia de contribuição, sendo que valores menores que a unidade indicam a maior possibilidade de ocorrer o extravazamento em diversas oportunidades ao longo de uma série, enquanto que valores maiores do que a unidade mostram a dificuldade de haver o preenchimento do açude ao longo de um ano, sendo possível que isto ocorra em alguma ocasião dentro de uma série (Molle e Cadier, 1992).

A definição da área possível de ser irrigada depende da cota inicial do açude, da estimativa de sua cota final, computando-se as retiradas e as perdas (evaporação e infiltração), com a consequente determinação do volume útil, e o volume de água necessário para atender um

(1) hectare de cada cultura a ser implantada. Esta área deverá ser reduzida, sendo corrigida por um coeficiente que depende do comportamento da característica hidrológica da bacia. Um bacia pode ter um comportamento hidrológico irregular, por comportar outros açudes ou zonas de retenção (tais como aluviões arenosos). Isto significa que, para um determinado volume anual médio de escoamento, um açude situado em uma bacia irregular terá “sangrias” menos frequentes mas, em compensação, um pouco mais fortes do que se fosse situado numa bacia regular. Isto não será favorável ao rendimento de perímetros com cultivos perenes que precisam de uma irrigação constante e regular (Molle e Cadier, 1992).

A distribuição da água de irrigação é um dos aspectos complexos da operação, que não só implica em levar água da fonte de abastecimento às parcelas dos usuários, como também conduzi-la com um mínimo de perda e fornecê-la na quantidade solicitada e no momento preciso (Effertz et al, 1993).

A metodologia de planejamento do sistema de distribuição prescrita por Effertz et al (1993) determina o estabelecimento de uma programação prévia para que o órgão gestor do perímetro possa compatibilizar a demanda e oferta ao longo do tempo e do espaço.

A distribuição e o fornecimento de água para irrigação através da rede de canais do sistema deve observar um ordenamento que assegure o aproveitamento mais integral do recurso hídrico em cada seção, canal e lote.

A programação das demandas de água mensais no nível de perímetro irrigado, também denominada Plano de Cultivo e Irrigação, é vital para o funcionamento racional do sistema, sobretudo quando as disponibilidades hídricas são escassas ou quando a captação e distribuição feita por bombeamento já que uma operação deficiente elevaria demais o custo da energia elétrica. Quando a fonte de abastecimento permite uma disponibilidade de água maior que a demanda, a limitante pode ser a capacidade das obras de irrigação e/ou medidas de racionamento da energia elétrica. Nestes casos, também é importante a previsão antecipada das demandas de água. O Plano de Cultivo e Irrigação tem como base a previsão de produção de cada produtor e as necessidades de água de cada uma das culturas a serem plantadas.

Os seguintes critérios devem ser considerados na formulação do Plano de Cultivo e Irrigação:

- considerar o desejo do usuário, compatibilizando-o com os diversos aspectos implícitos da programação das culturas, tais como diretrizes de produção, fatores agroclimáticos, facilidades de comercialização, diretrizes de crédito, etc.;
- avaliar as disponibilidades hídricas do perímetro irrigado;
- estabelecer o calendário agrícola das culturas a serem plantadas;
- estabelecer o coeficiente de irrigação mensal das culturas ou demandas de água;
- características hidráulicas das obras do perímetro irrigado;
- método de distribuição e eficiência de condução na rede de canais.

O Plano de Cultivo e Irrigação é o instrumento que permite identificar a demanda de água mensal no nível do perímetro de irrigação. Para a formulação deste Plano, é seguido o roteiro abaixo:

- difusão das preferências, facilidades e calendários concernentes ao plantio das diferentes culturas que, de acordo com os estudos agroclimáticos e econômicos, são viáveis;
- preenchimento, pelos usuários, dos formulários para solicitação de culturas a serem implantadas, com posterior classificação e agrupamento desses formulários por canal de irrigação;
- processamento e tabulação das culturas solicitadas pelos usuários e determinação das demandas mensais de água, em função do calendário agrícola e coeficientes de irrigação;
- consolidação das demandas de água por canal, seção, zona e perímetro;
- aos volumes de água consolidados em cada nível (canal, seção, zona e perímetro), acrescentar os valores das perdas de água por condução e distribuição;
- determinação do balanço hídrico (disponibilidade – demanda de água). Na hipótese de a demanda exceder as disponibilidades, serão adotadas alternativas de reajustes, tais como diminuição da área, defasagem do plantio, substituição de culturas de alto consumo hídrico por outras de menor exigência, etc.;

- apresentação do plano ao órgão gestor do perímetro, normalmente um Conselho ou Cooperativa de Irrigantes. Aprovação e devolução dos planos aprovados aos usuários para que estes possam tramitar o crédito agrícola e conheçam o que foi aprovado e possam preparar em tempo o lote agrícola.

A partir do Plano de Cultivo e Irrigação são conhecidos os valores de vazão necessários para o atendimento das culturas previstas.

CAPÍTULO 3. A ÁREA DO ESTUDO

Os projetos selecionados para aplicação das metodologias propostas são o Barbatimão e o Barro Preto da Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, ambos desenvolvidos pela ECOPLAN (1985). Estes tiveram sua documentação analisada quanto às características de operação dos reservatórios envolvidos e o plano agrícola estipulado. Em relação à operação, foi dada ênfase à ocorrência de falhas no abastecimento.

Os projetos Barbatimão e Barro Preto estão localizados no Distrito Federal, próximos à divisa com o estado de Goiás. São previstas três barragens em córregos afluentes ao Ribeirão da Extrema para atender a estes projetos, a saber:

- Projeto Barbatimão: barragem no córrego Barbatimão, com uma bacia de contribuição de 21 km²;
- Projeto Barro Preto: uma barragem no córrego Barro Preto (bacia de contribuição de 14,5 km²) e outra no córrego Imbiriçu (bacia de contribuição de 4,8 km²).

A localização das bacias estudadas é apresentada na Figura 3.1. Na Figura são demarcadas as áreas a serem irrigadas, a bacia do rio Pipiripau até o posto fluviométrico Frinocap, a localização do posto pluviométrico Taquara e da estação climatológica Formosa.

A irrigação na margem direita do Ribeirão da Extrema será realizada com a regularização de vazão do córrego Barbatimão, seu afluente da margem direita, através de um barramento. No Barro Preto serão utilizadas duas barragens, sendo uma no próprio Barro Preto para garantir a vazão necessária para irrigação da margem direita, e outra no córrego Imbiriçu, para irrigar a margem esquerda.

- Dados hidroclimatológicos e características dos reservatórios

Os casos escolhidos para análise são de reservatórios dimensionados a partir de uma série hidrológica das vazões do posto Frinocap (01547013), localizado no rio Pipiripau, no Distrito Federal.

As Figuras 3.2 e 3.3 mostram as variações da vazão e dos parâmetros estatísticos da série de vazões médias mensais disponíveis na documentação dos projetos e correspondem a um período de 35 anos para o posto fluviométrico Frinocap.

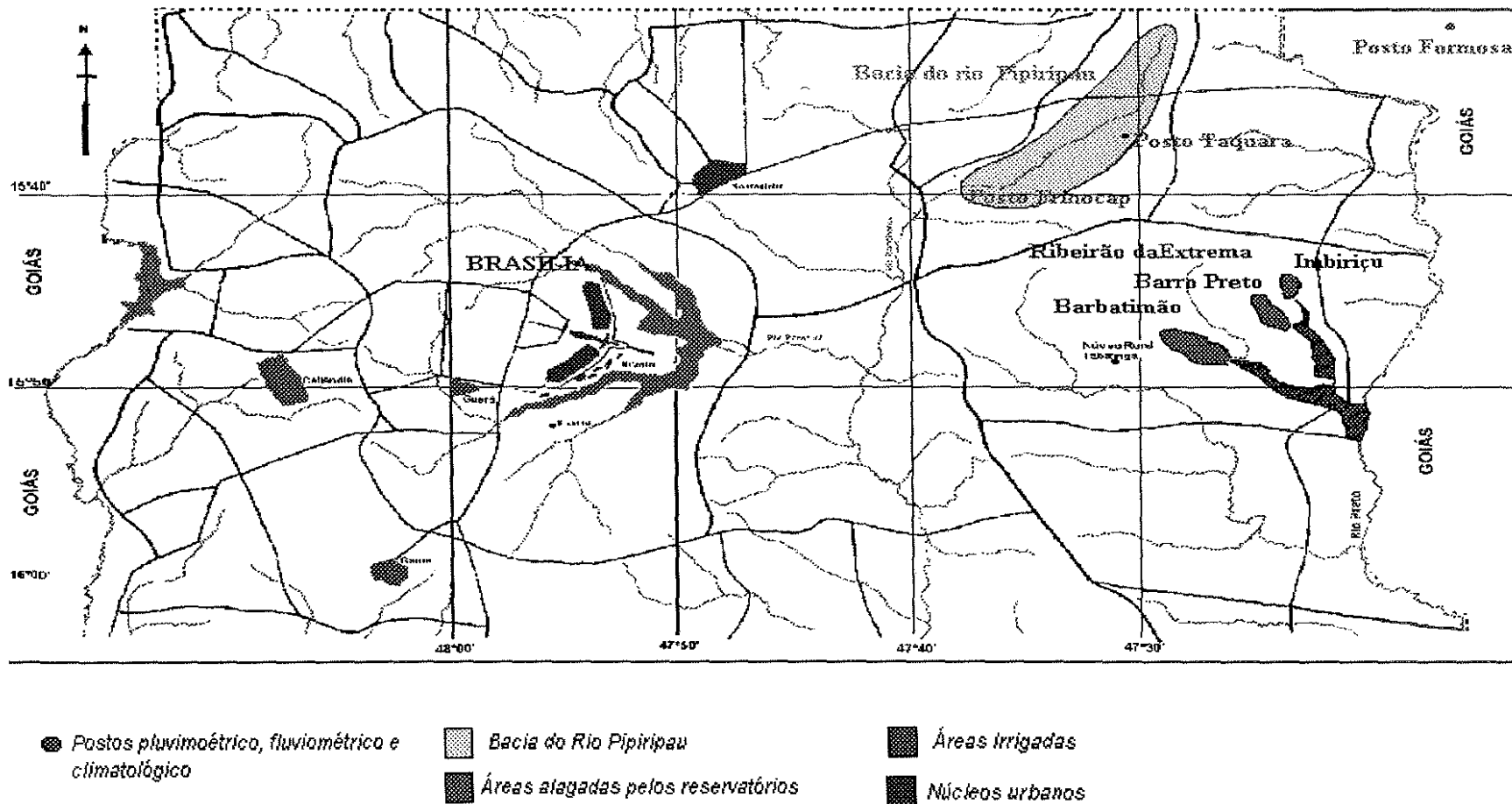


Figura 3.1 - Localização das áreas irrigadas, das áreas alagadas, da bacia do Rio Píripau e dos postos pluviométrico, fluviométrico e climatológico utilizados no projeto de engenharia (ECOPLAN, 1985)

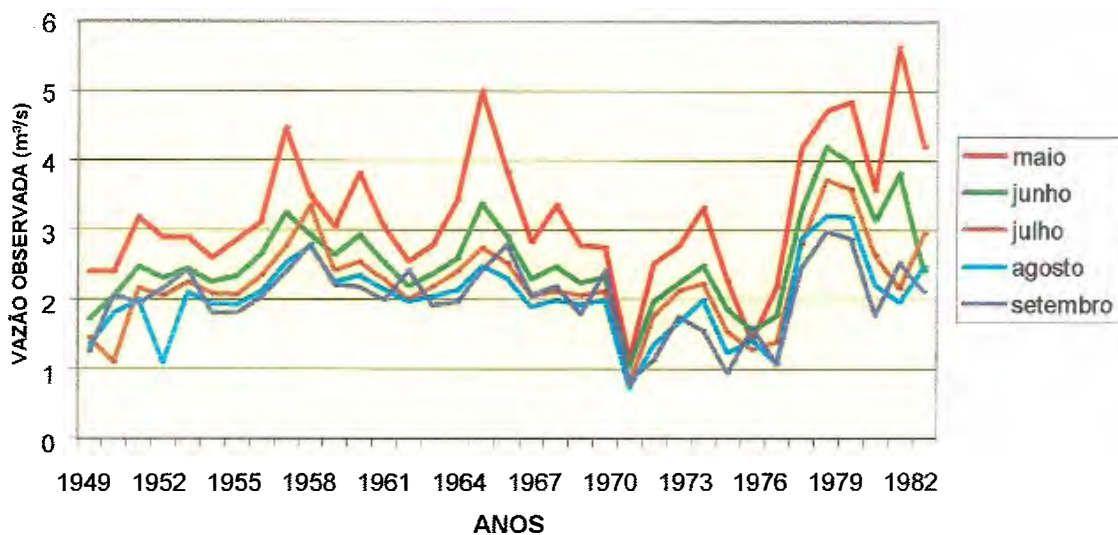


Figura 3.2 - Comportamento da vazão média mensal no período de estiagem no posto FRINOCAP, D.F. (ECOPLAN, 1985)

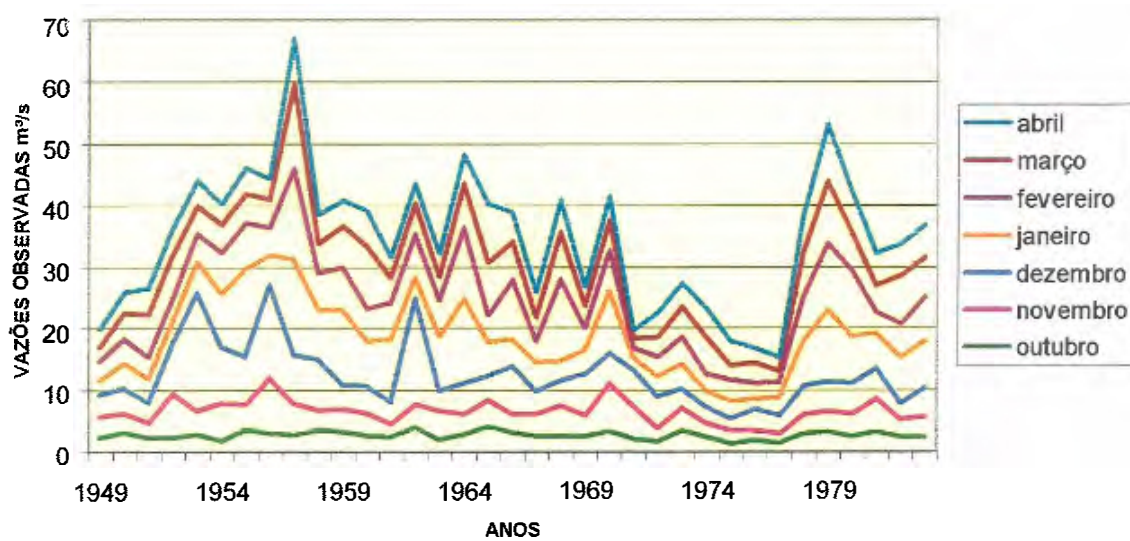


Figura 3.3 - Comportamento da vazão média mensal no período chuvoso no posto FRINOCAP, D.F. (ECOPLAN, 1985)

Os dados de precipitação são apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4 e a Figura 3.4 apresenta a variação da média e do desvio padrão da série de dados de precipitação.

Foram adotados, ainda, dados médios de evaporação e evapotranspiração potencial, período de 1931 a 1960, sendo a evapotranspiração definida por Hargreaves para o posto Formosa (ECOPLAN, 1985).

A Figura 3.5 apresenta a variação da evapotranspiração potencial.

A barragem do Barbatimão tem capacidade de acumulação prevista de 8 hm^3 , enquanto que a do Barro Preto tem capacidade de acumulação prevista de 1 hm^3 , atendendo a 420 ha, e a do Imbiricu, trabalhando a fio d'água, sem armazenamento significativo, atende entre 100 e 200 ha.

No presente estudo, para os locais de barramento não existiam séries históricas de vazões suficientes para o dimensionamento dos reservatórios. O posto fluviométrico mais próximo e com bacia hidrográfica de características semelhantes é o rio Pípiripau em Frinocap, com bacia de $221,1 \text{ km}^2$ e série de 13 anos (1971-1983) de dados históricos. Na bacia do rio Pípiripau encontra-se o posto pluviométrico Taquara, com série de dados de chuva no mesmo período do posto fluviométrico. Com os dados históricos existentes (ECOPLAN, 1985), foi ajustado um modelo que simula a transformação de chuva em vazão. No instante seguinte, foram geradas novas vazões a partir de dados de precipitação coletados no posto Formoso, obtendo-se uma série de vazões de 35 anos (1949 - 1983).

Para o cálculo dos reservatórios, as séries de vazões afluentes até as seções de estudo foram obtidas através de correlação de áreas com a bacia do rio Pípiripau. Assim, as vazões existentes foram multiplicadas pela razão entre as áreas, apresentadas na Tabela 3.6, obtendo-se duas novas séries de vazões, uma para cada projeto estudado, cobrindo um período de 35 anos.

A série de dados hidrológicos desse posto foi ampliada para 35 anos, cobrindo o período 1949 a 1983. Essa série foi estendida com base na série de dados de precipitação dos postos Taquara e Formosa, utilizando um modelo chuva-vazão.

Os valores de vazão média mensal obtidos com este modelo são apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2, divididos nos períodos de estiagem e chuvoso.

Tabela 3.1 - Valores mensais de vazão média (m³/s) para o período chuvoso no Posto fluviométrico Frinocap, rio Pípiripau, D.F.

Ano	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril
1949-50	2,27	3,31	3,60	4,02	3,99	4,26	3,31
1950-51	3,02	3,20	4,04	3,95	3,33	6,98	4,39
1951-52	2,23	2,49	3,20	3,76	3,73	7,19	4,41
1952-53	2,24	7,14	8,03	5,18	4,59	4,47	4,10
1953-54	2,75	3,84	19,16	8,85	6,72	4,60	3,17
1954-55	1,71	6,10	9,07	14,33	7,57	4,64	4,30
1955-56	3,52	4,13	7,69	4,86	4,60	4,48	3,22
1956-57	2,93	8,98	15,16	15,76	14,78	13,76	7,37
1957-58	2,66	5,04	7,86	8,22	6,00	4,98	4,56
1958-59	3,53	3,18	8,10	12,22	7,09	6,78	4,09
1959-60	3,15	3,68	3,92	7,22	5,53	10,10	5,70
1960-61	2,56	3,61	4,39	10,13	6,04	4,08	3,47
1961-62	2,32	2,09	3,63	3,49	7,06	4,92	3,28
1962-63	3,92	3,73	17,21	8,79	6,05	3,92	3,70
1963-64	1,83	4,75	3,22	13,89	11,67	7,08	4,58
1964-65	2,78	3,26	4,97	5,53	4,59	8,55	9,45
1965-66	3,98	4,33	3,80	4,45	9,86	6,29	4,59
1966-67	3,05	3,07	7,57	4,67	3,43	3,92	4,24
1967-68	2,42	3,62	3,68	3,07	13,52	7,76	5,17
1968-69	2,51	4,95	4,03	3,86	3,56	3,77	3,04
1969-70	2,42	3,34	6,77	10,32	6,65	4,78	3,93
1970-71	3,38	7,58	4,90	1,93	1,63	1,51	1,54
1971-72	2,01	5,35	5,77	3,23	3,13	3,14	4,14
1972-73	1,53	2,31	5,08	4,00	4,31	5,01	3,95
1973-74	3,40	3,65	3,17	2,72	2,72	5,92	4,89
1974-75	2,34	2,26	2,52	2,91	3,42	2,40	3,81
1975-76	1,31	2,11	1,83	1,74	2,36	3,37	2,31
1976-77	1,74	1,74	3,41	3,13	2,37	1,76	2,09
1977-78	1,40	1,45	2,89	7,40	7,21	7,20	6,05
1978-79	2,83	3,12	4,62	11,80	11,10	10,00	9,16
1979-80	3,12	3,32	4,72	7,59	10,90	6,35	6,61
1980-81	2,43	3,69	4,87	5,71	3,45	4,41	5,29
1981-82	3,17	5,43	4,79	7,31	5,54	8,01	5,20
1982-83	2,32	2,88	2,65	7,63	7,21	6,50	5,25
Soma	88,78	132,73	200,32	223,67	205,73	192,89	154,36
Média	2,61	3,90	5,89	6,58	6,05	5,67	4,54
Desvio Padrão	0,69	1,67	4,03	3,77	3,28	2,53	1,71

Tabela 3.2 - Valores mensais de vazão média (m³/s) para o período de estiagem no Posto fluviométrico Frinocap, rio Pípiripau, D.F.

