

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA À DECISÃO SOBRE  
ALOCAÇÃO DE ÁGUA ENTRE OS USOS IRRIGAÇÃO E  
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: O CASO DA BACIA  
DO RIO PRETO**

**BRUNO GOULART DE FREITAS MACHADO**

**ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**BRASÍLIA/DF: MAIO – 2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE ECONÔMICA APLICADA À DECISÃO SOBRE ALOCAÇÃO  
DE ÁGUA ENTRE OS USOS IRRIGAÇÃO E PRODUÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA: O CASO DA BACIA DO RIO PRETO**

**BRUNO GOULART DE FREITAS MACHADO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, Doutor. (ENC/FT/UnB)**  
**(Orientador)**

---

**Prof. Sergio Koide, Ph.D. (ENC/FT/UnB)**  
**(Examinador Interno)**

---

**Prof. Jerson Kelman, Ph.D. (COPPE/UFRJ)**  
**(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 25 MAIO DE 2009.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

MACHADO, BRUNO GOULART DE FREITAS

Análise Econômica Aplicada à Decisão sobre Alocação de Água entre os Usos Irrigação e Produção de Energia Elétrica: O Caso da Bacia do rio Preto [Distrito Federal] 2009.

xv, 145p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2009).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Análise Econômica

2. Alocação

3. Irrigação

4. Geração de Energia Elétrica

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

MACHADO, B. G. F. (2009). Análise Econômica Aplicada à Decisão sobre Alocação de Água entre os Usos Irrigação e Produção de Energia Elétrica: O Caso da Bacia do rio Preto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-121/2009, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 145p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Bruno Goulart de Freitas Machado.

TÍTULO: Análise Econômica Aplicada à Decisão sobre Alocação de Água entre os Usos Irrigação e Produção de Energia Elétrica: O Caso da Bacia do rio Preto.

GRAU: Mestre

ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Bruno Goulart de Freitas Machado

brgoulart@gmail.com

*Dedico este trabalho aos meus pais, Ednardo e Luzdalma Maria.*

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por tudo.

Aos meus pais, aos quais devo irrestrito apoio nos estudos, desde minha infância, além do suporte emocional para realização deste mestrado.

À Elisa, simplesmente por ser minha irmã.

À Melissa, pelo apoio, cumplicidade, amor e carinho.

Ao professor Oscar que, mesmo com o tempo bastante comprometido, não deixou de me prestar valiosa orientação (chegando a abrir as portas de sua casa), além de sempre me provocar algumas reflexões muito pertinentes. Considero um privilégio ter sido seu aluno e orientando de mestrado.

À Erliene, que foi indispensável no agendamento dos encontros com o Prof. Oscar, e por ter sido sempre muito prestativa.

Aos professores: Ariuska, Cristina, Goes, Marco Antônio, Koide, Nabil, Néstor e Ricardo, pelos importantes conhecimentos adquiridos em sala de aula.

Aos colegas da turma de 2007 do mestrado, pelos grandes momentos vividos juntos.

Àqueles que me deram suporte técnico em alguma das várias disciplinas desta dissertação: Távora, Diego, Gustavo, Bernardo, Davi, Wendy, muito obrigado.

Ao Ronaldo, colega do doutorado, pelas aulas magnas de geoprocessamento.

Ao agrônomo Lúcio Valadão, da Emater, pela enorme disposição em ajudar e pelas indispensáveis informações prestadas sobre agricultura na região do rio Preto.

À Cecília Mercio, engenheira do ONS, pela grande ajuda dispensada - mesmo estando no Rio de Janeiro - ajuda esta que foi vital à consecução deste trabalho, em sua forma originalmente concebida.

Ao especialista Alan Vaz Lopes da ANA, pela experiência teórica e prática transmitida na área de modelagem de sistemas de recursos hídricos.

Ao amigo Daniel Motta, companheiro de corrida pelas ruas do final do Lago Norte, e à amiga Maisa, grande incentivadora acadêmica.

Aos amigos Thiago de Castro e Fernando Faveri, pelo apoio e amizade.

Aos recentes colegas da ANEEL, Joaquim e Mariana, pela também recente valiosa ajuda.