Ano	maio	junho	julho	agosto	setembro
1949	2,39	1,71	1,45	1,33	1,24
1950	2,39	2,05	1,09	1,80	2,07
1951	3,18	2,46	2,16	1,99	1,94
1952	2,88	2,30	2,05	1,09	2,16
1953	2,89	2,44	2,24	2,09	2,43
1954	2,60	2,25	2,08	1,94	1,81
1955	2,86	2,32	2,07	1,92	1,80
1956	3,11	2,65	2,33	2,11	2,03
1957	4,47	3,24	2,76	2,52	2,39
1958	3,49	2,92	3,34	2,76	2,79
1959	3,04	2,64	2,41	2,25	2,20
1960	3,81	2,92	2,54	2,33	2,17
1961	3,04	2,53	2,29	2,14	1,99
1962	2,55	2,19	2,01	1,96	2,42
1963	2,78	2,37	2,18	2,04	1,91
1964	3,43	2,58	2,40	2,13	1,95
1965	5,00	3,37	2,75	2,47	2,42
1966	3,84	2,90	2,52	2,30	2,79
1967	2,83	2,29	2,05	1,89	2,06
1968	3,35	2,46	2,11	1,98	2,19
1969	2,77	2,23	2,06	1,92	1,79
1970	2,75	2,31	2,11	1,98	2,42
1971	1,14	1,04	0,78	0,73	0,83
1972	2,52	1,97	1,77	1,35	1,13
1973	2,77	2,23	2,13	1,67	1,75
1974	3,32	2,49	2,22	1,99	1,56
1975	2,27	1,85	1,53	1,23	0,94
1976	1,40	1,56	1,27	1,41	1,60
1977	2,19	1,77	1,39	1,08	1,06
1978	4,20	3,30	2,80	2,88	2,47
1979	4,72	4,20	3,72	3,20	2,98
1980	4,85	3,96	3,58	3,18	2,87
1981	3,57	3,13	2,63	2,20	1,77
1982	5,65	3,81	2,16	1,96	2,53
1983	4,20	2,41	2,95	2,47	2,11
Soma	112,25	88,85	77,93	70,29	70,57
Média	3,21	2,54	2,23	2,01	2,02
Desvio Padrão	0,97	0,67	0,63	0,56	0,54

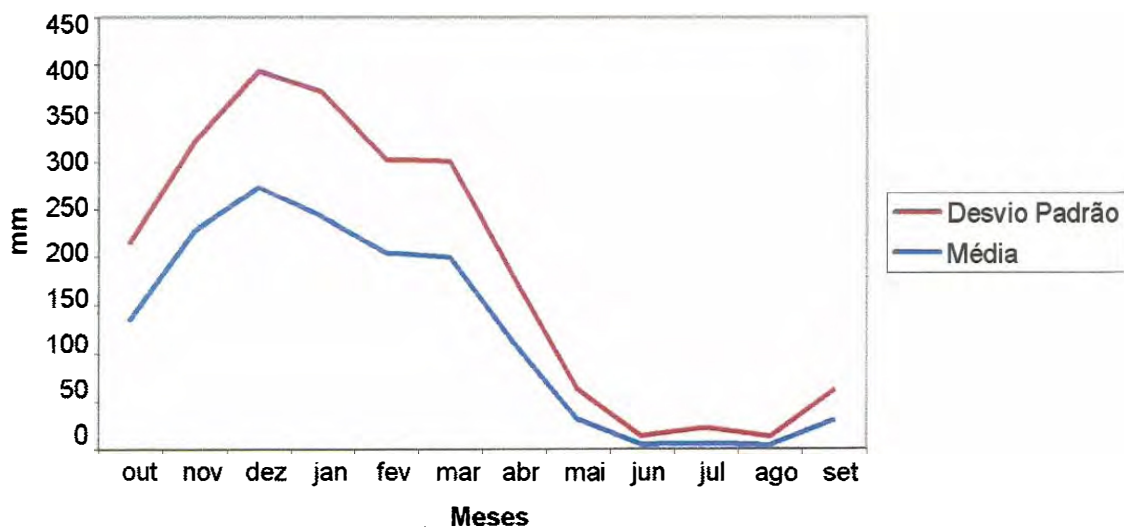


Figura 3.4 - Média e desvio padrão da série de precipitações adotada (ECOPLAN, 1985)

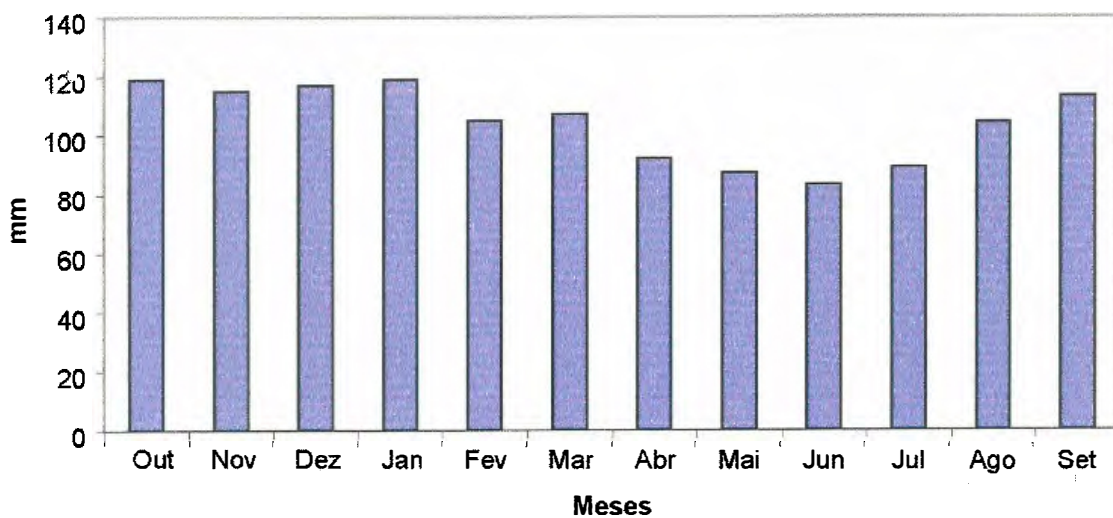


Figura 3.5 - Variação da evapotranspiração potencial média mensal no posto Formosa, calculada por Hargreaves (ECOPLAN, 1985)

Tabela 3.3 - Precipitação mensal no período de chuvas (mm), posto Formosa (ECOPLAN, 1985)

Ano	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril
1949	145,10	230,50	210,00	212,70	285,40	66,50	179,70
1950	166,20	144,80	244,30	241,70	200,80	232,10	81,30
1951	63,20	90,60	284,00	182,10	92,60	312,40	73,00
1952	58,20	361,40	327,10	200,70	161,00	315,50	69,20
1953	94,70	287,60	549,50	149,10	196,20	253,70	150,90
1954	3,40	351,10	359,60	78,40	270,40	111,10	19,60
1955	240,30	237,10	337,70	421,20	143,00	90,00	179,30
1956	142,50	382,50	441,10	117,90	208,30	204,10	34,70
1957	62,30	307,30	327,60	392,50	354,10	334,80	102,70
1958	149,80	74,70	350,40	298,00	195,70	167,70	150,40
1959	153,00	181,30	273,80	376,20	147,10	266,00	8,30
1960	72,20	199,20	249,80	315,70	199,90	337,60	75,10
1961	61,80	26,50	296,30	369,70	239,60	65,60	73,60
1962	261,40	163,00	516,40	146,30	324,40	249,30	29,00
1963	8,00	322,90	56,30	170,30	200,00	52,40	119,00
1964	128,20	279,30	291,10	463,30	331,90	212,60	91,80
1965	236,60	208,10	121,50	275,20	163,30	319,30	298,80
1966	103,90	100,30	347,80	230,70	352,10	169,30	106,90
1967	86,60	230,70	179,70	90,30	63,20	192,50	204,10
1968	88,30	314,70	265,50	91,90	450,70	225,10	148,80
1969	99,10	194,00	337,40	164,20	122,30	164,70	51,20
1970	184,70	349,80	130,40	363,80	217,20	150,00	118,20
1971	220,20	355,80	349,20	99,80	81,60	92,20	131,80
1972	249,80	259,40	566,40	121,40	225,60	122,80	131,00
1973	338,00	392,00	202,60	70,40	91,20	222,60	118,80
1974	70,00	172,70	184,60	120,00	104,40	381,00	19,00
1975	94,20	173,20	131,80	198,60	189,30	91,80	149,20
1976	198,60	248,40	218,40	144,80	281,00	117,80	28,00
1977	177,50	250,50	251,20	247,10	102,60	59,50	266,80
1978	197,00	242,00	258,90	188,90	269,00	147,80	135,60
1979	118,20	95,40	207,60	609,30	316,90	311,60	117,20
1980	13,20	175,60	228,40	412,60	303,80	37,00	219,00
1981	256,10	222,80	120,40	210,60	61,80	296,20	60,00
1982	64,10	149,30	127,40	329,40	48,50	367,80	75,80
1983	130,00	215,50	240,20	372,80	164,80	249,80	78,00
Coefficiente de Variação	59,59%	40,72%	43,51%	53,39%	47,84%	50,29%	61,53%
Média	135,33	228,29	273,84	242,22	204,56	199,72	111,31
Desvio Padrão	80,65	92,96	119,15	129,31	97,86	100,44	68,48
Soma	4.736,40	7.990,00	9.584,40	8.477,60	7.159,70	6.990,20	3.895,80
Variância	6.503,92	8.642,41	14.196,10	16.722,00	9.576,41	10.087,47	4.690,03
Máximo	338,00	392,00	566,40	609,30	450,70	381,00	298,80
Mínimo	3,40	26,50	56,30	70,40	48,50	37,00	8,30

Tabela 3.4 - Precipitações mensais no período de estiagem (mm), posto Formosa (ECOPLAN, 1985)

Ano	maio	junho	julho	agosto	setembro
1949	66,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1950	0,00	0,00	0,00	0,00	49,10
1951	34,80	0,00	0,00	0,20	11,80
1952	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00
1953	3,60	2,60	2,60	0,00	61,90
1954	13,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1955	0,60	0,70	0,00	0,00	0,00
1956	78,50	23,30	8,10	1,70	11,80
1957	22,80	1,10	0,00	1,30	7,30
1958	25,30	2,40	89,40	0,00	42,90
1959	0,00	3,30	0,10	0,00	14,00
1960	23,50	2,00	0,00	0,00	0,50
1961	44,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1962	11,00	0,00	0,00	9,20	81,60
1963	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1964	55,70	0,00	21,20	0,00	0,00
1965	0,00	0,00	0,00	1,60	19,00
1966	87,20	0,00	0,00	0,00	84,70
1967	0,00	0,00	0,00	0,00	38,80
1968	27,50	0,00	0,00	7,10	49,00
1969	49,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1970	0,00	0,00	0,00	0,00	74,00
1971	7,40	8,40	0,70	0,00	77,00
1972	16,00	0,00	23,40	0,00	11,00
1973	2,60	13,60	0,00	0,00	28,80
1974	18,00	0,00	0,00	46,50	0,00
1975	4,20	0,00	7,20	0,00	25,00
1976	125,40	0,00	1,00	0,00	130,20
1977	50,40	35,10	0,00	0,00	46,60
1978	87,40	0,00	17,40	0,00	0,50
1979	22,90	0,00	6,10	3,90	33,90
1980	15,60	8,60	0,00	0,00	39,60
1981	44,90	36,00	14,40	1,30	0,40
1982	89,20	0,00	0,00	31,60	29,60
1983	45,40	0,00	16,20	0,00	21,40
Coefficiente de Variação	104,94%	235,46%	269,29%	315,36%	107,07%
Média	30,89	3,92	5,94	2,98	29,73
Desvio Padrão	32,41	9,22	15,99	9,41	31,83
Soma	1.081,00	137,10	207,80	104,40	1.040,40
Variância	1.050,46	85,07	255,62	88,49	1.012,95
Máximo	125,40	36,00	89,40	46,50	130,20
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 3.5 – Relação entre as áreas das bacias contribuintes dos locais de barramento e a do posto fluviométrico Frinocap, D.F. (ECOPLAN, 1985)

Projeto	Relação de áreas
Barbatimão	0,095
Barro Preto	0,066

Os valores que definem as curvas cota-volume e cota-área desses reservatórios são apresentados na Tabela 3.6.

A relação entre o volume máximo acumulável e o volume médio fornecido pela bacia de contribuição permite distinguir um projeto do outro. A barragem do Barro Preto apresenta um baixo valor médio para esta relação, enquanto a do Barbatimão tem valores mais elevados. A distribuição das séries destes valores é apresentada na Tabela 3.7.

Pelos dados apresentados na Tabela 3.7, verifica-se que a barragem do Barro Preto tem possibilidades de enchimento intra-anual, ou seja, o volume afluente é suficientemente elevado para que o reservatório possa ter seu volume completado dentro de um mesmo ano hidrológico.

Tabela 3.6 – Relações entre cota, área e volume dos reservatórios projetados para atender a demanda hídrica dos projetos Barbatimão e Barro Preto (ECOPLAN, 1985)

Projeto					
Barbatimão			Barro Preto		
cotas (m)	Áreas (m ²)	volumes (m ³)	cotas (m)	áreas (m ²)	volumes (m ³)
907	0	0	917	0	0
912	187.500	468.750	920	42.500	63.750
915	500.000	1.500.000	923	75.000	240.000
917	750.000	2.750.000	925	80.000	395.000
918	875.000	3.562.500	927	90.000	565.000
920	1.145.527	5.583.027	930	100.000	850.000
921,8	1.540.000	8.000.000	931	200.000	1.000.000

No ano mais seco (1977), a oferta de água é cerca de 4 vezes o valor do volume máximo armazenável.

Para a barragem do Barbatimão, no entanto, a situação é diversa e desfavorável. A relação entre o volume acumulável e o volume escoado assume valores que variam de 39,01 até 141,97%.

Em seis anos da série de 35 (1949, 1971, 1972, 1975, 1976 e 1977), o valor do volume possível de ser armazenado (8.000.000 m³) é superior ao volume escoado na bacia durante todo o ano, sem considerar as perdas.

Isto indica que são relevantes as possibilidades de ocorrerem falhas de atendimento se o perímetro foi projetado para utilizar em um ano a totalidade do volume útil do reservatório.

- Método de Irrigação

O método de irrigação a ser utilizado é o de sulcos e a necessidade bruta de irrigação soma 696 mm/ano, sendo que a vazão de pico no sistema de distribuição será de 0,72 l/s/ha. A eficiência global do método escolhido foi fixada em 45%. Para a simulação, desprezou-se a existência da barragem de Imbiriçu, pela sua pequena contribuição. Por outro lado, as áreas que seriam atendidas por esta obra também não foram consideradas. Para nenhuma das duas barragens foi prevista uma vazão mínima a ser mantida a jusante como exigência do órgão de controle ambiental, razão pela qual não considerou-se nenhum valor para esta variável.

- Plano de exploração previsto

O plano de exploração agrícola previsto para estes projetos, em termos de ocupação de área, é o apresentado na Tabela 3.8.

- Necessidade hídrica

A base da elaboração do plano de exploração agrícola é a necessidade de irrigações freqüentes na época de estiagem e a possibilidade de explorar culturas adaptadas ao regime de umidade na época das chuvas. Estes períodos são bem definidos, sendo que de outubro a abril ocorrem as maiores precipitações, e entre maio e setembro as precipitações são pequenas ou nulas, sendo junho, julho e agosto os meses mais críticos. As precipitações efetivas foram

determinadas por equação definida por Hargreaves para o posto Formosa (ECOPLAN, 1985), muito próximo da área, e para uma probabilidade de 75% de ocorrência.

Tabela 3.7 - Relação entre o volume máximo armazenável e a vazão anual (em volume) - valores adimensionais

Ano	Barragem Barbatimão	Barragem Barro Preto
1949	1,15	0,21
1950	0,91	0,16
1951	0,84	0,15
1952	0,68	0,12
1953	0,57	0,10
1954	0,63	0,11
1955	0,56	0,10
1956	0,57	0,10
1957	0,39	0,07
1958	0,59	0,11
1959	0,60	0,11
1960	0,61	0,11
1961	0,73	0,13
1962	0,59	0,11
1963	0,74	0,13
1964	0,53	0,10
1965	0,57	0,10
1966	0,61	0,11
1967	0,86	0,16
1968	0,61	0,11
1969	0,85	0,15
1970	0,60	0,11
1971	1,32	0,24
1972	1,02	0,18
1973	0,84	0,15
1974	0,92	0,16
1975	1,26	0,23
1976	1,34	0,24
1977	1,42	0,26
1978	0,59	0,11
1979	0,45	0,08
1980	0,53	0,10
1981	0,70	0,13
1982	0,64	0,12
1983	0,63	0,11
Média	0,76	0,14

Tabela 3.8 - Plano de exploração agrícola dos projetos em estudo - valores em ha (ECOPLAN, 1985)

Projeto	Barbatimão		Barro Preto	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Arroz	240	-	-	-
Feijão	-	1.040	-	416
Cítricos	160	160	52	52
Frutíferas Caducifólias	160	160	52	52
Girassol	-	240	-	-
Milho	1.040	-	416	-

A utilização desses não são justificados na documentação do projeto original e sua manutenção no estudo de caso tem por objetivo possibilitar a comparação dos resultados previstos pela consultora e os previstos com a aplicação da metodologia proposta. Precipitação efetiva é entendida aqui como a altura de precipitação que realmente atinge o solo, tem condições de infiltrar e pode ser absorvida pelas raízes das plantas. A precipitação efetiva (PE) é sempre uma parcela da precipitação total mensal. Para a região de análise, foi utilizada a seguinte relação (ECOPLAN, 1985):

$$PE = P * 0,75 - 21 \quad (3.1)$$

Há uma condição de validade clara na expressão, que para os meses em que a multiplicação da precipitação total por 0,75 for inferior a 21 mm, a precipitação efetiva é nula.

Avaliou-se o comportamento da precipitação efetiva ao longo da série de 35 anos. As Tabelas 3.9 e 3.10 e a Figura 3.6 mostram que a precipitação efetiva tem um comportamento similar ao da precipitação total, em que o período de estiagem é perfeitamente delineado na média e em relação aos valores mínimos. Em relação aos valores máximos, são observadas precipitações efetivas muito superiores aos valores médios e mínimos, apresentando inclusive precipitações efetivas no período de estiagem que são superiores ao valor médio do mês de abril, que pertence ao período chuvoso.

Tabela 3.9: Precipitação efetiva no período chuvoso (mm), posto Formosa

Ano	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril
1949	87,83	151,88	136,50	138,53	193,05	28,88	113,78
1950	103,65	87,60	162,23	160,28	129,60	153,08	39,98
1951	26,40	46,95	192,00	115,58	48,45	213,30	33,75
1952	22,65	250,05	224,33	129,53	99,75	215,63	30,90
1953	50,03	194,70	391,13	90,83	126,15	169,28	92,18
1954	0,00	242,33	248,70	37,80	181,80	62,33	0,00
1955	159,23	156,83	232,28	294,90	86,25	46,50	113,48
1956	85,88	265,88	309,83	67,43	135,23	132,08	5,03
1957	25,73	209,48	224,70	273,38	244,58	230,10	56,03
1958	91,35	35,03	241,80	202,50	125,78	104,78	91,80
1959	93,75	114,98	184,35	261,15	89,33	178,50	0,00
1960	33,15	128,40	166,35	215,78	128,93	232,20	35,33
1961	25,35	0,00	201,23	256,28	158,70	28,20	34,20
1962	175,05	101,25	366,30	88,73	222,30	165,98	0,75
1963	0,00	221,18	21,23	106,73	129,00	18,30	68,25
1964	75,15	188,48	197,33	326,48	227,93	138,45	47,85
1965	156,45	135,08	70,13	185,40	101,48	218,48	203,10
1966	56,93	54,23	239,85	152,03	243,08	105,98	59,18
1967	43,95	152,03	113,78	46,73	26,40	123,38	132,08
1968	45,23	215,03	178,13	47,93	317,03	147,83	90,60
1969	53,33	124,50	232,05	102,15	70,73	102,53	17,40
1970	117,53	241,35	76,80	251,85	141,90	91,50	67,65
1971	144,15	245,85	240,90	53,85	40,20	48,15	77,85
1972	166,35	173,55	403,80	70,05	148,20	71,10	77,25
1973	232,50	273,00	130,95	31,80	47,40	145,95	68,10
1974	31,50	108,53	117,45	69,00	57,30	264,75	0,00
1975	49,65	108,90	77,85	127,95	120,98	47,85	90,90
1976	127,95	165,30	142,80	87,60	189,75	67,35	0,00
1977	112,13	166,88	167,40	164,33	55,95	23,63	179,10
1978	126,75	160,50	173,18	120,68	180,75	89,85	80,70
1979	67,65	50,55	134,70	435,98	216,68	212,70	66,90
1980	0,00	110,70	150,30	288,45	206,85	6,75	143,25
1981	171,08	146,10	69,30	136,95	25,35	201,15	24,00
1982	27,08	90,98	74,55	226,05	15,38	254,85	35,85
1983	76,50	140,63	159,15	258,60	102,60	166,35	37,50
Soma	2.861,85	5.258,63	6.453,30	5.623,20	4.634,78	4.507,65	2.214,68
Variância	3.425,59	4.851,38	7.985,30	9.406,13	5.386,73	5.674,20	2.526,29
Média	81,77	150,25	184,38	160,66	132,42	128,79	63,28
Desvio Padrão	58,53	69,65	89,36	96,99	73,39	75,33	50,26
Máximo	232,50	273,00	403,80	435,98	317,03	264,75	203,10
Mínimo	0,00	0,00	21,23	31,80	15,38	6,75	0,00
Coef. Variação	71,58%	46,36%	48,47%	60,37%	55,42%	58,49%	79,43%

Tabela 3.10: Precipitação efetiva no período de estiagem (mm), posto Formosa

Ano	maio	junho	julho	agosto	setembro
1949	28,58	0,00	0,00	0,00	0,00
1950	0,00	0,00	0,00	0,00	15,83
1951	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50
1953	0,00	0,00	0,00	0,00	25,43
1954	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1955	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1956	37,88	0,00	0,00	0,00	0,00
1957	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	46,05	0,00	11,18
1959	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1961	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00
1962	0,00	0,00	0,00	0,00	40,20
1963	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1964	20,78	0,00	0,00	0,00	0,00
1965	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1966	44,40	0,00	0,00	0,00	42,53
1967	0,00	0,00	0,00	0,00	8,10
1968	0,00	0,00	0,00	0,00	15,75
1969	16,05	0,00	0,00	0,00	0,00
1970	0,00	0,00	0,00	0,00	34,50
1971	0,00	0,00	0,00	0,00	36,75
1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1973	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
1974	0,00	0,00	0,00	13,88	0,00
1975	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1976	73,05	0,00	0,00	0,00	76,65
1977	16,80	5,33	0,00	0,00	13,95
1978	44,55	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,00	0,00	0,00	4,43
1980	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70
1981	12,68	6,00	0,00	0,00	0,00
1982	45,90	0,00	0,00	2,70	1,20
1983	13,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Soma	371,40	11,33	46,05	16,58	352,28
Variância	329,30	1,79	60,59	5,65	299,83
Média	10,61	0,32	1,32	0,47	10,07
Desvio Padrão	18,15	1,34	7,78	2,38	17,32
Máximo	73,05	6,00	46,05	13,88	76,65
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coef. Variação	171,01%	412,91%	591,61%	501,74%	172,04%

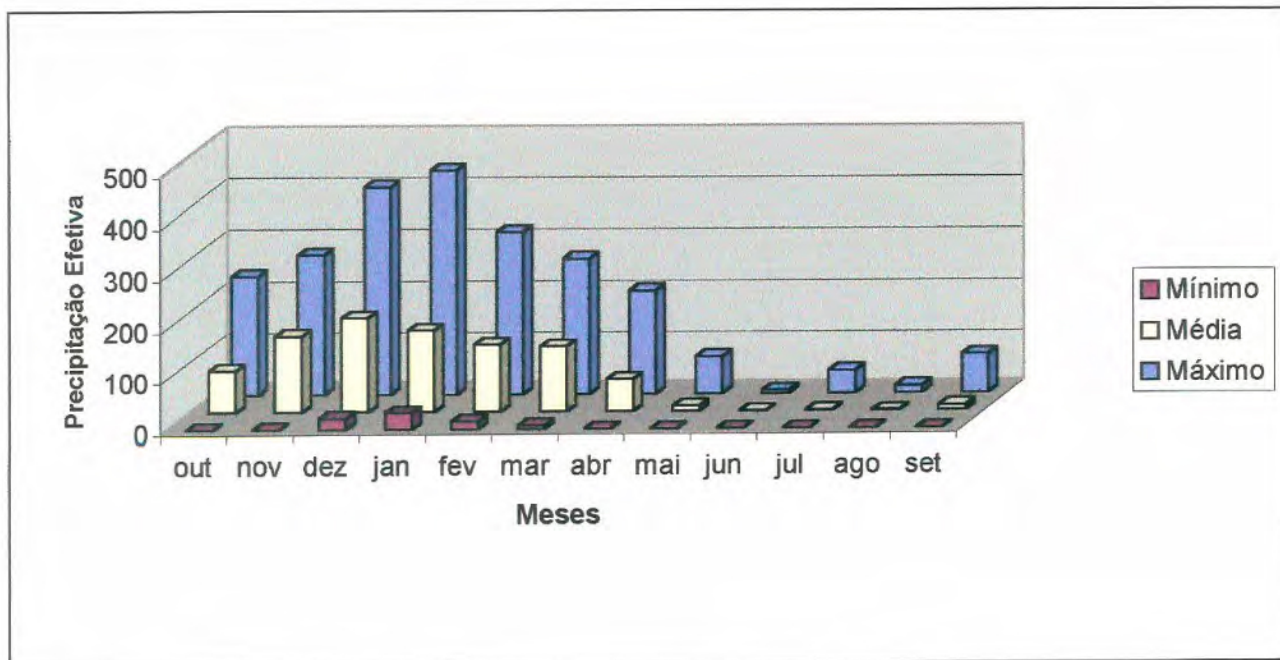


Figura 3.6 - Valores máximos, médios e mínimos da precipitação efetiva, com base em série de precipitações da estação Formosa (mm)

A presença desses eventos isolados em uma série de precipitações que teria como estimativa a ausência de registros pluviométricos, gera variações importantes no parâmetro estatístico coeficiente de variação, que apresenta valores muito superiores aos do período chuvoso.

- Comportamento da bacia

O comportamento hidrológico da bacia do rio Pípiripau mostra períodos bem determinados de estiagem, onde a vazão assume valores muito baixos, e períodos de vazões com um comportamento mais irregular, que são os períodos chuvosos, conforme a Figura 3.7. O período de estiagem é bem caracterizado pelas séries de vazões de maio a setembro, enquanto que o período de outubro a abril apresenta um comportamento mais irregular.

De uma maneira geral, no entanto, as análises dos gráficos de chuva e vazão apontam sempre para uma tendência de deficiência de umidade no período de maio a setembro, para o qual, sem irrigação, não é possível uma exploração agrícola eficiente.

Em relação ao comportamento dos valores anuais de precipitação e vazão, a Figura 3.8 apresenta a variabilidade dos valores de precipitação anual e vazão anual das séries observadas. Além das curvas apresentarem a mesma tendência, é possível verificar a existências de 2 anos (1957 e 1979) com valores mais elevados de vazão e 2 anos (1971 e 1977) com estiagem mais

marcante. Além destes, outros anos apresentam uma variabilidade que destoam do comportamento médio, como o ano de 1963.

- Dados financeiros

Para possibilitar a análise do retorno financeiro das culturas, foram utilizados os valores do projeto Sobradinho, pela sua atualidade (ESTUDOS, 1998). Os cítricos são representados pela cultura do limão, com um custo de produção estabilizado a partir do sexto ano de US\$ 2.184,75 por ha, já prevendo reposição de plantas doentes, mortas ou com produção decrescente. A produtividade esperada é de 28 t/ha, com um preço de venda igual a US\$ 0,26 por kg. Até o segundo ano, que é o período de implantação, não há retorno financeiro, sendo necessário um desembolso de US\$ 1.477,56 por ha para a aquisição, implantação e manutenção do pomar. Após a estabilização, o valor da produção anual é de US\$ 7.224,00 por ha.

As caducifólias são representadas pela uva, com estabilização da produção e dos custos no quinto ano. A implantação, com pequeno retorno no segundo ano, representa um custo de US\$ 12.918,50 por ha. Após a estabilização, a cultura tem um custo anual de produção de US\$ 9.739,55 por ha, já prevendo reposição de plantas doentes, mortas ou com produção decrescente, e um retorno de US\$ 26.592,00 por ha, com uma produtividade prevista de 32 t/ha.

O feijão apresenta uma produtividade esperada de 1,8 t/ha, com um custo de US\$ 694,53 por ha e um valor de venda de US\$ 0,674 por kg, o que resulta em um valor de produção de US\$ 1.213,20 por ha.

O milho tem um custo de produção fixado em US\$ 631,10 por ha, uma produtividade básica de 5 t/ha e um valor de produção igual a US\$ 895,00 por ha.

Para o girassol e para o arroz, o projeto não prevê irrigação. No texto explicativo, afirma-se que “*as necessidades mensais brutas de irrigação (...) dadas em milímetros, conforme o Plano de Agrícola, desconsideram as áreas de solos com destino exclusivo ao plantio de arroz em rotação com girassol*”. Para estas culturas não foram obtidos os valores de custos de produção e do valor de produção, pois não são culturas que apresentem, na atualidade, grande interesse em sua produção irrigada. Para municiar a simulação, foram adotados custos de produção iguais a metade do valor do milho, produtividade de 2,5 t/ha para o arroz e de 1,8 t/ha para o girassol e preço de venda igual a US\$ 0,25/kg.

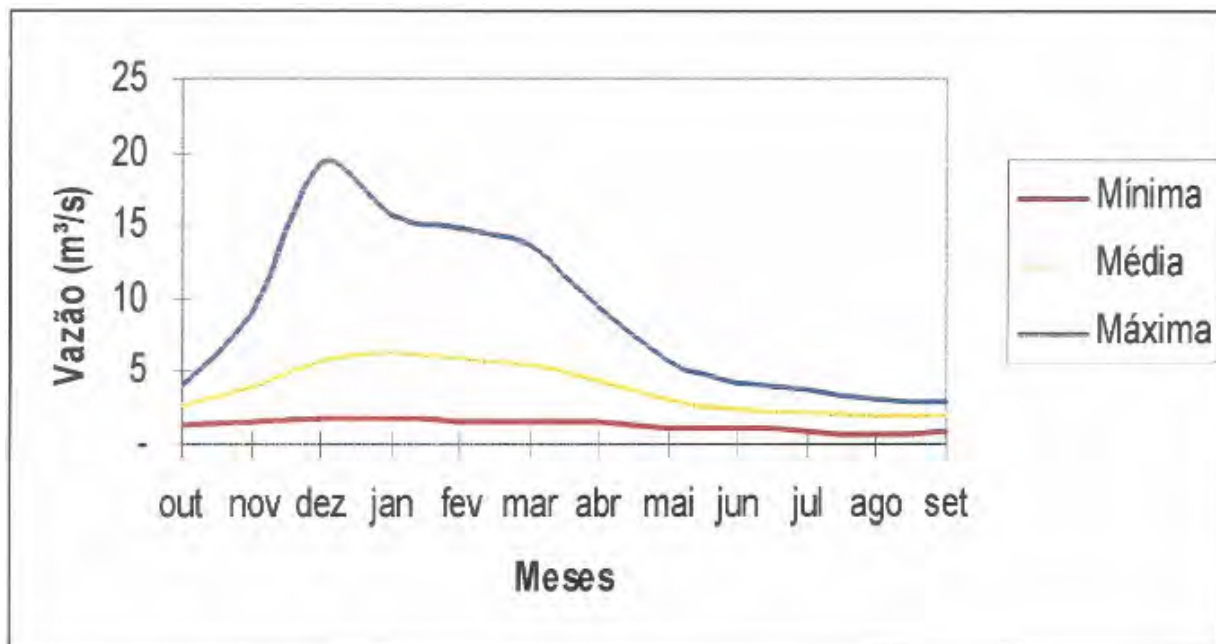


Figura 3.7 - Vazões máxima, média e mínima mensais para o posto Frinocap, no rio Pipiripau, D.F., com base na série gerada (1949 - 1983)

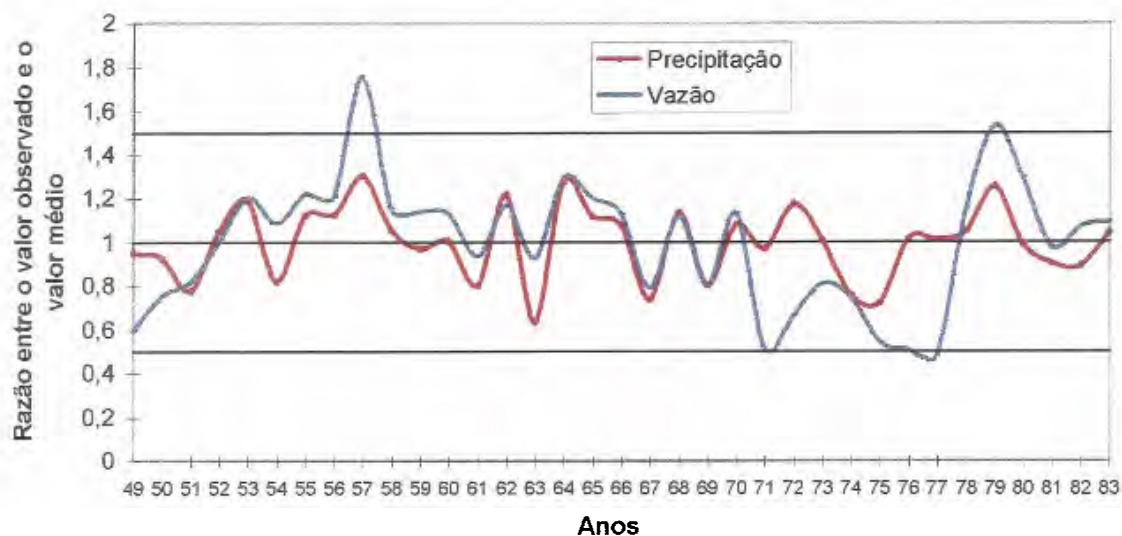


Figura 3.8 - Razão entre o total anual observado e o valor médio das séries de precipitação (posto Formosa) e de vazão (posto Frinocap) - valores adimensionais

CAPÍTULO 4. PREVISÃO DA VAZÃO DE ESTIAGEM

4.1 METODOLOGIA

Na previsão de vazão em período de estiagem, $Q_{t+\sigma}$ representa uma vazão prevista com antecedência σ no tempo a partir do instante t , onde Q_t deve ser conhecida. A previsão no período de estiagem pode ser realizada por uma equação exponencial do seguinte tipo:

$$Q_{t+\sigma} = Q_t \cdot e^{-\sigma \cdot \alpha} \quad (4.1)$$

onde σ é o tempo futuro onde se deseja efetuar a previsão; $Q_{t+\sigma}$ e Q_t são as vazões nos tempos t e $t+\sigma$; α é o coeficiente de depleção, que retrata o comportamento do aquífero da bacia.

Este parâmetro pode ser estimado com base na série histórica. Para algumas bacias, este coeficiente pode apresentar variabilidades de acordo com a faixa do aquífero que atua.

Considerando-se que σ seja constante, a expressão acima fica reduzida a

$$Q_{t+\sigma} = Q_t \cdot k \quad (4.2)$$

onde

$$k = e^{-\sigma \cdot \alpha} \quad (4.3)$$

Na previsão de vazão para o período de irrigação (n meses) a partir de um mês (i) antes do início da temporada de rega, o valor de Q_i , vazão afluente ao reservatório, será conhecida.

O período de previsão irá do mês (i) até ($i + n$), que são os meses de irrigação. Considerando que α varia entre os meses, α_i é o coeficiente que permite estimar Q_{i+1} a partir do conhecimento do valor de Q_i . O período de previsão estendeu-se de maio a setembro, sempre tendo como base o valor da vazão afluente de abril. Neste estudo, considerou-se que abril é o mês i , e a previsão é realizada de $i+1$ até $i+n$, sendo que n varia de 1 a 4.

Para estimar α_i utilizou-se o método dos mínimos quadrados, isto é, busca-se minimizar o valor do desvio:

$$s = \sum_{j=1}^m (Q_{j,i+1}^o - Q_{j,i+1}^c)^2 \quad (4.4)$$

sendo j o ano e m o número de anos. O valor de vazão calculado é obtido pelo uso da equação 4.2; $Q_{j,i+1}^o$ é a vazão observada e $Q_{j,i+1}^c$ é o valor de vazão calculada no mês $i+1$ no ano j .

Neste caso, $\sigma = 1$ mês e α_i tem unidades de 1/mês.

Derivando-se s com base em α_i e igualando-se a zero, obtém-se

$$\alpha_i = -\ln \left[\frac{\sum Q_{j,i+1}^o \cdot Q_{j,i}^o}{\sum Q_{j,i}^2} \right] \quad (4.5)$$

Para o mês $(i+2)$ a vazão prevista é

$$Q_{j,i+2}^c = Q_{j,i+1}^c \cdot e^{-\alpha_{i+1}} = Q_{j,i}^o \cdot e^{-\alpha_i} \cdot e^{-\alpha_{i+1}} \quad (4.6)$$

e

$$\alpha_{i+1} = -\left\{ \ln \left[\frac{\sum Q_{j,i+2}^o \cdot Q_{j,i}^o}{\sum Q_{j,i}^2} \right] + \alpha_i \right\} \quad (4.7)$$

Generalizando, essa expressão fica com a seguinte apresentação:

$$\alpha_{i+r-1} = -\left\{ \ln \left[\frac{\sum Q_{j,i+r}^o \cdot Q_{j,i}^o}{\sum Q_{j,i}^2} \right] + \sum_{i=1}^r \alpha_i \right\} \quad (4.8)$$

Os valores dos fatores podem ser expressos por

$$k_{i+r-1} = e^{-\alpha_{(i+r-1)}} \quad (4.9)$$

e as vazões por

$$Q_{i+r} = Q_i \cdot \prod_{s=1}^r k_s \quad (4.10)$$

Nessas equações, Q^o são os valores observados e Q^c são os valores calculados; $k_{i,i+1}$ representa a redução de vazão entre o mês $i+1$ e i .

O valor de $k_{i,i+1}$ é obtido por

$$k_{i,i+1} = \frac{\sum Q_{j,i+1}^o \cdot Q_{j,i}^o}{\sum (Q_{j,i}^o)^2} \quad (4.11)$$

Segue-se o mesmo critério para os meses seguintes, com n variando até 4 que representa o mês de setembro.

Tomando como base o valor da vazão afluente no mês de abril, a vazão de maio é definido por:

$$Q_{maio} = Q_{abril} \cdot k_{abril,maio} \quad (4.12)$$

sendo

$$k_{maio,abril} = \frac{\sum (Q_{maio}^o \cdot Q_{abril}^o)}{\sum (Q_{abril}^o)^2}, \quad (4.13)$$

para a série de 35 anos.

Para o mês de junho, a previsão da vazão com base no mês de abril é dada por:

$$Q_{junho} = Q_{abril} \cdot k_{junho,abril} \quad (4.14)$$

sendo

$$k_{junho,abril} = \frac{\sum (Q_{junho}^o \cdot Q_{abril}^o)}{\sum (Q_{abril}^o)^2}, \quad (4.15)$$

para a série de 35 anos.

Segue-se este procedimento para os meses seguintes, até encontrar o valor de $k_{abril, setembro}$.

A disponibilidade de volume de água armazenada no reservatório é conhecida no início do período de irrigação, isto é, S_i tem um valor determinado, assim como Q_i . Com a previsão de vazão no período de estiagem, o volume que irá entrar no reservatório nesse período também será conhecido através da seguinte expressão:

$$S_a = \sum_{s=1}^r Q_{i+s} \cdot R_s \quad (4.16)$$

onde S_a é o volume afluyente e R_s é o número de segundos do mês s . O volume total disponível será, portanto, igual a

$$S_T = S_i + S_a \quad (4.17)$$

As retiradas previstas entre os meses (i) e $(i+r)$ são a demanda bruta de irrigação e a perda por evaporação direta do lago. Para o cálculo da demanda de irrigação não são consideradas eventuais precipitações efetivas sobre a área cultivada.

Na equação de balanço do reservatório

$$S_{t+\alpha} = S_t + (Q_e - Q_s - E) \cdot \Delta t \quad (4.18)$$

o armazenamento atual (S_t) é conhecido, a vazão de entrada (Q_e) é estimada pela equação 4.2 até o tempo $t+\sigma$ desejado, E é a perda de água por evaporação, que pode ser estimada pela situação do reservatório e a altura de evaporação esperada, e Q_s é a vazão de saída. O armazenamento futuro ($S_{t+\sigma}$) é a meta onde o reservatório deve estar no final do período de estiagem, por exemplo.

Desta forma, a incógnita a ser determinada é a vazão de saída (Q_s), que é calculada com base na vazão de entrada prevista e no armazenamento no tempo t (Q_t e S_t). Esta previsão de vazão permite verificar o volume disponível para gerenciar a distribuição do mesmo no perímetro.

Considerando-se que o clima regional apresenta comportamento sazonal bem definido é possível realizar uma análise determinística. Os valores das séries de vazões afluentes observadas e calculadas para o posto Frinocap, apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2, mostram claramente que as vazões vão diminuindo a partir de abril.

Villanueva et al (1987) utilizaram uma outra metodologia para determinar o coeficiente de depleção k para a bacia em estudo. Nesse trabalho, o valor de k é determinado por:

$$k_{j,j+1} = \left[\sum_{j=1}^n (Q_{i,j+1} / Q_{i,j}) \right] / n \quad (4.19)$$

onde $Q_{i,j+1}$ é a vazão observada do mês posterior ao mês j , $Q_{i,j}$ é a vazão observada do mês j e n é o número de anos.

Villanueva et al (1987) desenvolveram um ábaco relacionando vazão no rio e o volume armazenado no mês de abril, que marca o final do período chuvoso, e o número de hectares que podem ser cultivados sob irrigação para os projetos em estudo. No referido trabalho, a definição de área plantada foi puramente volumétrica e com base na demanda média. No presente estudo, a análise e o balanço são realizados mês a mês, buscando o manejo mais adequado.

No presente estudo, em um primeiro momento, adotou-se a metodologia proposta por Villanueva et al (1987), que inicia-se calculando o somatório das razões entre as vazões de um mês e o mês anterior para o período de abril a setembro. Com a série de valores observados, determinou-se os valores dos coeficientes para obter as vazões dos meses de maio a setembro, que são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia de Villanueva et al

k maio	k junho	k julho	k agosto	k setembro
0,736621	0,59415	0,520853	0,476402	0,487148

A aplicação desses coeficientes na série de vazões observadas de abril gerou uma nova série de valores de vazão para o período de estiagem, que era o objetivo pretendido. Uma análise de consistência, no entanto, mostrou que essa previsão leva a uma superestimação dos valores de vazão em 20 anos da série de 35 anos de observação. Eliminando-se do cálculo de k os valores de vazão que eram muito discrepantes do restante da amostra (anos de 1957, 1965 e 1979), foram obtidos novos valores para a constante de depleção, apresentados na Tabela 4.2.

Mesmo com essa redução de valores das constantes, a tendência de gerar valores elevados continuou, principalmente para o mês de maio, em que 13 valores da série de 35 foram mais elevados do que os realmente observados ou calculados pelo modelo chuva-vazão. Os valores gerados devem ser conservadores em relação à série observada nos 35 anos de dados hidrológicos que embasam o projeto, já que valores de previsão de vazão elevados resultariam em uma baixa segurança na sua aplicação, pois o objetivo é minimizar as perdas que ocorrerão com o manejo equivocado do reservatório. Por este motivo, realizou-se a substituição da equação prevista por Villanueva et al (1987) pelas equações 4.8, 4.9, 4.10, e 4.11.

Tabela 4.2 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia de Villanueva et al, após expurgo de dados discrepantes

k maio	k junho	k julho	k agosto	k setembro
0,689453	0,511021	0,410695	0,344298	0,323936

Os produtos entre as vazões de abril e as vazões da série existente entre os meses de abril e setembro, utilizados na metodologia proposta, são apresentados na Tabela 4.3, sendo que os novos coeficientes obtidos são apresentados na Tabela 4.4.

Com esses coeficientes, a série de vazões gerada também apresentou tendência se estimar valores elevados.

Foram, então, eliminados no ajuste os mesmos anos que apresentavam valores de vazão de períodos úmidos prolongados, estendendo-se até o mês de maio. Os novos coeficientes obtidos são apresentados na Tabela 4.5.

Com os valores de coeficientes apresentados na Tabela 4.5, obteve-se uma série de vazões geradas aceitável de acordo com o critério de obter-se uma pequena subestimação dos valores, conforme a Tabela 4.6.

Sendo considerados satisfatórios os valores de k , uma nova série de vazões afluentes foi determinada pelo uso destes coeficientes de depleção, verificando-se o comportamento da vazão no período de estiagem com base na série de 35 anos existente.

A Tabela 4.7 apresenta estes valores.

A análise dos parâmetros revela que, em média, os valores gerados são mais baixos do que os observados, assim como o somatório da série gerada é superado pelo de série observada. Este fato atende a premissa de que a série gerada deve ser conservadora para aumentar a segurança da exploração agrícola do projeto, com o que colabora a desconsideração de quaisquer precipitações na época de estio. Por outro lado, a geração de informações leva a uma maior dispersão dos valores, o que pode ser constatado pelos valores de desvio padrão, além dos valores de máximo e mínimo.

Tabela 4.3 : Valores dos produtos entre a vazão de abril e a vazão dos meses entre abril e setembro para o posto Frinocap, no rio Pípiripau, D.F.

Ano	Abril ²	abril*maio	abril*junho	abril*julho	abril*agosto	abril*setembro
1949	8,64	7,03	5,03	4,26	3,91	3,65
1950	10,96	7,91	6,79	3,61	5,96	6,85
1951	19,27	13,96	10,80	9,48	8,74	8,52
1952	19,45	12,70	10,14	9,04	4,81	9,53
1953	16,81	11,85	10,00	9,18	8,57	9,96
1954	10,05	8,24	7,13	6,59	6,15	5,74
1955	18,49	12,30	9,98	8,90	8,26	7,74
1956	10,37	10,01	8,53	7,50	6,79	6,54
1957	54,32	32,94	23,88	20,34	18,57	17,61
1958	20,79	15,91	13,32	15,23	12,59	12,72
1959	16,73	12,43	10,80	9,86	9,20	9,00
1960	32,49	21,72	16,64	14,48	13,28	12,37
1961	12,04	10,55	8,78	7,95	7,43	6,91
1962	10,76	8,36	7,18	6,59	6,43	7,94
1963	13,69	10,29	8,77	8,07	7,55	7,07
1964	20,98	15,71	11,82	10,99	9,76	8,93
1965	89,30	47,25	31,85	25,99	23,34	22,87
1966	21,07	17,63	13,31	11,57	10,56	12,81
1967	17,98	12,00	9,71	8,69	8,01	8,73
1968	26,73	17,32	12,72	10,91	10,24	11,32
1969	9,24	8,42	6,77	6,26	5,84	5,44
1970	15,44	10,81	9,08	8,29	7,78	9,51
1971	2,37	1,76	1,60	1,20	1,12	1,28
1972	17,14	10,43	8,16	7,33	5,59	4,68
1973	15,60	10,94	8,81	8,41	6,60	6,91
1974	23,91	16,24	12,18	10,87	9,73	7,63
1975	14,52	8,65	7,05	5,83	4,69	3,58
1976	5,34	3,23	3,60	2,93	3,26	3,70
1977	4,37	4,58	3,70	2,91	2,26	2,22
1978	36,60	25,41	19,97	16,94	17,42	14,94
1979	83,91	43,24	38,47	34,08	29,31	27,30
1980	43,69	32,06	26,18	23,66	21,02	18,97
1981	27,98	18,89	16,56	13,91	11,64	9,36
1982	27,04	29,38	19,81	11,23	10,19	13,16
1983	27,56	22,05	12,65	15,49	12,97	11,08
soma	575,73	390,37	302,47	263,86	240,66	238,96

Tabela 4.4 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia proposta

k(abril,maio)	k(abril,junho)	k(abril,julho)	k(abril,agosto)	k(abril,setembro)
0,68542	0,53592	0,46991	0,42146	0,41774

Tabela 4.5 : Valores do coeficiente de depleção calculados de acordo com a metodologia proposta, após expurgo dos dados discrepantes

k(abril,maio)	k(abril,junho)	k(abril,julho)	k(abril,agosto)	k(abril,setembro)
0,63322	0,50445	0,44158	0,40531	0,39512

Tabela 4.6 - Diferenças entre a vazão (m³/s) observada e a calculada

Ano	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1949	0,53	0,23	0,15	0,14	0,08
1950	0,29	0,38	(0,37)	0,46	0,76
1951	0,40	0,25	0,22	0,21	0,21
1952	0,09	0,08	0,10	(0,70)	0,42
1953	0,29	0,37	0,43	0,43	0,81
1954	0,59	0,65	0,68	0,66	0,56
1955	0,14	0,15	0,17	0,18	0,10
1956	1,07	1,03	0,91	0,80	0,76
1957	(0,20)	(0,48)	(0,49)	(0,47)	(0,52)
1958	0,60	0,62	1,33	0,91	0,99
1959	0,45	0,58	0,60	0,59	0,58
1960	0,20	0,04	0,02	0,02	(0,08)
1961	0,84	0,78	0,76	0,73	0,62
1962	0,47	0,54	0,56	0,63	1,12
1963	0,44	0,50	0,55	0,54	0,45
1964	0,53	0,27	0,38	0,27	0,14
1965	(0,98)	(1,40)	(1,42)	(1,36)	(1,31)
1966	0,93	0,58	0,49	0,44	0,98
1967	0,15	0,15	0,18	0,17	0,38
1968	0,08	(0,15)	(0,17)	(0,12)	0,15
1969	0,85	0,69	0,72	0,69	0,59
1970	0,26	0,33	0,37	0,39	0,87
1971	0,16	0,26	0,10	0,11	0,22
1972	(0,10)	(0,12)	(0,06)	(0,33)	(0,51)
1973	0,27	0,24	0,39	0,07	0,19
1974	0,23	0,02	0,06	0,01	(0,37)
1975	(0,14)	(0,07)	(0,15)	(0,31)	(0,57)
1976	(0,06)	0,39	0,25	0,47	0,69
1977	0,87	0,72	0,47	0,23	0,23
1978	0,37	0,25	0,13	0,43	0,08
1979	(1,08)	(0,42)	(0,32)	(0,51)	(0,64)
1980	0,66	0,63	0,66	0,50	0,26
1981	0,22	0,46	0,29	0,06	(0,32)
1982	2,36	1,19	(0,14)	(0,15)	0,48
1983	0,88	(0,24)	0,63	0,34	0,04
Média	0,36	0,27	0,24	0,19	0,24
Máximo	2,36	1,19	1,33	0,91	1,12
Mínimo	(1,08)	(1,40)	(1,42)	(1,36)	(1,31)

Obs: valores entre parênteses são negativos.