## RESUMO

Esta dissertação tem o intuito de propor procedimento que permita analisar a questão da alocação de água entre dois usos distintos - irrigação e produção de energia elétrica -, com base em métodos da análise econômica, buscando contribuir em processos de tomada de decisão na área de planejamento e gestão de recursos hídricos. Nesse sentido, curvas de demanda pela água foram construídas para cada um dos respectivos usos em questão e a bacia do rio Preto foi a região hidrográfica escolhida para servir como caso de estudo para a presente análise.

A técnica empregada para a valoração da água na irrigação foi o método da *função de produção*. As informações requeridas por essa metodologia foram levantadas a partir de dados secundários, consultando-se parâmetros médios recomendados em trabalhos científicos e estatísticas oficiais de instituições públicas governamentais. Com respeito à geração hidroelétrica, a estratégia de valoração da água baseou-se em resultados de simulações do modelo de otimização utilizado no planejamento do setor elétrico brasileiro, o NEWAVE.

Simulações finais realizadas no modelo de alocação Aquanet corroboraram o fato de que uma análise dessa natureza deve levar em conta quatro aspectos principais: o tipo de cultura irrigada, as respectivas eficiências dos processos de irrigação e produção de energia, o local de plantio e de instalação do parque de geração hidroelétrica analisados, além da conjuntura macroeconômica interveniente a essas duas atividades produtivas.

Não obstante, essas constatações podem ser de grande valia para instituições responsáveis pela prática de regulação e gestão de recursos hídricos, uma vez que essas organizações comumente defrontam-se com diferentes usuários instalados em uma bacia hidrográfica, para os quais há distintas finalidades de utilização da água, além de diferentes benefícios percebidos em sua utilização. O procedimento ora proposto auxilia o estabelecimento de prioridades na alocação do recurso hídrico, sob a ótica de maximização do benefício econômico, de modo que seja levada em conta a supremacia do interesse público em detrimento de anseios particulares.

## ABSTRACT

This study proposes procedure to examine the issue of water allocation among two distinct uses - irrigation and energy production -, seeking to contribute to water planning and management decision-making processes. Therefore, economic curves for measuring marginal benefits associated to the two water uses in question were constructed and the rio Preto basin was the hydrographic region chosen to serve as case study for this analysis.

The technique employed for valuing water to irrigation was the *residual imputation approach*. The information required by this methodology has been raised from secondary data, as average parameters recommended in scientific studies and official statistics from government institutions. With respect to hydroelectric generation, the strategy pursued for evaluating the water was based on results from simulations of the optimization model used in the planning of the Brazilian electric sector, the NEWAVE.

Simulations carried out late in the allocation model AquaNet corroborated to the fact that such an analysis should take into account four main aspects: the kind of irrigated crop, the irrigation and hydroelectric processes' efficiency, the region where the agricultural and hydroelectric plants are installed, and the state-of-art of the macroeconomic variables related to these two economic activities.

It also might be considered that these findings may be of great value to institutions responsible for water resources planning and management practices, since these organizations are commonly faced with different users located in a same basin, for which there are different purposes of water uses, as well as distinguished benefits associated to these different utilizations. Nevertheless, the procedure proposed herein helps to establish priorities for water allocation, from a perspective of maximizing the economic benefit, so that is taken into account the primacy of public interest over private concerns.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. MARCO TEÓRICO E CONCEITUAL .....	5
3.1 Eficiência Econômica Aplicada à Valoração da Água.....	5
3.2 Valoração Econômica na Ausência de um Mercado de Preços.....	8
3.3 Métodos de Valoração da Água.....	11
3.3.1 Métodos de Valoração Indireta.....	12
3.3.2 Valoração Direta por Métodos de Mercados Construídos.....	15
3.3.3 Valoração Direta por Meio de Mudanças de Produtividade.....	16
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
4.1 Modelos e Técnicas para Representação de Sistemas de Recursos Hídricos.....	20
4.2 O Modelo MODSIM .....	26
4.3 O Modelo NEWAVE .....	30
4.4 Avaliação Econômica Aplicada à Alocação de Água em Sistemas de Recursos Hídricos .....	36
5. CASO DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO .....	40
6. METODOLOGIA.....	44
7. DEMANDA ECONÔMICA PARA A IRRIGAÇÃO.....	47
7.1 Identificação e Delimitação dos Pivôs-Centrais .....	47
7.2 Informações Econômicas.....	50
7.2.1 Produtividade Agrícola.....	52
7.2.2 Preços de Mercado dos Produtos Agrícolas .....	57
7.2.3 Custos de Produção .....	58
7.3 Estimativa do Consumo de Água na Irrigação .....	61
7.3.1 Evapotranspiração .....	61
7.3.2 Precipitação .....	62
7.3.3 Consumo de Água na Irrigação .....	64
7.4 Curva de Demanda para a Irrigação no Rio Preto.....	66
8. DEMANDA ECONÔMICA PARA A ENERGIA ELÉTRICA .....	71
8.1 Considerações Iniciais .....	71
8.2 Análise para o Sub-Sistema Sudeste/Centro-Oeste.....	73