Tabela 4.7 – Parâmetros estatísticos das séries de vazões observadas e geradas, em m³/s

Parâmetro	Série Observada					Série Gerada				
	maio	junho	julho	agosto	setembro	maio	junho	julho	agosto	setembro
Soma	112,25	88,85	77,93	70,29	70,57	99,61	79,35	69,46	63,75	62,15
Média	3,21	2,54	2,23	2,01	2,02	2,85	2,27	1,98	1,82	1,78
Máximo	5,65	4,20	3,72	3,20	2,98	5,98	4,77	4,17	3,83	3,73
Mínimo	1,14	1,04	0,78	0,73	0,83	0,98	0,78	0,68	0,62	0,61
Desvio padrão	0,97	0,67	0,63	0,56	0,54	1,08	0,86	0,75	0,69	0,67

A comparação entre estes valores originou uma coluna de diferença entre os valores registrados e os estimados (Tabela 4.6). A média da série das diferenças (observada – calculada) é igual a 0,26 m³/s, com um desvio padrão de 0,51 m³/s.

As duas séries tiveram suas características estatísticas determinadas para verificar a alteração introduzida com a utilização da metodologia empregada. Os valores obtidos, mostrados na Tabela 4.8, confirmam a adequação da metodologia empregada.

Tabela 4.8 Parâmetros estatísticos das séries observada e gerada, em m³/s

Parâmetro	Série Observada	Série Gerada
Média	2,40	2,14
Máximo	5,65	5,98
Mínimo	0,73	0,61
Desvio Padrão	0,82	0,90

Para a série de vazões observadas de maio a setembro, o valor médio é de 2,40 m³/s, com desvio padrão de 0,82 m³/s, enquanto que para a série estimada a média é de 2,14 m³/s, com

desvio padrão de 0,90 m³/s. Esses valores mostram que a série estimada apresenta um comportamento equivalente ao da série original, mas com valores, em média, inferiores.

Como teste da qualidade dos dados gerados, aplicou-se o critério sugerido por Tucci (1998), expresso da seguinte maneira:

$$RD = 1 - \frac{\sum (Q_{i+\tau}^o - Q_{i+\tau}^c)^2}{\sum (Q_{i+\tau}^o - Q_i^o)^2} \quad (4.20)$$

onde Q^o são as vazões observadas; Q^c são vazões calculadas; o tempo i+τ é o tempo futuro onde se quer conhecer a vazão e o tempo t é o tempo do início da série de previsão, que no caso é abril. Se RD for negativo, significa que os valores calculados são piores estimativas de vazão que o vazão observado no início da série. Isto significaria que a vazão de setembro, por exemplo, deveria ser considerada igual a de abril, pois o erro cometido seria menor do que o resultante da previsão.

Por outro lado, valores próximos da unidade mostram que a diferença entre o observado e o calculado é muito pequena e o somatório dos quadrados tende a zero, mostrando uma boa previsão.

Para o presente caso, o valor de RD é igual a 0,95018 considerando-se toda a série.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, geradas com os valores de vazão observada e calculada, também demonstram uma boa relação entre as séries.

A metodologia proposta é fundamentada para o período de estiagem, cujo comportamento é adequado para um método determinístico, ao contrário do período chuvoso, onde o comportamento tem uma variabilidade maior.

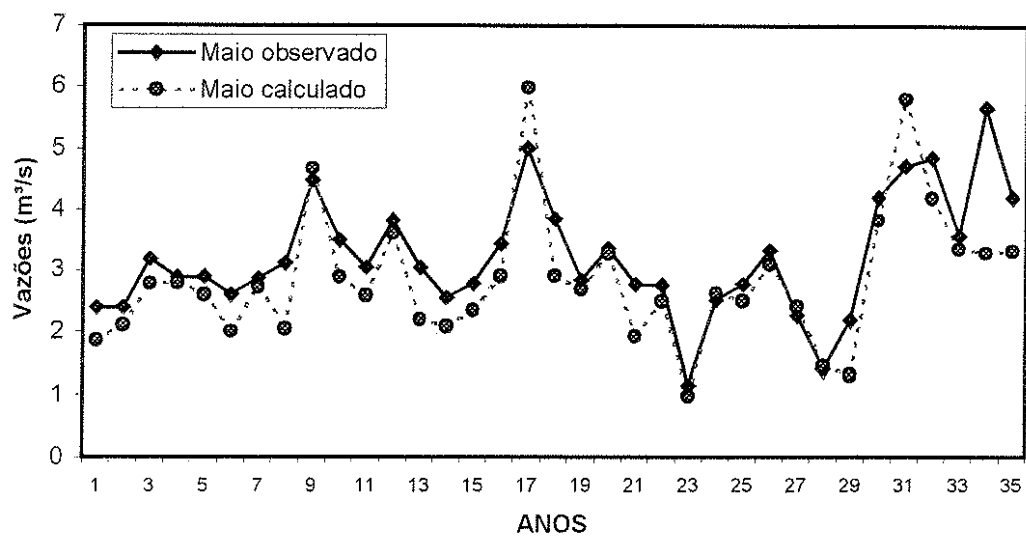


Figura 4.1 - Valores de vazão da série original do projeto (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de maio - Rio Pipiripau, posto Frinocap, D.F.

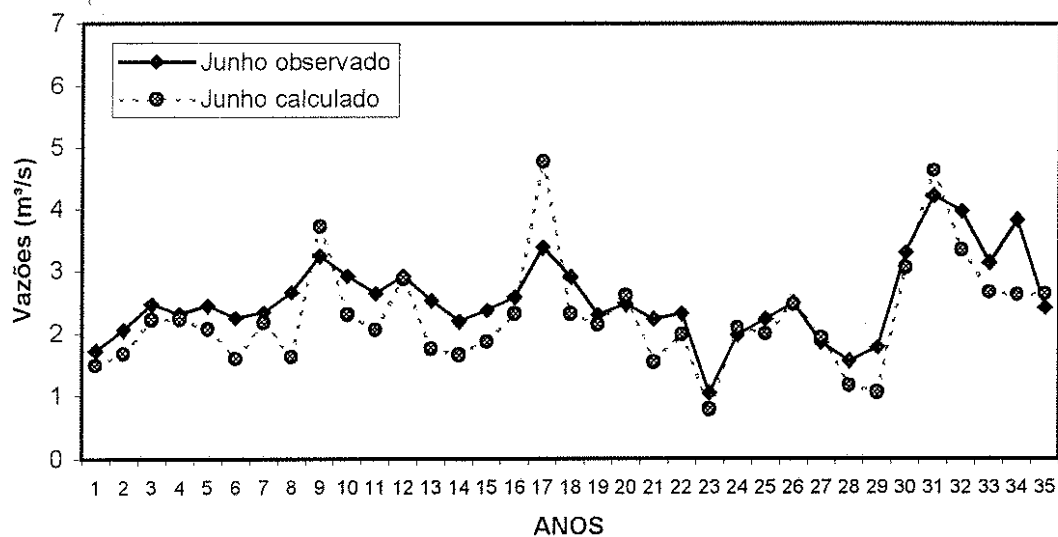


Figura 4.2 - Valores de vazão da série original do projeto (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de junho - Rio Pipiripau, posto Frinocap, D.F.

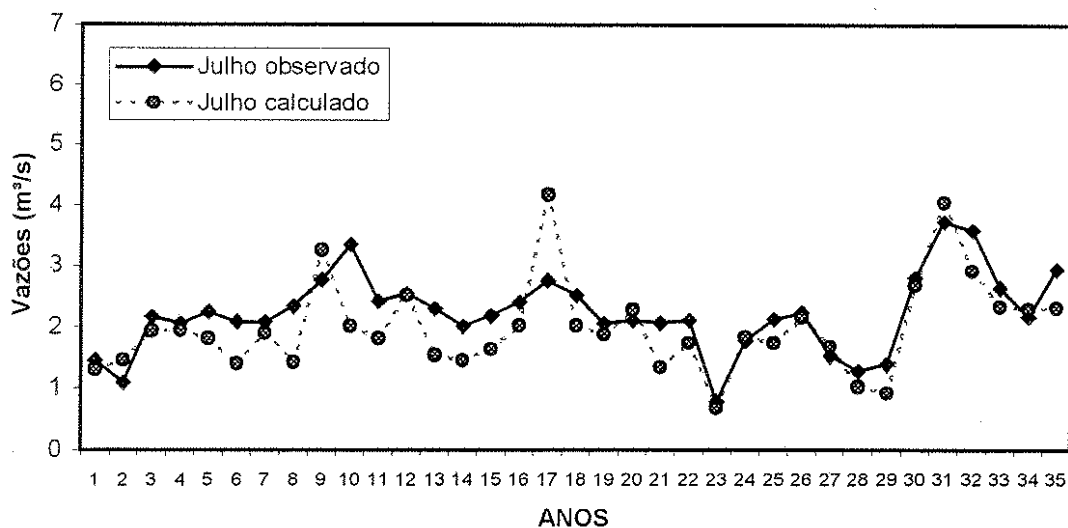


Figura 4.3 - Valores de vazão da série original do projeto (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de julho - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.

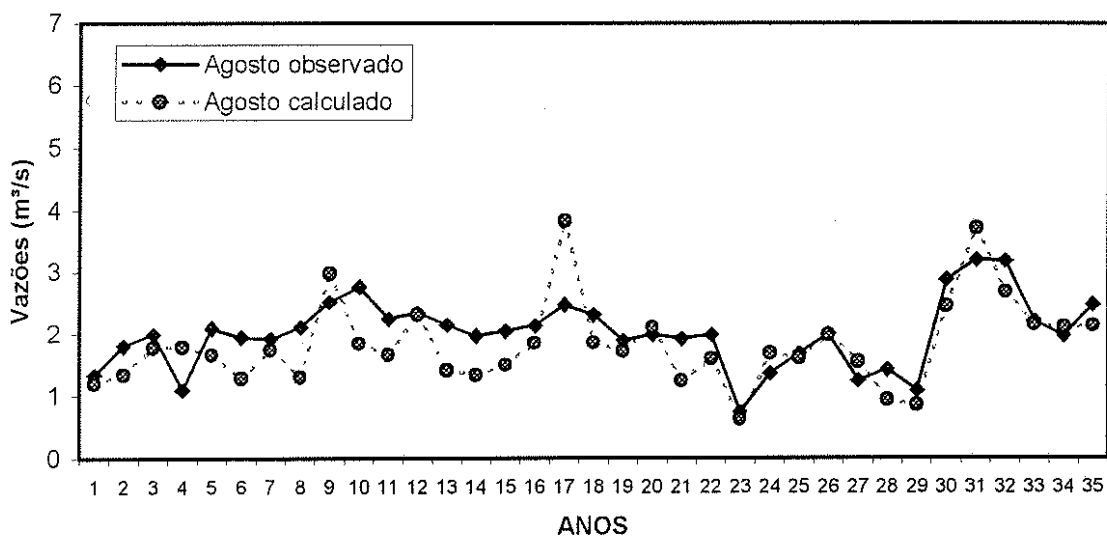


Figura 4.4 - Valores de vazão da série original do projeto (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de agosto - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.

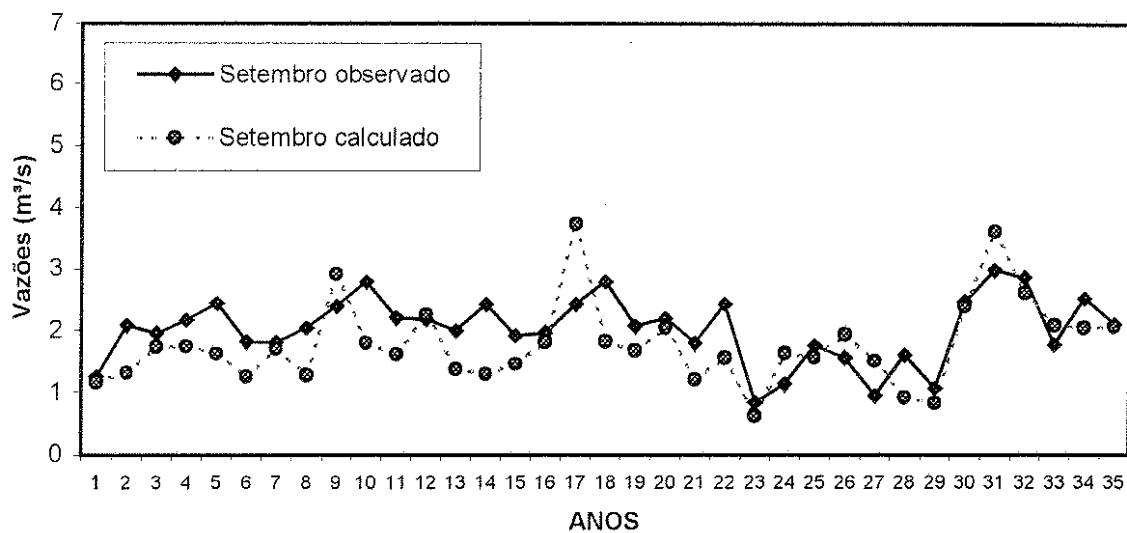


Figura 4.5 - Valores de vazão da série original do projeto (observados) e da série de previsão (calculados) para o mês de setembro - Rio Pípiripau, posto Frinocap, D.F.

CAPÍTULO 5. METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE UM PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO ATRAVÉS DE MANEJO AGRÍCOLA

O caminho percorrido para obter-se os resultados da análise pretendida nessa dissertação estabelece uma metodologia de gerenciamento de um perímetro de irrigação que possui as seguintes etapas:

- revisão do dimensionamento do reservatório – os dimensionamentos do reservatório e do perímetro são revistos pelo método de determinação do volume do reservatório por simulação, a partir da série de dados hidroclimatológicos disponíveis, calculando-se o nível de atendimento possível;
- atendimento da demanda com base na previsão de vazão – no sistema dimensionado e revisado no item anterior, é estabelecida a previsão de vazão e determinada a disponibilidade hídrica no período de estiagem antes do plantio;
- manejo da água nos períodos críticos – neste módulo é apresentada a metodologia que pode ser utilizada no manejo de irrigação nos anos em que as disponibilidades hídricas não atendem à demanda; e
- revisão do projeto – o projeto dimensionado pelos métodos clássicos é revisado quanto ao risco adotado, considerando o manejo da água nos anos críticos.

A expectativa da adoção dessa metodologia de gerenciamento é a de que seja possível assumir um risco maior na irrigação mas de forma consistente, ou seja, quando a disponibilidade hídrica é um limitante e o manejo da irrigação nos anos críticos é acompanhado de instrumentos de apoio, há a possibilidade da gerência do perímetro assumir esse risco junto aos irrigantes no planejamento da exploração agrícola.

No presente caso, o estudo partiu de séries de dados existentes e seguiu as metodologias que melhor se adaptaram a cada situação, remontando-se as rotinas de dimensionamento do reservatório, das demandas líquida e bruta de irrigação para cada período e da determinação das falhas de atendimento. De forma complementar, estudaram-se as alternativas de gerenciamento do perímetro em relação ao atendimento do plano de exploração agrícola inicialmente proposto,

as quebras do rendimento econômico ocasionado pelas falhas e determinou-se o retorno dos agricultores ao final de cada ano agrícola.

5.1 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA BRUTA DE IRRIGAÇÃO

A demanda hídrica bruta de um projeto de irrigação depende de diversos fatores, tais como:

- evapotranspiração potencial, que por sua vez depende da época do ano, já que os fatores climáticos que a determinam, como a temperatura, a umidade do ar e a insolação, entre outros, apresentam variação estacional, e do estágio de desenvolvimento das culturas. A evapotranspiração máxima é calculada pela multiplicação da evapotranspiração referencial pelo valor de k_c ;

- contribuição da precipitação;
- método de irrigação previsto; e
- área cultivada.

A evapotranspiração potencial no presente caso foi determinada pelo método preconizado por Hargreaves (ECOPLAN, 1985). Como os dados climáticos disponíveis eram valores médios mensais, foram obtidos apenas doze valores de evapotranspiração potencial, considerados fixos ao longo da série de 35 anos, conforme a Tabela 3.5.

Os valores dos coeficientes de cultivo (k_c) para as diversas culturas foram obtidos na publicação *Las necesidades de agua de los cultivos* (Doorembos e Pruitt, 1990). Para cada cultura foram estimados os valores de k_c de acordo com o seu estágio de desenvolvimento. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 5.1.

Para cada cultura e a cada mês é calculada a necessidade hídrica, entendida como o produto entre o valor da evapotranspiração potencial, o coeficiente de cultivo (k_c) e a área prevista. Inicialmente, o valor adotado para a área cultivada com cada uma das culturas é o mesmo apresentado no plano de cultivo original, que são apresentados na Tabela 3.9, de forma concentrada, e nas Tabelas 5.2 e 5.3 mês a mês. Esta necessidade hídrica poderá ser satisfeita de duas maneiras: pela precipitação efetiva ou pela irrigação. Os valores de precipitação efetiva foram apresentados anteriormente, nas Tabelas 3.10 e 3.11.

Tabela 5.1 - Valores de k_c por mês para as culturas constantes no plano de cultivo

Mês	Valores de k_c					
	cítricos	caducifólias	feijão	milho	arroz	girassol
Janeiro	0,75	0,90		1,00	1,15	
Fevereiro	0,75	0,90		0,75	0,90	
Março	0,75	0,90				
Abril	0,75	0,90				0,50
Maiο	0,75	0,90				0,70
Junho	0,75	0,90	0,80			0,85
Julho	0,75	0,90	1,15			1,15
Agosto	0,75	0,90	0,75			0,80
Setembro	0,75	0,90				0,60
Outubro	0,75	0,90		0,70	0,70	
Novembro	0,75	0,90		0,90	0,90	
Dezembro	0,75	0,90		1,15	1,15	

Tabela 5.2 - Valores de área cultivada por mês para as culturas constantes no plano de cultivo – Projeto Barbatimão, D.F.

Mês	Valores de áreas cultivadas (ha)					
	cítricos	caducifólias	feijão	milho	arroz	girassol
Janeiro	160	160		1.040	240	
Fevereiro	160	160		1.040	240	
Março	160	160				
Abril	160	160				240
Maiο	160	160				240
Junho	160	160	1.040			240
Julho	160	160	1.040			240
Agosto	160	160	1.040			240
Setembro	160	160				240
Outubro	160	160		1.040	240	
Novembro	160	160		1.040	240	
Dezembro	160	160		1.040	240	

Pode-se calcular, portanto, o volume necessário de irrigação, descontando-se do total necessário o valor da precipitação efetiva, de acordo com a expressão:

$$NLI = \Sigma ((ET_o \cdot k_c) - PE_m) \cdot A_c \quad (5.1)$$

onde NLI é a necessidade líquida de irrigação; ET_o é a evapotranspiração de referência para o mês m ; PE_m é a precipitação efetiva no mês m ; k_c é o coeficiente de cultivo para o período considerado; e A_c é a área ocupada pela cultura c .

Com o objetivo de uma aproximação mais exata da situação real que ocorre nas unidades de irrigação, é necessário considerar as perdas de água que se registram na condução e na distribuição. A deficiência operacional dos perímetros irrigados depende, entre outros fatores, do tipo de canais de irrigação (revestidos ou não), das características dos canais (perímetro molhado, comprimento, declividade), do tipo de estruturas de controle na distribuição, da existência ou não de reservatórios de regularização e da estrutura de controle de nível nos canais de irrigação e outros fatores adicionais que podem incidir nestas perdas. É possível afirmar que, em determinadas circunstâncias, pode ser adotada uma eficiência de condução e distribuição única para o perímetro irrigado e, em outros casos, será necessário estabelecer eficiências diferenciadas, segundo o caso, no nível de canal, seção ou zona de irrigação, de acordo com a setorização do perímetro.

Tabela 5.3 - Valores de área cultivada por mês para as culturas constantes no plano de cultivo – Projeto Barro Preto, D.F.

Mês	Valores de áreas cultivadas (ha)			
	cítricos	caducifólias	feijão	milho
Janeiro	52	52		416
Fevereiro	52	52		416
Março	52	52		
Abril	52	52		
Maiο	52	52		
Junho	52	52	416	
Julho	52	52	416	
Agosto	52	52	416	
Setembro	52	52		
Outubro	52	52		416
Novembro	52	52		416
Dezembro	52	52		416

Desta forma, o valor necessário a ser repostado pela irrigação é determinado pela demanda de água mensal do perímetro irrigado ou canal, dividida pela eficiência, sempre menor que a unidade, resultando em um acréscimo no valor inicialmente calculado, de acordo com a expressão:

$$NBI = NLI/\eta, \quad (5.2)$$

onde NBI é a necessidade bruta de irrigação e η é a eficiência total considerada.

Para as áreas em estudo, o projeto original pressupõe uma eficiência total de 45%, englobando aí a eficiência de distribuição e a de aplicação, o que é compatível com os dados encontrados na bibliografia, considerando-se o método de irrigação por sulcos e a distribuição por canais.

Como o projeto apresentava uma probabilidade de falha de atendimento, as culturas foram hierarquizadas, conforme a Tabela 5.4, de forma a assegurar-se a irrigação das lavouras ou pomares que possibilitariam o maior retorno econômico, ou, por outro lado, garantir o atendimento prioritário das culturas de ciclo longo. Já a seleção dos cítricos como cultura de maior prioridade em relação às caducifólias foi realizada de forma aleatória.