8.3 Análise para o Sub-Sistema Nordeste .....	76
8.3.1 Considerações sobre o intercâmbio de energia entre os sub-sistemas.....	79
9. ANÁLISE DE ALOCAÇÃO DA ÁGUA NO RIO PRETO.....	88
9.1 Avaliação das Curvas de Demanda para o Rio Preto .....	88
9.2 Análise Econômica do Rio Preto no Aqanet .....	91
9.2.1 Entrada dos Dados no Aqanet .....	93
9.2.2 Simulação e Resultados do Caso de Estudo .....	97
9.2.3 Análise dos Resultados da Primeira Simulação .....	99
9.2.4 Análise dos Resultados da Segunda Simulação .....	103
9.3 Procedimento para Alocação de Água no Rio Preto .....	105
10. CONCLUSÕES .....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	113
APÊNDICES .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Número de Usuários Cadastrados na Bacia do Rio Preto.....	42
Tabela 5.2 – Vazões Captadas na Bacia do Rio Preto.....	42
Tabela 7.1 – Produtividade Média das Principais Culturas .....	53
Tabela 7.2 – Produtividade Agrícola dos Municípios .....	54
Tabela 7.3 – Preço Médio para as Culturas .....	58
Tabela 7.4 – Custos de Produção do Feijão de Sequeiro .....	59
Tabela 7.5 – Custos de Produção do Feijão Irrigado.....	59
Tabela 7.5 (Continuação) – Custos de Produção do Feijão Irrigado.....	60
Tabela 7.6 – Resumo dos Custos de Produção.....	60
Tabela 7.7 – Evapotranspiração de Referência na Estação de Unai.....	61
Tabela 7.8 – Código e Área de Influência dos Postos Pluviométricos Utilizados .....	64
Tabela 7.9 – Consumo de Água para as Culturas Irrigadas.....	64
Tabela 7.9 (Continuação) – Consumo de Água para as Culturas Irrigadas.....	65
Tabela 7.10 – Cálculo do Valor da Água para uma Célula Produtiva.....	67
Tabela 8.1 – Intercâmbio Líquido no SIN - MWmédios.....	80
Tabela 8.2 - Produtibilidades de Queimado e das Usinas Imediatamente a Jusante .....	83
Tabela 9.1 – Dados Requeridos pelo Aquanet em Relação ao Reservatório de Queimado	94
Tabela 9.2 – Consumo Mensal para a Irrigação no Rio Preto.....	95
Tabela 9.3 – Hierarquização das Prioridades Econômicas no AquaNet .....	98
Tabela 9.4 – Resultados Obtidos para a Simulação 1 .....	100
Tabela 9.5 – Resultados Obtidos para a Simulação 2 .....	100

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fronteira de Possibilidades de Utilidade.....	7
Figura 3.2 – Mudanças no Excedente Econômico Provocadas por Alterações no Suprimento de Água.....	13
Figura 4.1 - Programação Dinâmica Aplicada a um Reservatório de Geração de Energia.	26
Figura 4.2 - Esquema de Rede de Fluxo do MODSIM .....	28
Figura 4.3 - Decisão Ótima de Operação de Sistemas Hidrotérmicos .....	32
Figura 4.4 – Discretização da Operação de um Reservatório em Estados e Estágios.....	33
Figura 4.5 – Considerações sobre o Cálculo do Custo Operativo em cada Estado.....	34
Figura 4.6 - Cálculo do Primeiro Segmento da Função de Custo Futuro.....	35
Figura 4.7 – Esquema de Construção da Função de Custo Futuro.....	35
Figura 5.1 – Mapa Hidrográfico-Político da Bacia do Rio Preto .....	41
Figura 5.2 – Principais Culturas Praticadas na Bacia do Rio Preto.....	43
Figura 6.1 – Fluxograma da Metodologia Proposta .....	46
Figura 7.1 – Detalhe dos Pivôs-Centrais .....	48
Figura 7.2 – Caracterização dos Pivôs-Centrais.....	49
Figura 7.3 – Distribuição de Pivôs-Centrais.....	50
Figura 7.4 – Calendário Produtivo de Grãos .....	52
Figura 7.5 - Municípios Componentes da Bacia do Rio Preto .....	54
Figura 7.6 – Variabilidade da Produtividade das Culturas Irrigadas.....	56
Figura 7.7 – Variabilidade da Produtividade das Culturas de Sequeiro.....	57
Figura 7.8 – Método de Thiessen para o Cálculo da Chuva Média.....	63
Figura 7.9 – Irrigação por Pivô-Central no Rio Preto .....	65
Figura 7.10 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 1 .....	68
Figura 7.11 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 2 .....	68
Figura 7.12 – Curvas de Demanda de Água para a Irrigação no Rio Preto.....	70
Figura 8.1 – Trecho do Arquivo de Saída do NEWAVE .....	72
Figura 8.2 – Custo Marginal de Operação para a Região Sudeste e Centro-Oeste .....	73
Figura 8.3 – Diferença dos Resultados entre as Duas Simulações.....	74
Figura 8.4 – Correlação entre ENA Sudeste/Centro-Oeste e as Vazões Naturais em Queimado .....	75

Figura 8.5 – Correlação entre ENA da Região Nordeste e as Vazões Naturais em Queimado .....	76
Figura 8.6 – Comparação entre CMOs ao Longo do Histórico Simulado .....	77
Figura 8.7 – Custo Marginal de Operação para a Região Nordeste .....	78
Figura 8.8 – Exemplo de Intercâmbio no SIN.....	79
Figura 8.9 - Custo Marginal da Operação para o Nordeste após Análise de Intercâmbio ..	82
Figura 8.10 – Topologia das Usinas Hidrelétricas na Bacia do Rio São Francisco .....	83
Figura 8.11 - Valor da Água para Geração de Energia Elétrica – Caso 1 .....	84
Figura 8.12 – Custo Marginal de Operação em Termos de Vazão Afluente – Caso 1.....	85
Figura 8.13 - Valor da Água para Geração de Energia Elétrica – Caso 2.....	85
Figura 8.14 – Custo Marginal de Operação em Termos de Vazão Afluente – Caso 2.....	86
Figura 9.1 – Curvas de Demanda para Água na Bacia do Rio Preto.....	89
Figura 9.2 – Divisão da Disponibilidade Hídrica no Rio Preto.....	92
Figura 9.3 – Esquema da Rede de Fluxo da Bacia do Rio Preto no AquaNet .....	93
Figura 9.4 – Confecção da Curva de Benefício Marginal no Aquanet.....	95
Figura 9.5 – Parâmetros Econômicos Calculados pelo Aquanet.....	96
Figura 9.7 – Déficit na Demanda de Vazões Turbinadas .....	101
Figura 9.8 – Déficit no Atendimento ao Irrigante de Montante .....	102
Figura 9.9 – Benefícios Econômicos dos Irrigantes .....	102
Figura 9.10 – Déficit na Demanda de Vazões Turbinadas .....	103
Figura 9.11 - Permanências dos Benefícios Econômicos Auferidos pelos Irrigantes .....	104
Figura 9.12 - Permanências dos Benefícios Econômicos no Rio Preto.....	105
Figura 9.13 – Procedimento para Alocação Econômica da Água no rio Preto .....	107

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

$A$	Conjunto de todos os Arcos
ANA	Agência Nacional de Águas
$\alpha_t$	Fator de Desconto
$b_{it}$	Ganho ou Perda do nó $i$ , no instante $t$
$B_p$	Benefício da Preservação
$C$	Matriz de Conectividade
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
$c_k$	Custo por Unidade de Fluxo no arco $k$
CMO	Custo Marginal de Operação
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
$d_t$	Demanda do sistema no instante $t$
$Dw(p)$	Função Demanda para a Água
$\Delta EC$	Variação do Excedente do Consumidor
$E$	Valor Esperado
$Ea$	Eficiência de Irrigação
ELETOBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMATER/DF	Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENA	Energia Natural Afluente
$e_t$	Vetor de perdas por evaporação no instante $t$
$ET_o$	Evapotranspiração de Referência
$ET_{pc}$	Evapotranspiração Potencial da Cultura
$ET_{rc}$	Evapotranspiração Real Média da Cultura
FCI	Função de Custo Imediato
FCF	Função de Custo Futuro
$f_i(s_b, r_t)$	Função Objetivo
$F_{t+1}(s_{t+1}, q_t)$	Função de Custo Futuro
$\varphi_{T+1}(s_{T+1})$	Benefícios ou Custos Futuros
FGV	Fundação Getúlio Vargas