Tabela 5.4 - Prioridade de atendimento das culturas propostas

Culturas	Prioridade
cítricos	1
caducifólias	2
feijão	3
milho	4
arroz	5
girassol	6

Para o presente caso, como o tipo de manejo não foi citado no relatório de projeto, considerou-se que o projeto seria de demanda livre, conforme a maioria dos projetos instalados no País.

5.2 DETERMINAÇÃO DAS FALHAS DE ATENDIMENTO

A demanda hídrica de um projeto abastecido por um reservatório influencia o volume armazenado ao final de cada mês. O volume disponível nos reservatórios pode ser determinado pelo método de simulação baseado na equação da continuidade para reservatórios, conforme já descrito, mas repetido abaixo para facilidade de entendimento.

$$S_{j+1} = S_j + Q_j + P \cdot Ar(St) - A \cdot d_j - Ar(Sm) \cdot E_j \quad (5.3)$$

onde S_j e S_{j+1} são os volumes no início e no fim do mês considerado, em m^3 ; Q_j é a vazão afluente no mês j em volume (m^3); P é a precipitação, em m ; $Ar(St)$ é a área da superfície do lago no início do período, em m^2 ; A é a área de efetivo plantio, em ha ; d_j é a necessidade bruta de água mensal para irrigação, em m^3/ha ; $Ar(Sm)$ é a área média da superfície do lago, considerando o início e o fim do mês considerado, em m^2 ; e E_j é a evaporação média do mês, em m .

Quando os planos de exploração agrícola contemplam diversas culturas, o valor de $A \cdot d_j$ é obtido pelo somatório do produto da área prevista pela evapotranspiração potencial para cada cultura.

A aplicação do método de simulação possibilita a determinação das falhas de atendimento. O reservatório foi considerado como cheio no começo do período, utilizando os valores de volume máximo expressos na documentação de projeto.

Os valores de superfície líquida são obtidos a partir do volume armazenado no começo do mês, que é lançado na curva de cota-volume, resultando no valor da cota da água no reservatório. O valor da cota é o dado de entrada na curva cota-área, de onde resulta o valor da superfície líquida exposta.

O mesmo valor de área é utilizado para calcular a perda por evaporação direta do lago.

A soma do volume inicial, da vazão afluente e da precipitação direta sobre o reservatório, descontando-se a evaporação, é comparada com a capacidade máxima do reservatório. Sendo superior a este valor, o reservatório apresentará um extravazamento e o volume disponível será o volume máximo.

A partir do volume disponível para irrigação a cada mês, observa-se o comportamento do reservatório em relação à demanda das culturas. A demanda das culturas é obtida com o

somatório dos produtos da evapotranspiração potencial, dos coeficientes de cultura e das áreas previstas. Desta demanda, é retirado o valor referente à precipitação efetiva. Sendo o saldo um valor positivo, este será a demanda líquida de irrigação, que dividido pela eficiência total, resultará na demanda bruta de irrigação. Considera-se, na simulação, que os irrigantes só devem irrigar quando houver deficiência de água no solo.

Do volume disponível no reservatório são retirados os volumes de irrigação necessários para atender plenamente a evapotranspiração potencial das culturas, obedecendo a hierarquização estabelecida e os volumes perdidos por evaporação direta do lago. Havendo uma situação de não atendimento, computa-se uma falha.

As falhas observadas nos períodos mensal, semestral e anual são *qualificadas* de acordo com seu efeito no rendimento das culturas, de acordo com o descrito a seguir. Por esse raciocínio, a falha agora não é mais computada apenas como um período temporal em que a demanda não foi atendida, mas qual o efeito da falha no objetivo final da exploração agrícola.

Acompanhando o raciocínio das falhas qualificadas, determina-se a falha volumétrica do reservatório e a falha temporal, considerando o número de meses, semestres e de anos envolvidos. Na definição do período anual, adota-se o conceito de ano hidrológico, sendo o começo do ano coincidente com o início do período seco. Para cada semestre em que houver redução de produtividade, contabiliza-se uma falha, procedimento também adotado para o período anual. A falha volumétrica é determinada pela diferença entre o volume necessário para atender as necessidades plenas das culturas e a soma do volume reservado, dividido pela eficiência de irrigação (45%), e do volume da precipitação efetiva sobre a área cultivada. Por fim, determina-se a falha em percentual, dividindo-se a diferença entre a necessidade de irrigação e o volume fornecido pela necessidade de irrigação. Os complementos destas falhas, isto é, as garantias de atendimento, também são determinados.

5.3 DETERMINAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NAS RECEITAS DOS PRODUTORES

Quando não há volume suficiente para atender a uma determinada cultura, deve ser calculada a redução de produção. Neste caso, adotou-se a metodologia de Doorembos e Kasam (1988), utilizando-se como suprimento o volume restante no reservatório, até que este atinja um valor mínimo, em que a disponibilidade para irrigação fosse nula. A partir deste momento, todas as outras culturas subsequentes na ordem estabelecida terão suas necessidades atendidas

parcialmente pela precipitação efetiva, se esta existir. Para todo mês em que houver redução de produção em qualquer das culturas, considera-se uma falha qualificada de atendimento. Quando a evapotranspiração real for inferior a 50% da evapotranspiração potencial, o valor da produtividade será anulado, seguindo a expressão 2.13.

Com o cálculo da redução de produtividade, é possível determinar a produtividade prevista para cada cultura, de acordo com o grau de atendimento das necessidades de evapotranspiração. Multiplicando-se essa produtividade pelo valor da produção, obtém-se a renda de cada cultura.

Os valores de k_y , que é o fator de resposta da cultura à deficiência de um insumo, no caso a água, foram obtidos na bibliografia consultada e são apresentados na Tabela 5.5. No objeto de pesquisa, destacam-se as culturas de arroz e de girassol, onde uma deficiência de água, ou, de outra forma, uma deficiência de evapotranspiração, causa uma redução de produtividade proporcional de 80% desta deficiência. O arroz é cultivado no período chuvoso, assim como o milho, sendo que grande parte de sua necessidade é suprida pela precipitação efetiva. O feijão e o milho apresentam uma maior resistência à seca, apresentando valores de k_y de 0,20 e 0,30, respectivamente. Como o milho é previsto para ser implantado no período chuvoso, a redução esperada de sua produtividade, no caso de deficiência hídrica causada pela ausência de irrigação, é menor do que a do feijão, apesar do valor de k_y ser maior. No feijão, as reduções de produtividade não são tão sentidas para deficiências hídricas parciais em virtude do baixo valor de k_y , que faz com que grandes reduções na taxa de evapotranspiração não tenham reflexos de mesma intensidade na produtividade. As frutíferas têm uma média sensibilidade à falta de água. Os valores de k_y foram considerados constantes ao longo de todo o ciclo das culturas.

Tabela 5.5 – Valores dos coeficientes k_y das culturas selecionadas (Doorembos e Kasam, 1988)

Cultura	k_y
Cítricos	0,45
Caducifólias	0,45
Feijão	0,20
Milho	0,30
Arroz	0,80
Girassol	0,80

5.4 MANEJO DA ÁGUA EM PERÍODO CRÍTICO

A partir da constatação de que ocorrem falhas no atendimento à irrigação, nasce a necessidade de estabelecer-se uma programação para o manejo de água nos períodos críticos de disponibilidade hídrica, que poderão ser identificados pela previsão de falhas conforme descrito acima.

O manejo de água em perímetros irrigados projetados para serem gerenciados por um sistema previamente escolhido segue uma rotina própria, definida pelo órgão gestor em conjunto com os irrigantes. Assim, se o manejo de água é baseado em um Plano de Cultivo e Irrigação e não há disponibilidade hídrica suficiente para atendê-lo é necessário alterar-se este plano, seja mudando as áreas e mantendo-se as culturas, seja mudando o elenco de culturas e buscando manter a área irrigada total do perímetro, ou, ainda, alterando-se tanto o elenco quanto a área total.

Se o manejo da irrigação é baseado apenas na solicitação dos irrigantes, o órgão gestor da distribuição de água deve estabelecer um volume útil a ser distribuído, evitando que os agricultores cultivem uma área superior à capacidade de atendimento do reservatório a cada safra.

Quando o manejo da irrigação é baseado em um turno rígido, o órgão gestor deverá ter condições de, antes da época de plantio, informar aos irrigantes qual será a vazão distribuída em cada canal, valor este que será obtido com a previsão de volume útil.

De qualquer forma, é necessário conhecer-se a capacidade de irrigação do perímetro em uma época oportuna. Pelo exame da expressão 5.3, é necessário harmonizar-se os termos a partir da manipulação dos valores de A e d_j , e, a partir destes, analisar os efeitos dos valores adotados.

A simulação, então, passa a buscar os valores adequados de área e de elenco cultural, tendo como conseqüência a obtenção de novos valores de demanda. O parâmetro selecionado de avaliação das alternativas pode ser o de retorno financeiro da totalidade do perímetro.

Como o elenco cultural proposto inicialmente é resultado de estudos edafoclimáticos e econômicos, este pode ser mantido nestas simulações, alterando-se apenas as áreas de cada cultivo. Pode-se adotar uma hierarquização das culturas dentro do plano, de modo que mantenha-se coerência desta proposição, principalmente se são previstas áreas expressivas de culturas de ciclo longo, que não poderiam, pelo elevado valor de produção, serem relegadas a um segundo

plano na definição de quais áreas seriam irrigadas, pois isto poderia significar a morte das árvores implantadas.

Definida a hierarquização das culturas, o volume inicial e as previsões dos valores de vazão afluente, precipitação efetiva e evaporação, parte-se para a verificação da possibilidade de atendimento do plano proposto, mês a mês. Em caso de pleno atendimento em um determinado mês, passa-se para o mês seguinte até completar o período de estiagem. No caso de falha, entende-se que o plano proposto é inadequado e nova alternativa deverá ser proposta.

5.5 REAVALIAÇÃO DO RISCO E A DIMENSÃO DO PROJETO

A determinação do volume disponível ao longo do horizonte de vida do projeto pode ser realizada de duas maneiras distintas:

- considerando que sempre que houver necessidade de complementação do suprimento hídrico será realizada a irrigação. Isto tem como implicação que, em alguns anos mais secos, a irrigação será realizada em meses que não estão no período histórico de estiagem;

- considerando que apenas as culturas implantadas nos meses de estiagem serão irrigadas, com exceção das culturas de ciclo longo, que serão atendidas durante todo o período. Esta definição pode ser adotada para proteger os investimentos necessários para implantar e manter um pomar de frutíferas, cujo retorno não pode ser perdido em função de deficiência hídrica, por tratar-se de um perímetro de irrigação.

Realizando o balanço estipulado na equação 5.3, podem ser obtidas duas determinações distintas, dependendo do enfoque da análise. Mantendo a área de cultivo conforme projetada, descobre-se o volume disponível a cada final de mês. Quando este valor é inferior a um mínimo relacionado com a curva cota-volume, tem-se uma situação de não atendimento da demanda, isto é, uma falha. Se o valor for superior a este mínimo, prossegue-se a análise sem anotar as falhas. Esta avaliação é realizada para estabelecer o número de falhas e calcular o volume de água que seria necessário para atender a área cultivada.

O outro enfoque possível é o de determinar qual a área irrigada possível de ser atendida a cada mês com o volume armazenado, o perdido por evaporação, a vazão afluente e a contribuição da precipitação efetiva. Este enfoque é o utilizado para a estimativa de área a ser

cultivada, que também utiliza previsão de vazão afluyente e de valores de evaporação e de precipitação.

Os valores obtidos nas simulações feitas conforme salientado acima revelarão se há uma discrepância entre os efeitos da análise hidrológica, com falhas volumétricas de pequena expressão, e os efeitos na produção agrícola, razão de ser do projeto.

Neste ponto, devem ser definidas as combinações de hipóteses que foram formuladas no presente caso:

- I. irrigando toda a área cultivada durante todo o ano;
- II. irrigando apenas as áreas cultivadas no período de estiagem;
- III. irrigando algumas culturas no período do estio;
- IV. previsão de vazão e manejo anual a partir de abril.

A diferença entre as três primeiras alternativas e a última é a seguinte: a operação de atendimento é fixa sem previsão antecipada da ocorrência ou disponibilidade de vazões. Na última, o manejo é estabelecido em abril em função da disponibilidade hídrica projetada para o futuro, resultado do volume armazenado, da perda por evaporação e da previsão de vazão. É importante salientar que a previsão de vazão é utilizada apenas para decidir qual área plantar, mas a série de vazões utilizada para verificar todos os casos é a observada, ou, de outra forma, é a constante do projeto original.

Desta forma, existem três alternativas possíveis de analisar-se o projeto, de acordo com o grau de liberdade dado aos agricultores, já que este poderá opor-se a uma mudança no plano de ocupação da sua gleba.

Das alternativas, a primeira não envolve nenhum tipo de previsão, já que apenas analisa o efeito da aplicação de um balanço de reservatório sobre o plano de cultivo proposto. O mérito desta alternativa é a qualificação das falhas, passando da visão hidrológica para a da produção agrícola, objetivo final da existência do reservatório.

A segunda alternativa propõe uma mudança no cenário do sistema, privilegiando a produção do período de estiagem.

A terceira alternativa possibilita verificar o efeito de uma redução de área irrigada, onde são selecionadas as culturas que deverão ser preservadas e quais deverão ser eliminadas

A quarta alternativa propõe um novo plano de cultivo, alterando as áreas para valores mais apropriados, tendo em vista as conclusões obtidas nas análises anteriores. O objetivo desta alternativa é o de verificar o efeito de uma proposta que, certamente, reduzirá as áreas de cultivo, buscando preservar os rendimentos agrícolas. É a mais flexível, pois além de utilizar a simulação para previsão de áreas, utiliza também este instrumento para definir áreas de cultivos, maximizando o uso da água, ano a ano. Esta alternativa é a indicada como sendo a ideal e a que realmente possibilita o gerenciamento da irrigação do projeto em tempo real, já que as outras alternativas administram apenas as dificuldades geradas pela deficiência de água que surgirão durante a época de estio, já que não foi realizada nenhuma previsão.

5.6 MANEJO OPERACIONAL DO RESERVATÓRIO

O processo de cálculo tem por base o método de simulação para determinação do volume de um reservatório, combinado com o cálculo da evapotranspiração real de uma cultura e da redução da produtividade causada pelo não atendimento da necessidade hídrica.

No início de cada mês, são conhecidos: os valores de armazenamento do reservatório e a vazão afluente (obtida por previsão, na alternativa IV, ou da série observada, nas alternativas I, II e III), as estimativas de evaporação direta do lago, de evapotranspiração potencial, de precipitação efetiva e os valores máximos e mínimos de armazenamento que podem ocorrer, a intenção de área a ser cultivada, os coeficientes culturais para cálculo da evapotranspiração real e os coeficientes de redução da produtividade, as estimativas dos valores de venda dos produtos, do custo de produção e da produtividade a ser alcançada. É conhecida, também, a relação entre as cotas, os volumes e as áreas expostas à evaporação direta do reservatório e a eficiência de distribuição de água.

Tomando-se, para exemplo, um mês qualquer da série de valores observados: junho de 1950, para a alternativa de irrigação de toda a área planejada durante todo o ano. O volume inicial do reservatório é igual a $5.324.673 \text{ m}^3$, que é o saldo resultante do mês de maio de 1950. A vazão afluente (observada) no Posto Frinocap é igual a $1,739 \text{ m}^3/\text{s}$, o que multiplicado por 2.592.000 segundos do mês de junho e pela relação de áreas entre as bacias (0,095), é igual a um aporte de 428.204 m^3 . A precipitação observada é nula, sendo também nula a precipitação

efetiva. A evaporação média para junho é igual a 138 mm e a evapotranspiração potencial é igual a 83 mm. Para o mês de junho, estão previstos 160 ha de cítricos, 160 ha de caducifólias, 1.040 ha de feijão e 240 ha de girassol. Os valores de k_c são 0,75 (cítricos), 0,9 (caducifólias), 0,8 (fase inicial do feijão) e 0,85 (fase média do girassol), enquanto que os de k_y são 0,45, 0,45, 0,2 e 0,8, respectivamente.

Para o mês de maio, a área média exposta do reservatório é igual a 1.227.200 m², que multiplicados por 124 mm, resulta em uma perda por evaporação de 152.173 m³ e um volume útil para junho de 5.172.500 m³. Soma-se ao valor resultante de volume a vazão afluente no mês, obtendo-se um valor de volume disponível de 5.600.704 m³.

Como forma de estimar a retirada por evaporação no próprio mês corrente, adotou-se o valor de área relacionado com o volume inicial (volume residual + vazão afluente – evaporação direta no lago no mês anterior). Com este valor de área (1.148.397 m²), calculou-se uma área média com o valor de área no final de maio (1.239.673 m²), obtendo-se um valor de 1.194.035 m². Para essa área e uma evaporação prevista para junho de 138 mm, resulta em uma perda de 164.777 m³. O novo volume disponível, portanto, passa a ser igual a 5.435.927 m³.

Com este volume será realizada a irrigação das culturas, de acordo com a hierarquia estabelecida. A primeira cultura é a dos cítricos: área = 160 ha, $k_c = 0,75$. Para uma evapotranspiração de 83 mm, o volume necessário é igual a 99.600 m³. Desta necessidade, desconta-se a precipitação efetiva, que no caso é nula. O valor resultante é a necessidade de água a ser fornecida pela irrigação, devendo ser corrigido pela eficiência de distribuição (0,45). O novo valor (221.333,33 m³) será retirado do reservatório, se houver esta disponibilidade.

Sendo o volume disponível (5.435.927 m³) superior à demanda (221.333,33 m³), a evapotranspiração potencial dos cítricos é atendida, transformando-se em evapotranspiração real. O cálculo de redução de produção resulta em um valor nulo, ou seja, a produtividade esperada será atingida.

O saldo de volume será a disponibilidade para as caducifólias e assim por diante. Para o mês de junho de 1950, o volume necessário total para irrigação é de 2.397.778 m³. Retirando-se este valor do volume disponível, obtém-se um saldo do mês de junho igual a 3.038.149 m³. Deste valor será descontado o valor final da evaporação de junho e somado o valor da vazão afluente do mês de julho e (se houver) a contribuição prevista da precipitação direta sobre o reservatório durante o mês de julho.

Para todos os valores de volume final, são aplicadas as duas condições de contorno do reservatório: o volume não pode ser inferior ao mínimo estabelecido e nem superior ao valor máximo permitido.

Em uma primeira etapa da análise, verificou-se o comportamento dos projetos tal como concebidos. Para tanto, foi elaborada uma planilha de cálculo onde foram lançados os dados disponíveis, como vazões observadas no posto selecionado e as calculadas para a seção de barramento, a precipitação e a evaporação observadas no mesmo período das vazões, as relações entre cotas e volumes do reservatório, as áreas das culturas conforme o modelo de produção preconizado, o valor da evapotranspiração potencial, a estimativa e o custo de produção das culturas selecionadas. Posteriormente, foram analisadas as quatro possibilidades básicas de cenário concebidas.

As falhas observadas, tanto em termos de volume como de eventos, foram somadas e comparadas com os valores previstos. São apresentados, para cada cenário, os resultados quanto à deficiência hídrica média, obtido com o volume total fornecido e o volume necessário para atendimento pleno da evapotranspiração das culturas, e as falhas mensais, semestrais e anuais. Também é apresentada a falha máxima anual observada em termos de volume. Estes valores são apresentados apenas em forma de texto.

5.6.1 Projeto Barbatimão

De acordo com o plano agrícola apresentado, as culturas podem ser divididas em três tipos:

- a) culturas perenes, representadas pelos cítricos e pelas caducifólias;
- b) culturas anuais de “verão”, coincidentes com a época chuvosa, que são o arroz e o milho, semeados a partir de outubro e colhidos até fevereiro; e
- c) culturas anuais de “inverno”, que é a época seca, que são o feijão e o girassol, semeados a partir de abril e colhidos em setembro.

Conforme já estipulado, as culturas perenes têm prioridade no atendimento, tendo em vista o seu alto custo de implantação e seu maior retorno financeiro.

O valor da produção previsto foi obtido pela soma dos produtos da área, produtividade e valor de venda do produto recebido pelo produtor, considerando-se uma produção plena, já que o

plano agrícola disponível no projeto não refere-se a quebras. O valor de margem de produção é definido como a diferença existente entre o valor da produção obtida e o custo de produção. Para não penalizar as simulações sem previsão, o custo de produção é contabilizado até que ocorra a primeira falha, já que o valor da produção a cada ano é calculado também em função destas falhas. O custo de produção foi considerado de forma linear, sendo o valor total anual previsto dividido pelo número de meses de cultivo de cada uma das culturas. O custo de produção anual máximo é o referente a uma safra sem falhas de atendimento e sem redução de produtividade.

- Situação projetada

A Tabela 5.6 resume os valores utilizados na análise econômica para o período total de 35 anos. Foram considerados os valores estabilizados de produção.

Tabela 5.6 - Custos, produtividade e renda prevista para os planos de exploração agrícola do Projeto Barbatimão

Cultura	Cítricos	Caducifólias	Feijão	Milho	Arroz	Girassol	Total
Número de anos até estabilização	6	5	-	-	-	-	
Custo de Produção Anual Máximo (US\$/ha)	2.185,00	9.740,00	695,0	631,1	315,55	315,55	
Produtividade estabilizada (t/ha)	28,0	32,0	1,8	5,0	2,5	1,8	
Valor unitário estimado (US\$/kg)	0,26	0,831	0,674	0,18	0,25	0,25	
Valor Máximo da Produção Anual (US\$/ha)	7.252	26.592	1.213	900	625	450	
Margem de Produção Máxima Anual (US\$/ha)	5.067	16.852	518	269	309	134	
Custo inicial sem retorno (US\$/ha)	1.478	12.919					
Renda líquida estimada para 35 anos (1000US\$/ha)	177,3	589,8	18,13	9,42	10,82	4,69	
Área plantada em 35 anos (ha)	160	160	36.400	36.400	8.400	8.400	
Receita líquida estimada total (1.000 US\$)	28.368	94.368	659.932	342.888	90.888	39.396	1.255.840

Em termos de receita bruta total ao longo de 35 anos de simulação, sem considerar os custos de produção, os valores obtidos seriam os apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Renda bruta projetada para o Projeto Barbatimão, D.F. (35 anos)

Culturas	Renda Projetada (US\$)
Cítricos	40.611.200
Caducifólias	148.915.200
Feijão	44.160.480
Milho	32.578.000
Arroz	5.250.000
Girassol	3.780.000
Total	275.294.880

- Cenário I - Projeto

Na primeira fase de operação do reservatório, onde não foi realizada a previsão de vazão, o perímetro foi manejado com os dados de projeto, isto é, respeitando-se a totalidade do programa de cultivo indicado, com área total de 1600 hectares, que é a primeira possibilidade de manejo.

Para ter-se um balizamento do comportamento do sistema, se todos os agricultores desejassem irrigar todas as culturas quando necessário, buscando otimizar suas receitas, os resultados obtidos seriam os apresentados na Tabela 5.8.

Com este cenário, o reservatório apresenta o comportamento demonstrado na Tabela 5.9.

Verifica-se que o plano agrícola proposto para ser implantado neste perímetro irrigado não permite a irrigação da totalidade da área em todo o período analisado, o que restringe o rol de possibilidades dos agricultores.