$g_t$	Montante de Energia Produzido
$I$	Total de Unidades Térmicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
$I_i$	Arcos com término no nó $i$
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
$ITN$	Lâmina d'água necessária à Irrigação
$J$	Total de Unidades Hidráulicas
$Kc$	Coefficiente de Cultura
$Ks$	Fator de Correção da Umidade do Solo
$l_{kt}$	Capacidade Máxima de Transporte no Arco $k$
M.Sc.	Mestre em Ciências
$N$	Conjunto de todos os Nós
$O_i$	Arcos com origem no nó $i$
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
$OPRP_i$	<i>I-ésimo</i> Fator de Prioridade Definido pelo Usuário
$Px_i$	Preço do insumo $i$
$Px_w$	Valor da Água
$Pz$	Preço do Produto $z$
PDDE	Programação Dinâmica Dual Estocástica
Pe	Precipitação Efetiva
PGIRH	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal
$Pmg_i$	Produtividade Marginal do Insumo $i$
$\pi$	Lucro da Firma
$q_k$	Vazão no Arco $k$
$r_t$	Capacidade de Engolimento
SEAPA	Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Minas Gerais
SEINFRA	Secretaria de Infra-Estrutura e Obras do Distrito Federal
SIN	Sistema Interligado Nacional
$s_t$	Armazenamento no instante $t$
$T$	Horizonte de Planejamento
UHE	Usina Hidrelétrica
$u_{kt}$	Capacidade Mínima de Transporte no Arco $k$

USP	Universidade de São Paulo
$V_e$	Valor de Existência
$V_o$	Valor de Opção
$VPM_i$	Valor do Produto Marginal do Insumo $i$
$VPM_w$	Valor do Produto Marginal da Água
$VTP_z$	Valor Total do Produto $z$
$V_u$	Valor de Uso
$X_i$	Quantidade do Insumo $i$
$X_w$	Quantidade de Água
$y_t$	Déficit de Energia
$Z$	Função de Produção da Firma

# 1. INTRODUÇÃO

A Política de Recursos Hídricos no Brasil foi instituída pela Lei 9.433 em 8 de Janeiro de 1997. Conhecida, também, como Lei das Águas, essa norma regulamenta o que prevê o texto constitucional sobre a competência privativa do Estado em instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios para outorga de direitos de uso da água.

Esse marco regulatório estabelece os principais fundamentos para a gestão de recursos hídricos no país, dentre os quais, destacam-se as seguintes assertivas: (i) *a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico* e (ii) *a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas*.

Essas diretrizes vêm ao encontro das modernas práticas de gerenciamento de recursos naturais – incluindo-se, nessas, o manejo de recursos hídricos - que requerem a articulação de quatro mecanismos de gestão principais (Porto e Lobato, 2004): (i) os tradicionais instrumentos de comando-e-controle, específicos do aparato institucional do Estado, que visam a assegurar as garantias estabelecidas na legislação; (ii) a descentralização da gestão por meio de mecanismos de responsabilização compartilhada entre o Estado e a sociedade civil organizada; (iii) a incorporação de instrumentos econômicos com vistas a compatibilizar o comportamento econômico das atividades produtivas aos requisitos de preservação ambiental e (iv) incentivos à adoção voluntária dos agentes econômicos às diretrizes ambientais, por meio da emissão de certificados de qualidade ambiental.

Uma das principais razões para a adoção de instrumentos econômicos como ferramentas de suporte à gestão, mais especificamente na área de recursos hídricos, é a possibilidade desses instrumentos induzirem o mercado a internalizar os custos incorridos pela utilização da água nos processos produtivos da economia. Ademais, procura-se incluir, nesses custos, as características particulares da água no que tange à sua variabilidade no espaço e no tempo, bem como suas variantes qualitativas em ambas as circunstâncias.

Nesse contexto, o papel desempenhado pela análise econômica pode ser de grande utilidade ao processo decisório, pelo fato de agregar uma série de alternativas analíticas,

dentre as quais se incluem a estimativa de demandas futuras, estudos de viabilidade financeira, emprego de técnicas de valoração econômica e medidas de eficiência na alocação de recursos. Esse conjunto de instrumentos, somado ao cabedal de conhecimento adquirido sobre os processos hidrológicos e ao ferramental analítico próprio do campo da engenharia, proporciona um significativo ganho em alternativas para a gestão e implementação de políticas públicas na área de recursos hídricos (Heinz *et al.*, 2007).

Não obstante, os requisitos estabelecidos pela legislação brasileira, os quais pressupõem o uso compartilhado da água entre diversos usuários, levam, inevitavelmente, à prescrição de critérios de prioridades e regulamentação da sua utilização. A Lei 9.433/97, expressamente, reserva a prioridade de uso ao abastecimento humano e à dessedentação de animais. Para os demais – irrigação, navegação, recreação, hidroeletricidade, controle de cheias -, não há preferências previamente estabelecidas, sendo que compete ao decisor público defini-las, levando-se em conta aspectos de eficiência econômica, e, também, os não menos importantes requisitos sociais - como equidade e redistribuição da riqueza - e de sustentabilidade ambiental, como manutenção da qualidade da água e preservação de ecossistemas.

Com efeito, a complexidade envolvida em todo esse processo decisório leva, invariavelmente, à recorrência das metodologias calcadas em alguma racionalidade para que as resoluções atendam, da melhor forma possível, às expectativas dos vários segmentos da sociedade. Nesse sentido, o trato econômico da água compatibiliza a utilização desse recurso com as atividades que agregam valor a esse insumo, de forma que sejam priorizadas as alternativas que maximizem o produto interno líquido gerado na bacia hidrográfica.

É com esse enfoque que se propõe, neste trabalho, desenvolver abordagem que permita avaliar um caso de estudo para o qual se prevê um cenário de conflito pela utilização da água entre dois importantes setores da economia – irrigação e geração de energia elétrica - e, dessa maneira, avaliar a aplicação de uma metodologia baseada em critérios econômicos para auxiliar o processo de tomada de decisão em casos similares de gerenciamento da água em bacias hidrográficas.

Este documento é composto pelo total de dez partes. Além desta introdução, os objetivos que se pretendiam atingir ao final da realização deste trabalho são elencados no segundo item que se segue. O capítulo três abriga os conceitos teóricos da análise econômica associados ao tratamento econômico da água. A revisão bibliográfica é apresentada no quarto item e a quinta seção contém uma descrição da bacia na qual foi desenvolvido o estudo de caso. No sexto capítulo, discorre-se sobre a metodologia empregada para o desenvolvimento deste estudo.

Nos capítulos sete e oito, dispõem-se, em maior detalhe, os procedimentos realizados para a estimativa do valor da água para a irrigação e produção de energia elétrica, respectivamente. Na nona seção, realizam-se simulações para a alocação da água na bacia hidrográfica objeto deste estudo, a partir das duas demandas econômicas confeccionadas nos itens anteriores. Por fim, o capítulo dez contém as principais conclusões em relação aos procedimentos realizados ao longo de todo o trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta dissertação de mestrado é desenvolver procedimento que permita analisar a questão da alocação de água entre dois usos distintos, irrigação e geração de energia elétrica, com base em métodos de avaliação econômica, buscando contribuir para processos de tomada de decisão na área de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar, discutir e avaliar métodos econômicos aplicáveis a uma decisão sobre alocação de água entre dois usos;
- Discutir e avaliar o valor econômico da água, na condição desse bem como insumo para o processo de irrigação;
- Discutir e avaliar o valor econômico da água para produção de energia elétrica, com base no atual modelo do setor elétrico brasileiro;
- Avaliar o potencial de uso de métodos econômicos, combinado a sistemas de simulação de recursos hídricos, como instrumentos para resolução de problemas envolvendo conflitos pelo uso da água.