Tabela 5.8 – Resultados obtidos no cenário I em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão, D.F.

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	40.611	29.761	73,28%	10.312	19.449
Caducifólias	148.915	28.781	19,33%	29.219	-438
Feijão	44.160	12.043	27,27%	21.669	-9.626
Milho	32.578	15.320	47,03%	13.783	1.537
Arroz	3.759	2.589	68,88%	1.590	999
Girassol	2.255	354	15,71%	1.981	-1.627
Total	272.278	88.849	32,60%	78.555	10.294

¹- Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Tabela 5.9 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário I - Projeto Barbatimão, D.F.

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	1	3
Fevereiro	2	4
Março	0	7
Abril	0	6
Mai	1	0
Junho	4	0
Julho	14	0
Agosto	29	0
Setembro	29	0
Outubro	13	0
Novembro	5	0
Dezembro	1	0
Total	99	20

A irrigação de todas as culturas prejudica as culturas do período de estiagem (feijão e girassol), além das caducifólias, que necessitam de atendimento durante todo o ano e tem menor prioridade do que os cítricos. Apenas a cultura dos cítricos tem resultado positivo. Para as demais, o retorno obtido não permite cobrir os custos de produção, se as lavouras fossem mantidas por todo o tempo.

O comportamento do reservatório mostra poucos eventos de cheia (20) e uma participação significativa das ocasiões em que o reservatório apresenta-se vazio. Em apenas seis anos não haveria o esvaziamento do reservatório nos meses de agosto e setembro.

As falhas de abastecimento de água para irrigação observadas seriam de 14,73% em termos médios anuais, considerando-se o volume necessário para a irrigação e o realmente fornecido. A falha máxima observada em termos de volume é de 95,43% em um único ano. As falhas temporais encontradas foram iguais a 94,29% em termos anuais, 72,86% em termos semestrais e 25,48% em termos mensais.

A receita tem um comportamento muito distinto da falha volumétrica, sendo que o perímetro apresenta uma receita de 32,6% do valor projetado inicialmente, ou uma falha de 67,4% em termos de receita, o que é uma diferença significativa de valor em relação às falhas médias em volume (14,73%) e em termos mensais (25,48%).

Para o plano de exploração agrícola proposto, ao longo de 35 anos seriam necessários 476.883.400 m³ (já descontada a precipitação efetiva) e há a deficiência de 59.327.533 m³, o que corresponde a 12,44% do volume necessário, ocorrendo falhas em 107 meses.

- Cenário II

A partir dos resultados do primeiro cenário, reavaliou-se a aplicação do plano agrícola, adotando-se a eliminação do atendimento das culturas do milho e do arroz da prática de irrigação, já que estas são implantadas no período chuvoso, configurando a segunda hipótese de manejo. Os novos resultados são os apresentados na Tabela 5.10.

Em relação ao reservatório, na maior parte dos anos este apresenta volume nulo em no mínimo um mês. Isto ocorre principalmente em agosto e setembro, conforme a distribuição apresentada na Tabela 5.11.

Tabela 5.10 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário II em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	40.611	26.552	65,38%	9.788	16.764
Caducifólias	148.915	28.894	19,40%	30.517	-1.623
Feijão	44.160	14.486	32,80%	23.114	-8.628
Milho	32.578	6.287	19,30%	10.895	-4.609
Arroz	3.759	1.082	28,78%	1.242	-160
Girassol	2.255	354	15,71%	2.133	-1.778
Total	272.278	77.655	28.06%	77.689	-34

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Tabela 5.11 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário II - Projeto Barbatimão

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	4
Fevereiro	0	8
Março	0	9
Abril	0	8
Maio	0	0
Junho	0	0
Julho	7	0
Agosto	28	0
Setembro	29	0
Outubro	4	0
Novembro	1	0
Dezembro	0	0
Total	69	29

Observa-se um pior desempenho dos cítricos e um melhor desempenho das culturas das caducifólias e do feijão, demonstrado pelos valores da renda obtida, mas um resultado pior de todas estas culturas em relação à margem de produção. Essa situação ocorreu porque as caducifólias e o feijão passaram a receber a água que antes estava sendo destinada para o milho e

o arroz. Desta forma, no início do período de estiagem, o volume reservado é maior do que antes e as caducifólias e o feijão passam a consumir água com maior frequência, depois que os cítricos foram atendidos. Dentro do período de estiagem, o feijão tem um ciclo mais curto (3 meses) e uma área muito elevada (1.040 ha). Como houve um maior consumo de água por essa cultura, é natural que se observe um decréscimo no valor do volume disponível para os cítricos, causado principalmente pelo não atendimento nos meses de agosto e setembro. O milho e o arroz apresentam uma baixa significativa na sua produção, também afetando o desempenho global, que teve um decréscimo de 12,6% em relação ao plano original.

Da série de 35 anos, ocorre o esvaziamento do reservatório em 28 anos no mês de agosto e 29 no mês de setembro. Os meses do período chuvoso não apresentam falhas do reservatório, reforçando a escolha do mês de abril como início do ano para simulação. O reservatório passa a verter nos meses de janeiro a abril, com 29 eventos de cheia nos 35 anos.

Pelos dados apresentados para o estio, verifica-se que a demanda foi estabelecida para explorar ao máximo a água acumulada, prevendo ainda que em alguns meses poderia haver a deficiência no fornecimento de água para a irrigação, utilizando um valor aceitável de falha. Para encontrar este valor, foram calculadas as falhas temporais e volumétricas do projeto conforme entregue.

As falhas de abastecimento de água para irrigação observadas seriam de 9,36% em termos médios anuais, considerando-se o volume necessário para a irrigação e o realmente fornecido. A falha máxima observada em termos de volume é de 97,57% em um único ano. As falhas temporais encontradas foram iguais a 91,43% em termos anuais, 52,86% em termos semestrais e 17,14% em termos mensais.

A receita tem um comportamento muito distinto da falha volumétrica, sendo que o perímetro apresenta uma receita de 28,06% do valor projetado inicialmente, ou uma falha de 71,94% em termos de receita, o que é uma diferença significativa de valor em relação às falhas médias em volume (9,36%) e em termos mensais (17,14%).

Para o plano de exploração agrícola proposto, ao longo de 35 anos seriam necessários 241.504.200 m³ (já descontada a precipitação efetiva) e há a deficiência de 33.351.000 m³, o que corresponde a 13,81% do volume necessário, ocorrendo falhas em 72 meses.

Desta forma, os valores médios e gerais levam a uma idéia errônea do que ocorre com as culturas quando estas são analisadas de forma individual. O caso mais grave é o do girassol, para

o qual o cultivo sob irrigação leva a um baixo rendimento (15,71%), devido a ocorrência de plantio no período de estiagem sem que haja a cobertura da demanda pela estrutura de armazenamento, que levam a déficits de umidade que resultam em reduções de evapotranspiração acima de 50%.

- Cenário III

Descartou-se a irrigação da área de girassol, mantendo-se sob irrigação apenas os cítricos, as caducifólias e o feijão. A área a ser irrigada no período de estiagem decresce de 1.600 hectares para 1.360 hectares e os resultados são os apresentados nas Tabelas 5.12 e 5.13.

Tabela 5.12 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário III em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	40.611	30.991	76,31%	10.574	20.417
Caducifólias	148.915	78.416	52,66%	41.036	37.380
Feijão	44.160	27.930	63,25%	23.595	4.335
Milho	32.578	6.287	19,30%	10.895	-4.609
Arroz	3.759	1.082	28,78%	1.242	-160
Girassol	2.255	0	0,00%	681	-681
Total	272.278	144.706	53,15%	88.024	56.682

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Pela primeira vez, o perímetro apresenta um resultado significativo em relação ao proposto inicialmente, assim como as culturas das caducifólias e do feijão apresentam valores de margem de produção positivos. A produção do perímetro como um todo tem um acréscimo de 62,87% sobre a situação básica. Há um acréscimo elevado da receita de caducifólias e feijão e um acréscimo menor da receita de cítricos. Deve destacar-se que a eliminação da irrigação da área de 240 hectares de girassol reduz a receita desta cultura de 15,71% para 0%. Isto indica que a lavoura de girassol era irrigada ao longo de seu ciclo cultural, mas em pelo menos um mês do ciclo cultural não havia o fornecimento de água para suportar uma evapotranspiração igual ou

superior a 50% do valor máximo. Assim, havia o desperdício de água em uma lavoura que não poderia, pelo volume reservado no início do ciclo cultural e pela previsão de consumo, ter uma possibilidade real de sucesso. A distribuição deste volume anteriormente destinado ao girassol entre as culturas dos cítricos, das caducifólias e do feijão, seguindo a hierarquização adotada, tem um resultado positivo no total do perímetro.

As falhas são reduzidas a valores mais usuais para projetos de irrigação: 8,81% em termos mensais, 30% em termos semestrais e 51,43% para valores anuais. Em termos de volume, a falha média é de 3,93% e no máximo 98,32%.

Tabela 5.13 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário III - Projeto Barbatimão

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	5
Fevereiro	0	11
Março	0	10
Abril	0	8
Mai	0	0
Junho	0	0
Julho	4	0
Agosto	13	0
Setembro	14	0
Outubro	5	0
Novembro	1	0
Dezembro	0	0
Total	37	34

Para o plano de exploração agrícola proposto, ao longo de 35 anos seriam necessários 205.317.000 m³ (já descontada a precipitação efetiva) e há a deficiência de 11.236.518 m³, o que corresponde a 5,47% do volume necessário, ocorrendo falhas em 37 meses.

O número máximo de meses em que o reservatório tem seu volume zerado baixa para 14, assinalados para o mês de setembro. Os episódios de cheia tem o acréscimo de 14 eventos em relação a situação básica e de 5 ocasiões em relação à primeira modificação.

Do ponto de vista do agricultor, os resultados obtidos nas simulações realizadas até o momento demonstram a incoerência do uso da falha média em volume e da falha mensal, sendo mais consistentes os valores semestral e anual. No entanto, estes valores terminariam fornecendo a idéia de que o empreendimento é plenamente inviável, o que é uma afirmação sem base nesta simulação.

A conclusão mais coerente é a de que o plano agrícola proposto exige muito mais água do que a capacidade implantada do sistema, considerando a vazão afluyente, o volume inicial e a precipitação efetiva para uma certa época, sendo necessário rever a programação da ocupação da terra.

- Cenário IV

A existência de rotinas de planejamento pode auxiliar na definição das áreas irrigadas em um perímetro como o que está em análise. Não é conveniente que seja implantada uma área com caducifólias se, ao longo da vida útil destas plantas cujo custo de instalação é elevado, ocorrerão anos tão secos que a própria sobrevivência das plantas estará em jogo.

Também não se pode abrir mão do elevado rendimento proporcionado pelas caducifólias, sem que haja compensação por outro lado.

Para prosseguir na simulação, despreza-se a situação básica, já que a irrigação das culturas de milho e arroz causam uma redução importante do volume do reservatório. A situação que deve ser testada com a simulação é a do segundo cenário, sendo, portanto, descartada o modelo de cenário III.

Estes condicionantes embasam, para este perímetro, a necessidade de testar uma última possibilidade de manejo que possibilite a gestão da água armazenada no início do estio. Para este manejo, a cada mês de abril o volume de água armazenado, a precipitação efetiva sobre as culturas e o lago e a vazão afluyente prevista para o mês de abril são somados. Desta soma, desconta-se a evaporação do lago prevista para abril, obtendo-se o volume de água disponível. Este volume posteriormente é dividido entre as culturas, de acordo com a demanda hídrica unitária (por hectare), respeitando-se a hierarquia estabelecida. O resultado desta divisão permite a obtenção da área possível de ser implantada, inicialmente com cítricos, caducifólias, feijão e, por fim, se houver saldo no volume previsto, girassol. Esta análise foi realizada mês a mês, mas

tendo como parâmetro o comportamento de todas as quatro culturas envolvidas, de modo que o plantio de feijão, por exemplo, não prejudicasse as culturas de cítricos e caducifólias, já que estas receberam uma hierarquia superior. A retirada das culturas é contabilizada como um decréscimo de volume, gerando um novo volume inicial. Repete-se a operação para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

Para determinar qual seria a disponibilidade hídrica a cada mês no período de estiagem, utilizou-se a série de vazões previstas, de acordo com o Capítulo 4. Conhecendo-se a disponibilidade hídrica no mês de abril e projetando-se a oferta da bacia no período de estiagem, é possível manejar as áreas de cultivo das culturas envolvidas até um valor máximo para cada uma delas, obedecendo-se a hierarquização proposta. A determinação iniciou pela fixação da área de cítricos no valor máximo e anulando-se as áreas das outras culturas. Não sendo observadas falhas no atendimento, fixou-se a área de caducifólias também no valor máximo e observou-se a ocorrência ou não de falhas. Não existindo colapso no atendimento, partiu-se para o cálculo da área possível de cultivo de feijão, iniciando-se no mês de junho com um valor tentativo. Este valor foi mantido para julho e agosto, verificando-se a possibilidade de atendimento. Havendo reserva de água, a área de feijão foi sendo ampliada até o valor máximo. Ocorrendo falha, a área de feijão foi diminuída. Se a área de feijão atendida foi a máxima prevista (1.040 hectares), determinou-se a área de girassol possível de ser cultivada com o volume residual, até que fosse atingida a área máxima prevista.

Essas áreas serviram para ingressar na planilha de cálculo montada e obter os rendimentos e as falhas.

Conjugando-se as áreas estimadas de forma a explorar ao máximo o volume armazenado e a vazão prevista para o período de estiagem com a série de vazões existentes no projeto, foi possível verificar o efeito desta metodologia na mesma base dos cenários I, II e III.

O dado de entrada para a simulação foi uma série de áreas de cultivo que não permanece constante ao longo do tempo, o que é coerente com os comportamentos do reservatório, que também varia de ano para ano o seu volume disponível em abril, e da vazão afluente da bacia, esta evidentemente variável.

Com este manejo, foi possível manter-se as áreas dos cítricos e das caducifólias em 160 hectares cada. A área do feijão oscilou entre 40 e 1.040 hectares, com um valor médio de 855 hectares. A área do girassol variou entre 0 e 240 hectares, com valor médio de 48 hectares. A área total média sobe para 1.223 hectares.

Os valores de área obtidos e os resultados são apresentados nas Tabelas 5.14 e 5.15.

Tabela 5.14 - Valores das áreas possíveis de serem irrigadas a cada ano (ha) - Projeto Barbatimão

Anos	cítricos	caducifólias	feijão	girassol
1	160	160	1.006	0
2	160	160	706	0
3	160	160	908	0
4	160	160	776	0
5	160	160	1.040	40
6	160	160	899	0
7	160	160	1.040	49
8	160	160	928	0
9	160	160	1.040	208
10	160	160	1.040	63
11	160	160	1.040	25
12	160	160	1.040	121
13	160	160	936	0
14	160	160	570	0
15	160	160	990	0
16	160	160	1.040	62
17	160	160	1.040	240
18	160	160	1.040	64
19	160	160	789	0
20	160	160	1.040	87
21	160	160	579	0
22	160	160	1.040	32
23	160	160	201	0
24	160	160	867	0
25	160	160	725	0
26	160	160	835	0
27	160	160	435	0
28	160	160	40	0
29	160	160	158	0
30	160	160	1.040	139
31	160	160	1.040	240
32	160	160	1.040	143
33	160	160	939	0
34	160	160	1.040	71
35	160	160	1.040	88

Tabela 5.15 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IV em 1000 US\$ - Projeto Barbatimão

Culturas	Renda Projetada no Plano Agrícola Original	Renda Projetada para o Cenário IV (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	40.611	40.611	40.611	100,00%	12.235	28.377
Caducifólias	148.915	148.915	148.915	100,00%	54.541	94.374
Feijão	44.160	44.160	36.307	82,22%	20.063	16.245
Milho	32.578	32.578	6.287	19,30%	10.895	-4.609
Arroz	3.759	3.759	1.082	28,78%	1.242	-160
Girassol	2.255	752	752	100,00%	500	253
Total	272.278	262.923	233.955	88,98%	77.689	134.479

¹- Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

A renda obtida com estes valores é igual a 88,98% do total previsto, e, como era esperado, as falhas mensais caíram para 0% dos meses e a de volume para 0% da necessidade. A quebra da renda em relação ao previsto deve-se, unicamente, aos desempenhos das culturas não irrigadas. Em relação à situação básica, o aumento de receitas é de 163%, o que, por si só, já seria um indicativo forte do benefício da aplicação da simulação. O maior benefício, no entanto, é o aumento de 1206,35% na margem de produção, sobre a mesma situação básica.

Para as culturas de estio, não são observadas falhas e o retorno é total. Para as culturas do período chuvoso, não atendidas pela irrigação, é evidente que as falhas são decorrentes de uma distribuição irregular das precipitações, fator comum em uma agricultura de sequeiro. Os valores apenas mostram que a precipitação efetiva da região não é suficiente para, ao longo de 35 anos, atender plenamente as necessidades hídricas.

O comportamento do reservatório com a simulação é mostrado na Tabela 5.16.

Como era esperado, o manejo do reservatório com a previsão mostra a ausência de eventos onde há o seu esvaziamento completo. Os eventos de cheia são reduzidos a 29, o que é

uma frequência menor do que 1 por ano, já que há uma plena utilização do volume armazenado nos meses de estio.

Tabela 5.16 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IV - Projeto Barbatimão

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	4
Fevereiro	0	8
Março	0	9
Abril	0	8
Maió	0	0
Junho	0	0
Julho	0	0
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	0	0
Novembro	0	0
Dezembro	0	0
Total	0	29

5.6.2 Projeto Barro Preto

De acordo com o plano agrícola apresentado, as culturas podem ser divididas em três tipos:

- culturas perenes, representadas pelos Cítricos e pelas Caducifólias;
- cultura anual de “verão”, coincidentes com a época chuvosa, que é o milho, semeado a partir de outubro e colhido em fevereiro; e
- cultura anual de “inverno”, que é a época seca, que é o feijão, semeado a partir de junho e colhido em agosto.

Conforme já estipulado, as culturas perenes têm prioridade no atendimento, tendo em vista o seu alto custo de implantação e seu maior retorno financeiro.

O valor da produção previsto foi obtido pela soma dos produtos da área, produtividade e valor de venda do produto recebido pelo produtor, considerando-se uma produção plena, já que o plano agrícola disponível no projeto não refere-se a quebras.

Os valores encontrados, em US\$ 1.000, para o período total de 35 anos são os seguintes:

Tabela 5.17 - Renda bruta projetada para o Projeto Barro Preto (35 anos)

Renda	Cítricos	Caducifólias	Feijão	Milho	Total
Projetada	13.199	48.397	17.664	13.031	92.291

- Cenário I

Na primeira possibilidade de manejo do reservatório, onde não foi realizada a previsão de vazão, o perímetro foi manejado com os dados de projeto, isto é, respeitando-se a totalidade do programa de cultivo indicado, com área total de 520 hectares, que é a primeira possibilidade de manejo.

Para ter-se um balizamento do comportamento do sistema se todos os agricultores desejassem irrigar todas as culturas quando necessário, buscando otimizar suas receitas, os resultados obtidos seriam os apresentados na Tabela 5.18. São encontradas reduções de produção em três das quatro culturas propostas.

Tabela 5.18 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário I em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	39.179	80,95%	15.742	23.436
Feijão	17.664	40	0,23%	6.453	-6.412
Milho	13.031	9.502	72,92%	7.299	2.204
Total	92.291	61.920	67,09%	33.470	28.450

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Verifica-se que o plano agrícola proposto para ser implantado neste perímetro irrigado não permite a irrigação da totalidade da área em todo o período analisado, o que restringe o rol

de possibilidades dos agricultores. A irrigação de todas as culturas prejudica principalmente a cultura do período de estiagem (feijão), além das caducifólias, que necessitam de atendimento durante todo o ano e tem menor prioridade do que os cítricos.

O comportamento do reservatório mostra 115 eventos de cheia e uma participação significativa das ocasiões (86) em que o reservatório apresenta-se vazio. Há o esvaziamento do reservatório em todos os meses de agosto e em julho, o que está intimamente ligado com o comportamento apresentado pela cultura do feijão.

Com este cenário, o reservatório apresenta o comportamento demonstrado na Tabela 5.19.

As falhas de abastecimento de água para irrigação observadas seriam de 11,13% em termos médios anuais, considerando-se o volume necessário para a irrigação e o realmente fornecido. A falha máxima observada em termos de volume é de 89,69% em um único ano. As falhas temporais encontradas foram iguais a 100,00% em termos anuais, 64,29% em termos semestrais e 21,43% em termos mensais.

Para o plano de exploração agrícola proposto, ao longo de 35 anos seriam necessários 149.045.260 m³ (já descontada a precipitação efetiva) e há a deficiência de 20.372.969 m³, o que corresponde a 13,67% do volume necessário, ocorrendo falhas em 90 meses.

Tabela 5.19 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário I - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	21
Fevereiro	1	23
Março	0	21
Abril	0	11
Maio	0	0
Junho	1	0
Julho	35	0
Agosto	33	0
Setembro	5	0
Outubro	8	1
Novembro	2	14
Dezembro	1	24
Total	86	115

A receita tem um comportamento distinto da falha volumétrica, sendo que o perímetro apresenta uma receita de 67,09% do valor projetado inicialmente, ou uma falha de 32,91% da

receita, o que é uma diferença de valor significativo em relação aos 13,67% da falha volumétrica.

- Cenário II

A partir dos resultados acima, reavaliou-se a aplicação do plano agrícola, adotando-se a eliminação do atendimento da cultura do milho, já que esta é implantada no período chuvoso. Esta é a possibilidade de cenário II, sendo que os novos resultados encontrados são os apresentados na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário II em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	39.179	80,95%	15.785	23.394
Feijão	17.664	40	0,23%	6.549	-6.509
Milho	13.031	2.515	19,30%	4.358	-1.843
Total	92.291	54.932	59,52%	30.668	24.265

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Em relação à situação anterior, observa-se que há uma redução da receita pela queda da lavoura do milho, que deixou de ser irrigado, mas o feijão não tem sua receita aumentada.

Em relação ao reservatório, em todos os anos este apresenta volume nulo no mês de julho, conforme a distribuição apresentada na Tabela 5.21.

Ocorrem 29 situações onde o reservatório verte no mês de dezembro, 25 em fevereiro, 24 em janeiro, 22 em março e 20 em novembro, marcando o período de chuvas.

Pelos dados apresentados, verifica-se que o valor da demanda foi estabelecido para explorar ao máximo a água acumulada, prevendo ainda que em alguns meses poderia haver a deficiência no fornecimento de água para a irrigação, utilizando um valor aceitável de falha. Para encontrar este valor, foram calculadas as falhas temporais e volumétricas do projeto.

As falhas de abastecimento de água para irrigação observadas seriam de 9,81% em termos médios anuais, considerando-se o volume necessário para a irrigação e o realmente

fornecido. A falha máxima observada em termos de volume é de 89,94% em um único ano. As falhas temporais encontradas foram iguais a 100,00% em termos anuais, 50% em termos semestrais e 18,10% em termos mensais.