### 3. MARCO TEÓRICO E CONCEITUAL

#### 3.1 EFICIÊNCIA ECONÔMICA APLICADA À VALORAÇÃO DA ÁGUA

Investimentos públicos na área de recursos hídricos constituem uma importante parcela do montante total gasto em infra-estrutura de um país. A estimativa dos benefícios econômicos é um instrumento de grande importância para o auxílio à tomada de decisão no contexto do setor de recursos hídricos onde, não raro, há múltiplos usos, setores e usuários envolvidos. Esses recursos, antes de serem aplicados, requerem um estudo de viabilidade econômica com intuito de aferir não só a rentabilidade financeira do projeto, mas, também, o benefício líquido gerado pelo mesmo à sociedade.

Todavia, o que se observa, em muitos casos práticos da área de recursos hídricos, é uma superestimativa do cálculo, ainda em sua fase de viabilidade, do benefício líquido gerado para a sociedade oriundo da implantação de um empreendimento. Essa constatação reforça a idéia de se dispor procedimentos mais rigorosos - que levem em conta critérios de eficiência econômica - para a contabilização da renda líquida gerada pelo gasto público nesse setor (Young, 1996).

Considerações sobre eficiência econômica não são relevantes somente nos casos de análises de viabilidade de projetos de infra-estrutura. Outra classe importante de medidas, nas quais se faz necessária a estimativa do valor econômico da água, diz respeito à definição de políticas públicas para alocação da água. Nesses casos, o objetivo da análise é estimar o volume de água que deve ser outorgado para um determinado usuário, levando-se em consideração que essa decisão pode implicar na restrição de consumo ou de disponibilidade para outros usuários situados em uma mesma bacia hidrográfica.

Em economia, análises que visam à eficiência na alocação de recursos são exemplos típicos em que se pode empregar o conceito de *eficiência de Pareto*<sup>1</sup>. A despeito de todo o rigor matemático que está por trás do enunciado desse princípio, o mesmo estabelece que o

---

<sup>1</sup> Termo em homenagem ao economista italiano Vilfredo Pareto (1848-1923), que desenvolveu o conceito de eficiência nas trocas.

equilíbrio na alocação de um recurso é tido como eficiente quando não é mais possível aumentar o ganho de utilidade de um usuário sem que haja a diminuição da utilidade percebida por outro. Essa assertiva equivale a afirmar que o conceito de alocação ótima ocorre quando os benefícios marginais de utilização de um serviço ou bem são iguais aos custos marginais de provisão do mesmo (Pindyck e Rubinfeld, 2002).

O princípio de Pareto é uma construção teórica idealizada sobre a realidade baseando-se nos seguintes axiomas (Maler, 1985 *apud* Young, 1996): (i) supõe-se que todos os indivíduos ajam de maneira racional e que as suas preferências individuais sejam válidas, ou seja, o bem-estar da sociedade como um todo pode ser entendido como sendo o resultado agregado das preferências individuais de seus indivíduos; (ii) pressupõe-se que o indivíduo é o melhor avaliador do seu próprio bem-estar; e (iii) uma mudança que leve a uma melhora na satisfação de todos os indivíduos, sem que haja diminuição do bem-estar de qualquer outro, consiste em uma mudança positiva do bem-estar geral de todos.

A noção de eficiência pode ser ilustrada com o modelo de sociedade em que haja dois indivíduos, dois bens e duas empresas produzindo cada um desses bens. A teoria microeconômica mostra que é possível obter uma *fronteira de possibilidade de utilidade*, como apresentada na Figura 3.1. Essa fronteira estabelece todas as combinações de utilidade de cada indivíduo, compatíveis com a disponibilidade de recursos produtivos, com as tecnologias e com as funções-utilidade de ambos os indivíduos (Mueller, 2007).

O conceito de utilidade está associado com o comportamento do consumidor. A princípio, a utilidade poderia ser interpretada como um valor subjetivo que indica o nível de satisfação de um indivíduo em face do consumo de um produto ou serviço. Entre os economistas, entretanto, é freqüentemente útil atribuir valores numéricos a cada opção de consumo, de modo que a utilidade passa então a significar o valor numérico que corresponde ao nível de satisfação que o consumidor obtém sobre uma lista com quantidades específicas de um ou mais bens ou serviços (Pindyck e Rubinfeld, 2002).

Para uma dada disponibilidade de recursos – mantendo-se constantes a tecnologia e as preferências individuais –, a fronteira de possibilidade de utilidade divide o espaço da combinação de utilidades dos dois indivíduos em uma área factível (a que está abaixo da

fronteira) e outra não factível (situada acima da mesma). Uma alocação de recursos eficiente é aquela localizada sobre a linha de fronteira (Mueller, 2007).