Tabela 5.21 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário II - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	24
Fevereiro	0	25
Março	0	22
Abril	0	11
Maio	0	0
Junho	0	0
Julho	35	0
Agosto	33	0
Setembro	5	0
Outubro	0	1
Novembro	0	20
Dezembro	0	29
Total	73	132

Para o plano de exploração agrícola proposto, ao longo de 35 anos seriam necessários 73.464.300 m³ (já descontada a precipitação efetiva) e há a deficiência de 18.279.688 m³, o que corresponde a 24,88% do volume necessário, ocorrendo falhas em 76 meses.

A receita, no entanto, sofre redução para 59,52% do total projetado, representando uma queda de 11,28% em relação ao cenário I. Não há nenhum acréscimo da receita de caducifólias e feijão e, por outro lado, há uma redução da receita da cultura de milho. Isto deve-se ao fato de que o reservatório não suporta a demanda de inverno por causa da baixa contribuição neste período, não permitindo o atendimento pleno da irrigação de cítricos, feijão e caducifólias.

Desta forma, os valores médios e gerais levam a uma idéia errônea do que ocorre com as culturas quando estas são analisadas de forma individual. O caso mais grave é o do feijão, para o qual o cultivo sob irrigação leva a um baixo rendimento (0,23%), devido a ocorrência de plantio no período de estiagem sem que haja a cobertura da demanda pela estrutura de armazenamento, que levam a déficits de umidade que resultam em reduções de evapotranspiração acima de 50%.

- Cenário III

Descartou-se a irrigação da área de feijão, mantendo-se sob irrigação apenas os cítricos e as caducifólias. A área a ser irrigada no período de estiagem desce de 520 hectares para 104 hectares e os resultados seriam os apresentados na Tabela 5.22.

Não são contabilizadas falhas em nenhum dos meses e nem em termos de volume.

A receita, no entanto, tem um acréscimo sobre a situação básica (irrigação de todas as culturas), atingindo um valor de 69,47% sobre o valor projetado. Há um acréscimo elevado (18,64%) da receita de caducifólias.

Deve destacar-se que a eliminação da irrigação da área de 416 hectares de feijão reduz a receita desta cultura de 0,24% para 0%. Isto indica que a lavoura de feijão era irrigada ao longo de seu ciclo cultural, mas em pelo menos um mês do ciclo cultural não há o fornecimento de água para suportar uma evapotranspiração igual ou superior a 50% do valor máximo. Assim, havia o desperdício de água em uma lavoura que não poderia, pelo volume reservado no início do ciclo cultural e pela previsão de consumo, ter uma possibilidade real de sucesso. A distribuição deste volume anteriormente destinado ao feijão entre as culturas dos cítricos e das caducifólias, seguindo a hierarquização adotada, tem um resultado positivo no total do perímetro.

Tabela 5.22 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário III em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	48.397	100,00%	17.726	30.671
Feijão	17.664	0	0%	3.274	-3.274
Milho	13.031	2.515	19,30%	4.358	-1.843
Total	92.291	54.932	69,47%	41.003	34.776

¹- Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

O comportamento do reservatório nesta situação é mostrado na Tabela 5.23. O reservatório não apresenta volume igual ao mínimo em nenhum dos 420 meses. Os episódios de cheia atingem 149 eventos.

Tabela 5.23 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário III - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	24
Fevereiro	0	25
Março	0	22
Abril	0	11
Maio	0	0
Junho	0	0
Julho	0	0
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	0	10
Novembro	0	28
Dezembro	0	29
Total	0	149

Considerando que o comportamento do reservatório no período de chuvas apresenta um grande número de meses em que há vertimento, estudou-se a possibilidade de voltar-se a irrigar a lavoura de milho na sua totalidade, verificando o efeito que isto traria no comportamento do perímetro. Os resultados encontrados são mostrados na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IIIa em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	48.397	100,00%	17.726	30.671
Feijão	17.664	0	0%	3.274	-3.274
Milho	13.031	11.211	86,03%	8.401	2.810
Total	92.291	72.807	78,89%	30.668	39.429

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Verifica-se que a irrigação do milho não afeta a irrigação das culturas de ciclo longo (cítricos e caducifólias), gerando um acréscimo de 346% na sua receita. Para o perímetro, esta

alternativa de cenário resulta em um acréscimo de 17,86% na receita total, quando comparada com a alternativa original.

As falhas de atendimento nesta alternativa passam a ser de 1,43% em termos mensais, 7,14% para os semestres e 14,29% para os anos, representando o não atendimento da lavoura de milho. Em termos de volume, a falha é de 0,28% em média e um valor de 48,31% como máximo.

O comportamento do reservatório apresenta falhas nos meses de outubro a dezembro, e apresenta vertimento de outubro a abril. De outubro a dezembro, com o início da irrigação do milho, o reservatório tanto pode apresentar volume nulo ou verter, conforme a Tabela 5.25.

Tabela 5.25 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IIIa - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	21
Fevereiro	1	23
Março	0	21
Abril	0	11
Mai	0	0
Junho	0	0
Julho	0	0
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	3	10
Novembro	1	22
Dezembro	1	24
Total	6	132

Essa análise demonstra a capacidade de recuperação do reservatório dentro de um mesmo ano hidrológico, conforme salientado pelos dados da Tabela 3.8. e mostra também uma diferença marcante entre os dois projetos.

Do ponto de vista do agricultor, os resultados obtidos nas simulações realizadas até o momento demonstram a incoerência do uso da falha média em volume e da falha mensal, sendo mais consistentes os valores semestral e anual. No entanto, estes valores terminariam fornecendo a idéia de que o empreendimento é plenamente inviável, o que é uma afirmação sem base nesta simulação. A conclusão mais coerente é a de que o plano agrícola proposto exige muito mais água do que a capacidade implantada do sistema, considerando a vazão afluente, o volume

inicial e a precipitação efetiva para uma certa época, sendo necessário rever a programação da ocupação da terra.

- Cenário IV

Da mesma forma que no projeto Barbatimão, estudou-se qual seria a área de feijão que poderia ser explorada sob irrigação a cada ano.

A área média da lavoura de feijão é de 195 ha, com um valor mínimo de 97 ha e máximo igual a 311 ha, conforme a Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Área de plantio de feijão sob irrigação - Projeto Barro Preto

Ano	Área feijão (ha)
1	146
2	161
3	192
4	192
5	184
6	155
7	189
8	157
9	269
10	196
11	184
12	226
13	167
14	159
15	173
16	197
17	311
18	197
19	188
20	212
21	150
22	180
23	80
24	185
25	180
26	205
27	176
28	120
29	110
30	235
31	305
32	250
33	215
34	213
35	214

Com os novos valores de vazão, obtidos pela metodologia de previsão de vazão já apresentada, determinou-se as áreas das culturas do período de estiagem ano a ano que poderiam ser cultivadas com irrigação. Os resultados são apresentados na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IV em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada no Plano Agrícola Original	Renda Projetada para o Cenário IV (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	48.397	48.397	100,00%	17.726	30.671
Feijão	17.664	8.280	8.280	100,00%	3.274	5.006
Milho	13.031	13.031	2.515	19,30%	4.358	-1843
Total	92.291	82.907	72.391	87,32%	29.334	43.056

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

A receita apresenta uma elevação de seu valor, que só não é maior por que a lavoura de milho não é irrigada.

O comportamento do reservatório com esta alternativa é mostrado na Tabela 5.28.

Há um melhor comportamento do reservatório quanto a possibilidade de esvaziamento, já que não é observado nenhum evento, mas o número de meses em que o reservatório encontra-se cheio é de 131 no universo de 420 meses. O mês de abril, considerado como o final da estação chuvosa, apresenta 11 ocorrências em 35 anos. Os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março apresentam excesso de água em mais da metade do tempo, o que indica a possibilidade de utilização de um certo volume na época chuvosa como irrigação complementar na cultura do milho.

Desta forma, foi testada uma nova possibilidade de cenário, com o atendimento do milho em toda a área de 416 hectares prevista inicialmente. Os resultados obtidos são os apresentados na Tabela 5.29.

Observa-se que a irrigação do milho resulta em uma pequena diminuição da produção das áreas de caducifólias e de feijão, calculadas a partir da simulação realizada. O reservatório apresenta o comportamento demonstrado pela Tabela 5.30.

Tabela 5.28 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário IV - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	24
Fevereiro	0	25
Março	0	22
Abril	0	11
Maió	0	0
Junho	0	0
Julho	0	0
Agosto	0	0
Setembro	0	0
Outubro	0	1
Novembro	0	19
Dezembro	0	29
Total	0	131

Tabela 5.29 – Resultados obtidos na possibilidade de cenário IVa em 1000 US\$ - Projeto Barro Preto

Culturas	Renda Projetada (1)	Renda Obtida (2)	2/1 (%) ¹	Custo Produção	Margem Produção
Cítricos	13.199	13.199	100,00%	3.976	9.222
Caducifólias	48.397	47.015	97,14%	17.431	29.584
Feijão	8.096	7.999	98,80%	4.486	3.513
Milho	13.031	9.472	72,69%	7.299	2.174
Total	82.723	77.684	93,91%	30.668	47.016

¹ - Razão entre a renda obtida e a renda projetada pelo plano de exploração agrícola para os 35 anos de horizonte do projeto

Neste cenário, há uma redução do rendimento das caducifólias e do feijão em detrimento de um aumento da receita do milho e do perímetro como um todo. Este fato mostra a influência da irrigação no período de verão no comportamento do reservatório no inverno, sendo que entre o não atendimento da cultura do milho e seu atendimento pleno será encontrado um ponto de máximo. O reservatório, ao contrário da simulação anterior, apresenta falhas em 14 meses da série de 420 e há a redução dos eventos de cheia, que agora somam 113.

Tabela 5.30 - Número de meses em que o reservatório encontra-se nas situações limites durante o período de 35 anos para o cenário Iva - Projeto Barro Preto

Meses	Reservatório vazio	Reservatório cheio
Janeiro	0	21
Fevereiro	1	23
Março	0	21
Abril	0	11
Maió	0	0
Junho	0	0
Julho	1	0
Agosto	1	0
Setembro	0	0
Outubro	9	1
Novembro	1	12
Dezembro	1	24
Total	14	113

Não pode-se simular, de modo determinístico, a área de irrigação do milho, já que esta cultura é explorada na época de chuvas. Pelo fato de que o volume de contribuição anual ser muito superior ao volume útil armazenado, a ocorrência de um mês de fevereiro ou março chuvoso, época final do cultivo de milho e da estação chuvosa, pode restituir o volume gasto na irrigação complementar dessa cultura.

Para observar o comportamento do perímetro em relação à área irrigada com milho, foram testados alguns valores de atendimento da necessidade hídrica do milho, conforme a Tabela 5.31.

Observa-se que o atendimento das necessidades de áreas cada vez maiores de milho aumenta a receita total do perímetro, mas com prejuízo das outras culturas, uma vez que a receita obtida vai correspondendo a valores cada vez menores da receita projetada.

Os valores obtidos com estas possibilidades de cenário levam a formação de um quadro referencial de falhas, onde podem ser comparados os efeitos das falhas de atendimento com a receita obtida no perímetro, conforme a Tabela 5.32.

À medida em que aumenta a área de milho irrigada, aumenta o rendimento total do perímetro, mas aumenta também o valor das falhas, que na situação de não-irrigação não são registradas. Para cada acréscimo de área, reduzem-se os valores de receita obtida pela receita projetada e dos valores de garantia de atendimento.

Tabela 5.31 - Comportamento do perímetro Barro Preto para diferentes áreas de milho cultivado sob irrigação e uso de previsão de vazão na determinação das áreas de feijão

Área irrigada com milho (ha)	Renda Obtida 1000 US\$	Margem de Produção 1000 US\$	Renda obtida/ Renda Projetada (%)
0	72.206	41.539	87,29
100	72.824	41.985	99,76
200	75.957	44.752	99,29
300	75.954	45.286	96,04
400	77.661	46.993	94,45
416	82.723	47.016	93,91

Tabela 5.32 - Quadro referencial de falhas para a alternativa de cenário IVa - Projeto Barro Preto

Plano Agrícola	Falhas						Garantia de Atendimento (%)			Renda obtida/ Projetada (%)
	Mensais	Semestrais	Anuais	Volume médio anual	Volume máximo	Mensal	Semestral	Anual		
0	0	0	0	0	0	100,00	100,00	100,00		
100	0,48	2,86	5,71	0,08	22,64	99,52	97,14	94,29	99,76	
200	0,71	4,29	8,57	0,32	47,84	99,29	95,71	91,43	99,29	
300	2,62	11,43	22,86	0,69	61,94	97,38	88,57	77,14	96,04	
400	3,33	14,29	25,71	1,26	69,63	96,67	85,71	74,29	94,45	
416	3,57	15,71	28,57	1,33	70,58	96,43	84,29	71,43	93,91	

5.7 - RESUMO DOS RESULTADOS

5.7.1 - Projeto Barbatimão

O projeto Barbatimão, conforme comentado, será atendido por um reservatório que tem uma característica de enchimento interanual. Dessa forma, retiradas excessivas em qualquer mês termina por comprometer o funcionamento ao longo de um ano hidrológico.

As simulações efetuadas demonstraram claramente a vantagem da realização da previsão de vazão no período de estiagem e a incoerência que resulta da aplicação do valor de falha mensal ou da falha volumétrica total quando se trata de avaliar o reservatório. A Tabela 5.33 mostra o resumo das análises feitas ao longo do texto, auxiliada pelas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

O resultado da exploração agrícola é muito similar nos cenários I e II, já que entre estes houve apenas a eliminação da irrigação das culturas do período chuvoso, de baixo valor de venda. Com a eliminação da irrigação, a redução da produtividade destas culturas afeta negativamente o resultado global do perímetro. No cenário III, o melhor atendimento das culturas de verão com a eliminação da irrigação do girassol possibilita um aumento notável no resultado do perímetro. Entre as alternativas, a utilizada no cenário IV é a que tem o melhor resultado de exploração, mostrando a validade da metodologia proposta.

O gráfico do custo de exploração agrícola apresenta os desembolsos da totalidade dos produtores do perímetro. Os cenários I e II têm comportamento similar, já que a eliminação da irrigação das culturas do período chuvoso não significa a eliminação de sua exploração. Os custos de exploração são diferenciados entre os cenários, pois há a eliminação dos investimentos quando as culturas irrigadas não têm o suprimento de água previsto. Assim, o conjunto das curvas de custo acumulados apresenta a mesma tendência do conjunto das curvas do resultado de exploração.

As diferenças mais significativas aparecem no gráfico da margem de exploração agrícola, que é obtida com a subtração do custo de produção do resultado da exploração agrícola. Esta diferença é a receita que é efetivamente obtida pelo produtor ao final do período de exploração agrícola. Dentre as curvas, a do cenário II mostra que, ao final de 35 anos de exploração, o resultado líquido obtido é negativo, isto é, o conjunto de agricultores tem prejuízo na exploração agrícola do plano proposto, com irrigação apenas das culturas do período de estiagem. Para a irrigação de todas as culturas do plano original, representado pelo cenário I, a situação é positiva ao final de 35 anos, mas, nos anos iniciais, são observados valores negativos. O cenário III mostra que a irrigação de parte do plano de exploração agrícola, com redução da área irrigada,

apresenta ganhos de receita para o conjunto dos produtores, embora a curva apresente oscilações que representam anos com resultados negativos. Por fim, o cenário IV, com a utilização da previsão de vazão e exploração de um plano agrícola baseado na disponibilidade hídrica, apresenta um comportamento que demonstra nitidamente a vantagem da adoção das metodologias propostas. A margem de exploração acumulada é sempre crescente, não sendo observados anos com resultados negativos.

Tabela 5.33 – Resumo dos valores obtidos pelas simulações para o Projeto Barbatimão

	Manejo				
		Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
Falhas	Mensais	25,48%	17,14%	8,81%	0,00%
	Semestrais	72,86%	52,86%	30,00%	0,00%
	Anuais	94,29%	91,43%	51,43%	0,00%
	Volume Média	14,73%	9,36%	3,93%	0,00%
	Volume Máxima	95,43%	97,57%	98,32%	0,00%
Renda Obtida sobre Renda Projetada	Cítricos	73,28%	65,38%	76,31%	100,00%
	Caducifólias	19,33%	19,40%	52,66%	100,00%
	Feijão	27,27%	32,80%	63,25%	82,22%
	Milho	47,03%	19,30%	19,30%	19,30%
	Arroz	68,88%	28,78%	28,78%	28,78%
	Girassol	15,71%	15,71%	0,00%	33,37%
	Total	32,60%	28,06%	52,68%	85,45%
Margem de Produção Acumulada	(1000 US\$)	10.294	-34	56.682	134.479

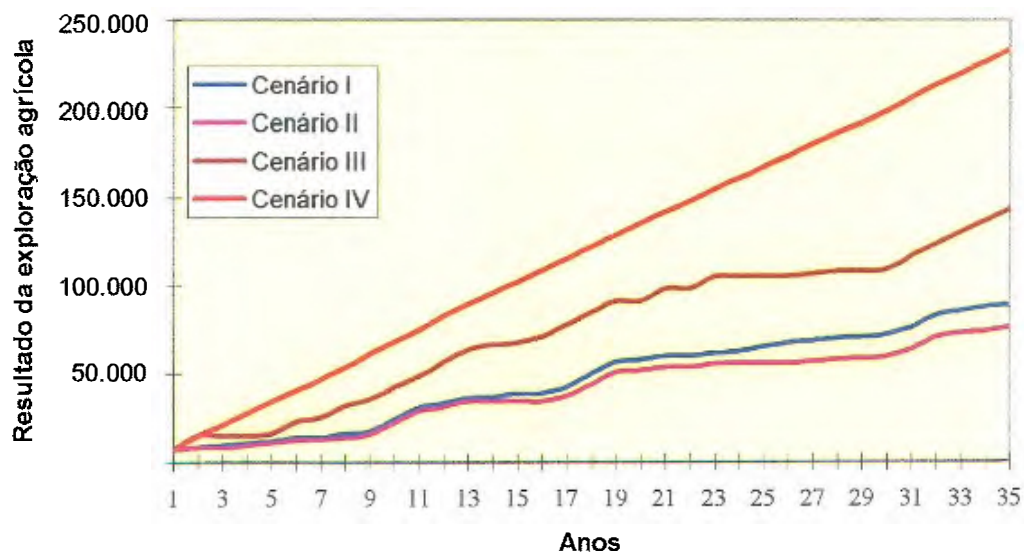


Figura 5.1 - Projeto Barbatimão - Resultado da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados

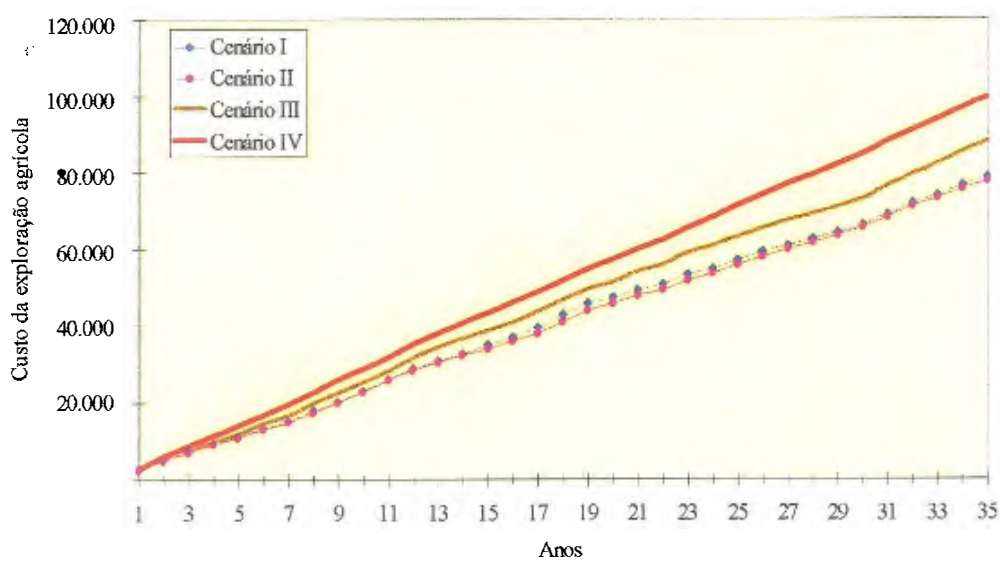


Figura 5.2 - Projeto Barbatimão - Custo da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados

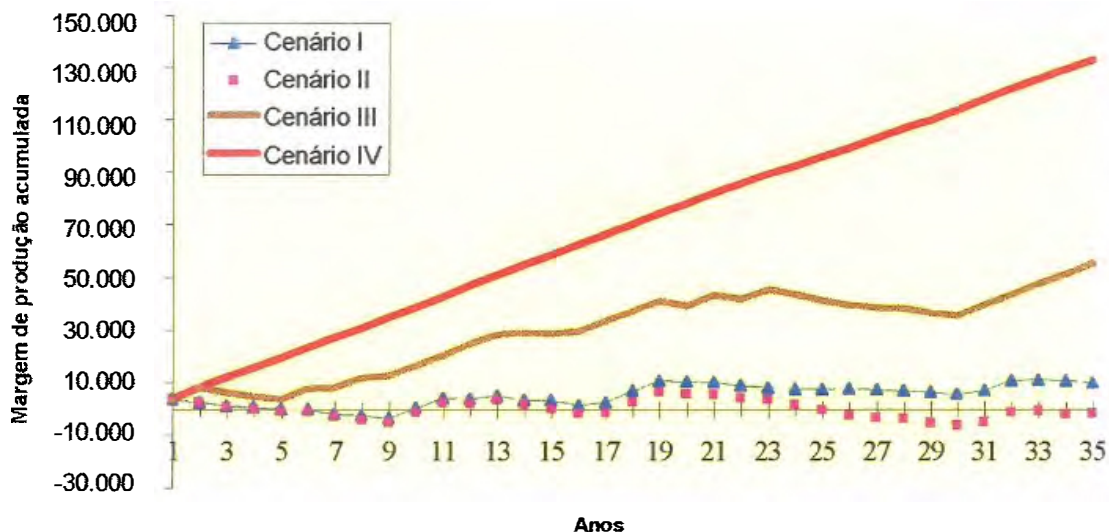


Figura 5.3 - Projeto Barbatimão - Margem da exploração agrícola, valores em 1.000 US\$, acumulados

5.7.2 – Projeto Barro Preto

O projeto Barro Preto, ao contrário do Barbatimão, será atendido por um reservatório que tem uma característica de enchimento intra-anual. Dessa forma, retiradas no período de chuvas podem não comprometer o funcionamento do perímetro ao longo do período de estiagem.

As simulações efetuadas também demonstraram claramente a vantagem da realização da previsão de vazão no período de estiagem e a incoerência que resulta da aplicação do valor de falha mensal ou da falha volumétrica total quando se trata de avaliar o reservatório. A Tabela 5.34 mostra o resumo das análises feitas ao longo do texto, auxiliada pelas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6.

O resultado da exploração agrícola é muito similar nos cenários I e III, já que entre estes houve apenas a eliminação da irrigação da cultura de feijão, que não apresentava um rendimento significativo quando irrigado de acordo com as situações propostas nesses cenários. Por outro lado, a eliminação da irrigação do milho no cenário II afeta negativamente o resultado global do perímetro, pois a irrigação era de caráter complementar e com efeitos positivos na produtividade da cultura. Entre as alternativas, a utilizada no cenário IV é a que tem o melhor resultado de exploração, mostrando a validade da metodologia proposta. Como as áreas do projeto Barro Preto são menores do que no projeto Barbatimão e o comportamento do reservatório também é diferenciado, as diferenças entre as curvas não têm o mesmo grau de importância.

Tabela 5.34 – Resumo dos valores obtidos pelas simulações para o Projeto Barro Preto

	Manejo				
		Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
Falhas	Mensais	21,43%	18,10%	0,00%	0,00%
	Semestrais	64,29%	50,00%	0,00%	0,00%
	Anuais	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
	Volume Média	11,13%	9,81%	0,00%	0,00%
	Volume Máxima	89,69%	89,94%	0,00%	0,00%
Renda Obtida sobre Renda Projetada	Cítricos	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
	Caducifólias	80,95%	80,95%	100,00%	100,00%
	Feijão	0,23%	0,23%	0,00%	100,00%
	Milho	72,92%	19,30%	19,30%	19,30%
	Total	67,09%	59,52%	69,47%	87,32%
Margem de Produção Acumulada	(1000 US\$)	28.450	24.265	34.776	39.429

O gráfico do custo de exploração agrícola apresenta os desembolsos da totalidade dos produtores do perímetro. Os custos de exploração são diferenciados entre os cenários, pois há a eliminação dos investimentos quando as culturas irrigadas não têm o suprimento de água previsto. Os cenários I e IV têm comportamento similar, sendo o custo de produção acumulado final do cenário IV inferior ao do cenário I, mostrando que a implantação de uma área mais extensa com não atendimento das necessidades hídricas previstas pode ser tão onerosa quanto a implantação do plano agrícola com previsão. A diferença entre os dois cenários, no entanto, se dará na margem de produção obtida. Entre os cenários II e III, a eliminação da irrigação do feijão

no cenário III termina por acelerar o abandono da irrigação dessa cultura em um período menor de tempo após o plantio, reduzindo os valores investidos na sua manutenção.

As diferenças mais significativas aparecem no gráfico da margem de exploração agrícola. Dentre as curvas, a do cenário II mostra que, ao final de 35 anos de exploração, o resultado líquido obtido é o menor. Para a irrigação de todas as culturas do plano original, representado pelo cenário I, a situação é positiva ao final de 35 anos, embora a curva apresente oscilações que representam anos com resultados negativos. O cenário III mostra que a irrigação de parte do plano de exploração agrícola, com redução da área irrigada, apresenta ganhos de receita para o conjunto dos produtores. Por fim, o cenário IV, com a utilização da previsão de vazão e exploração de um plano agrícola baseado na disponibilidade hídrica, apresenta um comportamento que demonstra nitidamente a vantagem da adoção das metodologias propostas. A margem de exploração acumulada é sempre crescente, não sendo observados anos com resultados negativos.

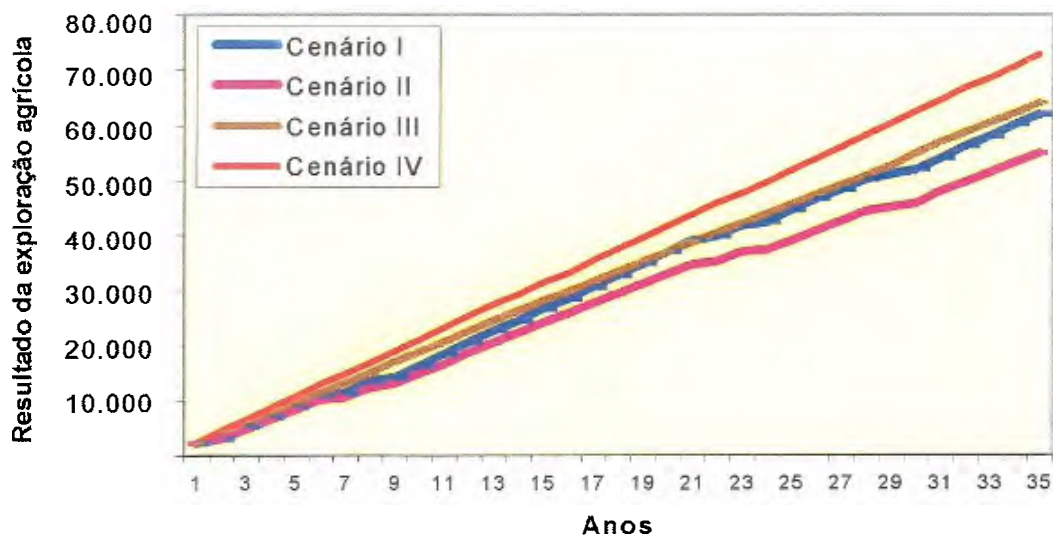


Figura 5.4 - Projeto Barro Preto - Resultado da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados

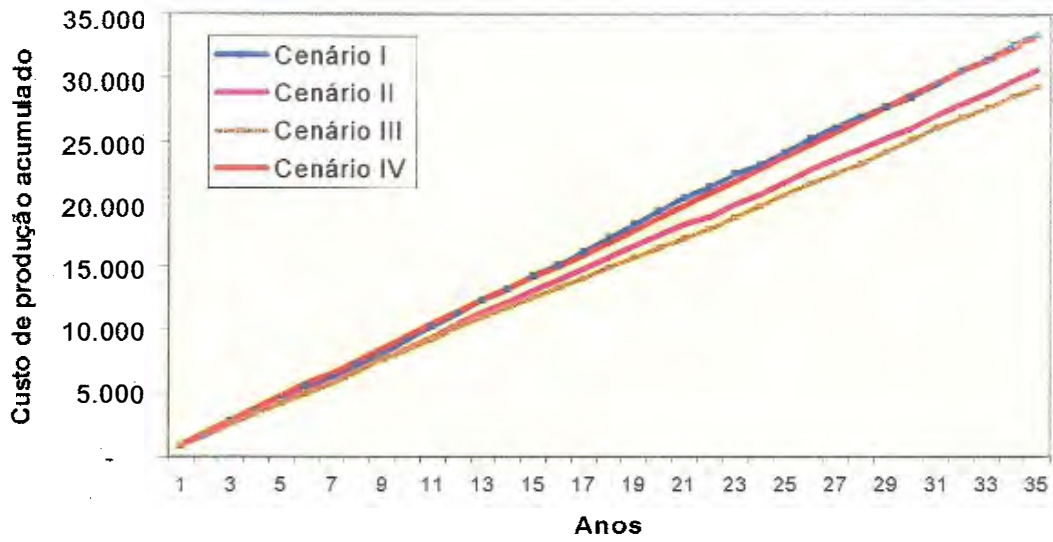


Figura 5.5 - Projeto Barro Preto - Custo da exploração agrícola, valores em 1000 US\$, acumulados

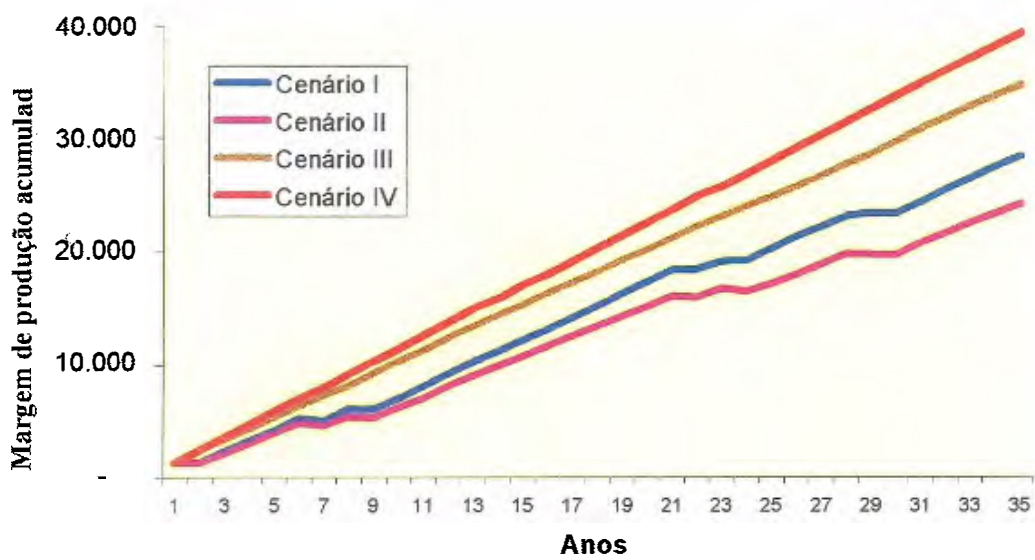


Figura 5.6 - Projeto Barro Preto - Margem da exploração agrícola, valores em 1.000 US\$, acumulados

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES

A execução do manejo de reservatórios com enfoque voltado para a questão do rendimento das culturas e com base na previsão de vazão afluente no período de estiagem permite obter diversas conclusões, apresentadas a seguir.

- Quanto ao uso do conceito usual de falha de atendimento: a falha de atendimento usual, expressa em porcentagem de tempo em que o reservatório não é capaz de fornecer a vazão necessária para irrigação, demonstrou ser um parâmetro inadequado, se utilizada para intervalos mensais. Quando relacionado a períodos anuais ou semestrais, pode resultar em indicativos de inviabilidade dos projetos, o que também não é verdadeiro. Da mesma forma, o cálculo da falha de atendimento expressa como uma porcentagem do volume total necessário também não é capaz de expressar o efeito dessa falha no rendimento do projeto;
- Quanto ao uso de falhas relacionadas com queda de rendimento agrícola: a falha de atendimento, quando qualificada pelo efeito do não atendimento da evapotranspiração potencial, possibilita uma determinação objetiva do resultado de determinado manejo de reservatório sobre o valor da produção agrícola, que é o objetivo final do empreendimento. A partir do rendimento agrícola é que pode ser cobrada uma tarifa pela água e ressarcir o empreendedor dos gastos com operação e manutenção e amortização do investimento. Um perímetro com quedas de produção freqüentes resultará em uma baixa capacidade de pagamento por parte dos produtores e terá como conseqüência uma maior inadimplência, o que poderá trazer a inviabilidade do auto-sustento do projeto ou na perda do capital investido;
- Quanto aos critérios de formulação de planos agrícolas para projetos de irrigação: os planos agrícolas baseados em culturas de ciclo longo têm uma menor flexibilidade de manejo, já que essas culturas necessitam de atendimento prioritário para preservar os investimentos realizados e que levam um período significativo para resultar em rendimentos elevados e garantidos. Uma maior participação de culturas anuais e com ciclos mais curtos possibilita uma maior margem de manobra para a alteração de áreas. A inclusão de culturas de sequeiro no período chuvoso em projetos de irrigação poderá resultar em conflitos pelo uso de água em anos com menor precipitação pluviométrica, pois os agricultores tentarão o uso da irrigação para preservar os seus investimentos, enquanto que a gerência do perímetro tentará impedir o uso da água reservada, destinando-a para a temporada de irrigação no estio. Embora seja uma situação contraditória, a irrigação na época chuvosa deverá ser restrita às culturas de ciclo longo e proibida para as culturas anuais, principalmente se o reservatório

possuir um comportamento interanual. Nesse caso, permitir a retirada de água durante as chuvas significa restringir a irrigação no estio, que é, usualmente, a justificativa de implantação de tais projetos. Para reservatórios com comportamento intra-anual, a irrigação na época das chuvas resulta em uma diminuição da garantia do atendimento proporcional ao aumento da área irrigada. Para os projetos atendidos por reservatórios, a inclusão de culturas de ciclo longo deverá sofrer uma análise criteriosa.;

- Quanto à previsão de vazões de estiagem: a metodologia utilizada para prever o comportamento da bacia nos períodos de estiagem demonstrou ser adequada, capaz de avaliar, antecipadamente, qual será a contribuição da bacia com um elevada correlação entre os valores observados e calculados, mesmo que se tenha induzido a valores conservadores de vazão;
- Quanto à formulação de planos alternativos para irrigação em períodos críticos: a adoção de planos de exploração agrícola alternativos demonstrou ser um instrumento eficaz de preservação dos investimentos realizados, já que trouxe como resultado prático a obtenção de valores sempre positivos da margem de produção, parâmetro muito mais importante do que o valor da produção, já que incorpora os gastos dos produtores para atingir aquele resultado. Nas simulações sem previsão de vazão de estiagem, a adoção do plano agrícola estipulado no projeto original trazia como consequência a perda do dinheiro investido nas lavouras, sem que fosse possível obter a rentabilidade projetada por falta de água. Nas simulações com projeção, os agricultores sabem, com a antecedência possível, qual será a área a ser implantada com 100% de garantia de atendimento, se as condições de escoamento subsuperficial forem mantidas. Este benefício deve ser destacado, pois impede a imobilização e perda de recursos e frustrações frequentes por parte dos produtores;
- Quanto à queda dos rendimentos: a metodologia de previsão de queda de rendimento pelo não fornecimento do insumo “água” permite que um plano agrícola possa ser alterado de acordo com o grau de sensibilidade das culturas a essa deficiência. Em casos críticos de deficiência de água para a irrigação no período de estiagem, a gerência do projeto deverá orientar os agricultores para a seleção de culturas mais resistentes. A inclusão de lavouras de sequeiro na época das chuvas e que não poderão ser irrigadas, se o reservatório possuir característica de enchimento inter-anual, deverá ser estudada detalhadamente, já que usualmente os seus rendimentos são contabilizados como plenos na etapa de avaliação de

viabilidade econômica do empreendimento, sendo que a plenitude dos rendimentos não foi observada no presente estudo.

- Quanto ao controle da irrigação: o método utilizado para simulação considera que o agricultor só deve irrigar quando houver necessidade. Essa determinação necessita de acompanhamento do teor de água no solo e no estágio de desenvolvimento das culturas, que altera o valor do k_c . Para os perímetros já instalados, a existência e a eficiência desse controle devem ser verificadas antes de implantação de medidas estruturais mais dispendiosas.
- Quanto ao período de simulação: a simulação no período mensal demonstrou-se adequada para a etapa de planejamento, onde a tônica adotada foi a de gerar valores que trouxessem garantia para os produtores. Para a fase de operação, no entanto, esse intervalo deve ser reduzido para valores menores, como quinzena ou semana, quando será possível programar-se com maior eficiência a distribuição de água entre os diversos setores em que os perímetros de irrigação são usualmente divididos. Para tanto, faz-se recomendável instalar e operar estações climatológicas e fluviométricas no próprio perímetro, obtendo-se informações locais e mais adequadas ao gerenciamento.

A execução desse estudo também permitiu verificar possibilidades interessantes para novos estudos. Como recomendações para pesquisa, destacam-se os seguintes assuntos:

- inclusão da previsão de chuva no processo de simulação: o campo de previsão de precipitações para períodos cada vez mais distantes do instante presente tem recebido atenção nos últimos anos. Havendo metodologias adequadas para a previsão de precipitações ocasionais na época de estio em regiões com clima bem definido, o modelo poderia considerar essa contribuição, com certa margem de segurança, para aumentar a área irrigada;
- inclusão de novas culturas na simulação dos planos agrícolas: o presente estudo restringiu-se a alterar as áreas dentro do mesmo plano de exploração agrícola, pois não existiam dois elementos fundamentais para que isso fosse possível – o elenco de culturas adaptadas às condições de clima e solo e um estudo de mercado atualizado. Se estes elementos forem levantados, a simulação poderia ser realizada com maior precisão;
- adoção de rotinas de controle da eficiência de distribuição e aplicação de água pela irrigação: a eficiência do sistema de irrigação foi considerada como fixa e única para todo o sistema, quando é função de fatores como a textura do solo, revestimento dos canais, comprimento de sulcos, época de plantio, entre outros. A inclusão desses fatores será muito importante para a

aplicação real do modelo na gestão de perímetros de irrigação, sendo que poderão ser utilizados instrumentos e práticas atualizadas de gestão, como o transferir para um sistema de informações geograficamente referenciado e trabalhar com previsão em tempo atual;

- estudo de valores de k_y e k_c para um maior elenco de culturas: as informações sobre o comportamento das culturas são restritas a um pequeno grupo de plantas. Com o desenvolvimento contínuo de novas variedades e mudanças constantes na exigências dos mercados consumidores, uma atualização dos índices utilizados na simulação é necessária para garantir bons resultados;
- estudo do resultado do aumento da eficiência de irrigação: os perímetros já instalados e que apresentem resultados deficientes devidos à falta de água para irrigação, poderão ser estudados quanto aos efeitos do aumento da eficiência de irrigação, trocando o método de irrigação por outro mais eficiente ou investindo nas estruturas de distribuição de água. As perdas de água em canais de grande extensão deverão ser consideradas se houver a necessidade de restringir-se a área irrigada por falta de água, eliminando o fornecimento de água para áreas isoladas e muito afastadas do reservatório;
- estudo dos efeitos do grau de liberdade dado aos irrigantes: a adoção de planos alternativos para situações de falta de água, conforme já mencionado, demonstrou-se ser uma prática adequada de manejo do reservatório. A possibilidade dessa adoção, no entanto, está relacionada com o grau de liberdade que é dado aos agricultores para decidir quando, o que e quanto plantar. Para projetos que apresentem deficiências de água armazenada freqüentes e importantes, devem ser estudados os efeitos dos modelos rígidos de distribuição e controle do uso de água, reduzindo o grau de liberdade dos produtores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRONOMIA del Riego. 1993. Madrid: Mundi-Prensa. 732 p.
- AUD – Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro. s. d. Irrigação e tecnologia para a produção. Convênio AUD – M.M.A. – S.R.H. [Camaquã]
- BERNARDO, Salassier. 1989. Manual de irrigação. 5 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 596 p.
- BISWAS, A. K. 1990 Monitoring and evaluation of irrigation projects. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. V. 116, n. 2, p. 227-242.
- BRIGHETTI, Giorgio. 1986. Hidráulica de Canais. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Curso de elaboração de projetos. Brasília: PNI/Fundação CTH. P. T5.1-p.T5.51.
- CARVALHO, H. O. , HOLZAPFEL, E. A., LOPEZ, M. A., MARIÑO, M. A. 1998. Irrigated cropping optimization. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.124, n. 2, p. 67-72.
- CHANG, T. J., KEOPA, X. A., TEOH, C. B. 1995. Use of flood-control reservoirs for drought management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.121, n. 1, p. 34-42.
- CHÁVEZ-MORALES, J., MARIÑO, M. A., HOLZAPFEL, E.A. 1992. Planning simulation model of irrigation project. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. V. 118, n. 1, p. 74-87.
- CLEMMENS, A. J. 1992. Feedback control of basin irrigation system Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.118, n. 3, p. 480-496.
- CONSÓRCIO ECOPLAN ENGENHARIA LTDA. HIDROTÉCNICA PORTUGUESA. 1997. Projeto Pontal Norte: projeto básico. Porto Alegre: ECOPLAN/HP. v.1.
- DOOREMBOS, J. KASSAM, A.H. 1988. Effectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO. 211p. (Estudio FAO Riego y Drenaje n.33)

- DOOREMBOS, J. PRUITT, W.O. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: FAO. 193p. (Estudio FAO Riego y Drenaje n. 24)
- ECOPLAN ENGENHARIA, CONSULTORIA E PLANEJAMENTO LTDA. 1985. Projeto de irrigação nas áreas dos córregos Barbatimão e Barro Preto: plano agrícola e estudos hidroclimatológicos. [Porto Alegre]
- EFFERTZ, Ronald, OLSON, Douglas, VISSIA, Rod, ARRUMATEGUI, Humberto. 1993. Operação e manutenção de projetos de irrigação. Brasília: Secretaria de Irrigação. 492 p. (Manual de Irrigação n. 4)
- ENGLISH, M., NAKAMURA, B. 1989 Effects of deficit irrigation and irrigation frequency on wheat yields. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. V. 115, n. 2, p. 172-185.
- ESTUDOS agrônômicos e planejamento agrícola. 1998. In: CONSÓRCIO ECOPLAN-MAGNA. Projeto Pontal Sobradinho: Estudo de viabilidade, minuta. Porto Alegre: ECOPLAN-MAGNA. V.4, 1.2.
- GHANI, M. A., BHUYAN, S. I., HILL, R. W. 1989. Gravity irrigation management in Bangladesh. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v. 115, n. 4, p. 642-655.
- GUITJENS, J. C. 1993. Alfafa irrigation during drought. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.119, n. 6, p. 1092-1098.
- HATFIELD, J. L., ALLEN, R. G. 1996. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.122, n. 5, p. 301-308.
- KELLER, J., SIVANAPPAN, R. K., VARADAN, K. M. 1992. Design logic for deficit irrigation of coconut trees. Irrigation and Drainage Systems. London. v.6, n. 1, p. 1-7.
- LANNA, Antônio Eduardo Leão. 1993. Regularização de vazão em reservatórios. In: Tucci, Carlos Eduardo Morelli. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: EPUSP. Cap. 18, p. 703-725.

- MARTINS, José A. 1987. Reservatórios de acumulação e barragens. In: Técnica de abastecimento e tratamento de água. 2.ed. ver. São Paulo: CETESB. v.1, cap. 8, p. 255-315
- MOLDEN, D. J., CRATES, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. V. 116, n. 6, p. 804-823.
- MOLLE, François, CADIER, Eric, 1992. Manual do pequeno açude. Recife: SUDENE. 521 p.
- MOREIRA, Henrique José da Costa. 1993. S.A.A.C.I.: Sistema agro-climatológico para acompanhamento das culturas irrigadas; manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação. 90 p.
- OLSON, Douglas, CLAY, Donald, KYSAR, Larry. 1993. Planejamento Geral de Irrigação. Brasília: Secretaria de Irrigação. 474 p. (Manual de Irrigação n. 1)
- PORTO, Rubens La Laina. 1986. Bases hidrológicas para projetos de irrigação. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Curso de elaboração de projetos. Brasília: PNI/Fundação CTH. P. T2.1 – T2 – 11.
- RAMAN, H., MOHAN, S., RANGACHARYA, N. C. V. 1992. Decision support for crop planning during droughts. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.118, n. 2, p. 229-241.
- SAGARDOY, J.A., BOTRALL, A., VITTENBOGAARD, G. O. 1991. Organización, operación y mantenimiento de los sistemas de riego. Roma: FAO. 151 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje n. 40)
- STEINER, R. A., KELLER, A. A. 1992. Irrigation land management model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v.118, n. 6, p. 928-942.
- TAYFUR, G., TANJI, K. K., HOUSE, B., ROBINSON, F., TEUBER, L., KRUSE, G. 1995. Modeling deficit irrigation in alfafa production. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v. 121, n. 2, p. 442-448.

- TELLES, Dirceu D'Alkmin. 1986. Métodos de Irrigação. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Curso de elaboração de projetos. Brasília: PNI/Fundação CTH. P. T3.1 - T3-101
- TRACY, J.C, MARINÑO, M. 1989. Management model for control of on-farm irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. New York. v. 115, n. 6, p. 954-972.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. 1993. Escoamento superficial. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: EDUSP. Cap. 11, p 391-441.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. 1998. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. Da Universidade [UFRGS]:ABRH. 669 p.
- VILLANUEVA, Adolfo, ZAMANILLO, Eduardo, TUCCI, Carlos E. M. 1987. Previsão de vazão para irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7. : Salvador, 1987. Anais, São Paulo: ABRH. V.1, p 536 – 48
- VILLELA, Swami Marcondes, MATTOS, Artur. 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 237 p.
- WICHELNS, D., CONE, D. 1992. Farm-level and district efforts to improve water management during drought. Irrigation and Drainage Systems. London. v.6, n. 3, p. 189-199.