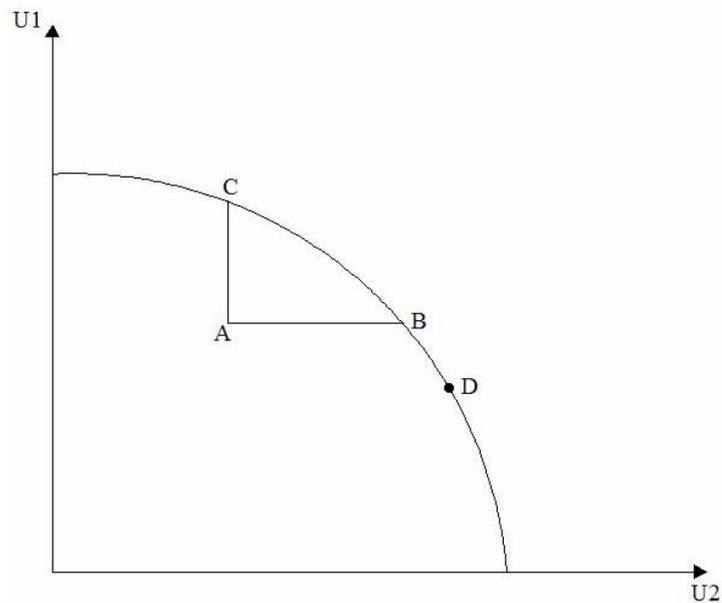


Figura 3.1 – Fronteira de Possibilidades de Utilidade

Com efeito, os dois eixos coordenados ( $U_1$  e  $U_2$ ) na Figura 3.1 representam as respectivas utilidades de cada indivíduo, e os pontos B, C e D representam combinações de recursos eficientes para ambos. Em relação ao ponto A, o rearranjo na alocação de recursos que leve à maximização da utilidade global, só poderá ser considerada eficiente, no sentido de Pareto, se for concebida dentro da fronteira delimitada pelos pontos B e C. Fora dessa região, um movimento que vise ao incremento de satisfação de um indivíduo necessariamente leva à redução da satisfação percebida pelo outro.

Segundo a doutrina da análise econômica neoclássica, o funcionamento de mercados livres conduz a alocações eficientes de recursos na economia, sob certas condições e hipóteses. Essas hipóteses podem ser consideradas pouco realistas, mas constituem uma abstração teórica necessária que permite a análise de aspectos do funcionamento das economias. A seguir, mostram-se quais são essas condições para que o funcionamento de um mercado seja considerado ideal (Mueller, 2007): (i) existência de mercados para todos os recursos produtivos; (ii) funcionamento em regime de concorrência perfeita; (iii) os agentes econômicos dispõem de informação perfeita sobre o funcionamento do mercado; (iv) as

funções-utilidade e de produção apresentam condições de convexidade<sup>2</sup>; (v) os direitos de propriedade são claramente definidos e respeitados; e (vi) ausência de externalidades.

Seroa da Motta (1998) expõe que as condições exigidas para garantir eficiência nas alocações de mercado são geralmente violadas e exigem ações governamentais. Esses desvios são chamados de falhas de mercado. Constituem exemplos dessas imperfeições: (i) a existência de monopólios ou oligopólios que não asseguram um mercado de concorrência perfeita; (ii) existência de altos custos de transação nas atividades de troca; (iii) ocorrência de externalidades; e (iv) as próprias distorções de ações governamentais que, a princípio, tenderiam a corrigir uma imperfeição num setor e acabam por gerar imperfeições em setores distintos.

Um órgão gestor de recursos hídricos comumente se defronta com diferentes usuários instalados em uma bacia hidrográfica, para os quais há distintas finalidades de uso da água e diferentes benefícios percebidos pela sua utilização<sup>3</sup>. O instrumental analítico da teoria microeconômica pode ser de grande valia para avaliar casos concretos de gestão de recursos hídricos quando, por exemplo, há conflitos de interesse pelo uso da água entre setores distintos da atividade econômica. Nesses casos, a análise visa a estabelecer prioridades de uso e, também, os volumes que devem ser alocados, dentre os diferentes usuários, de modo que haja maximização do benefício econômico, sob a ótica da supremacia do interesse público.

### **3.2 VALORAÇÃO ECONÔMICA NA AUSÊNCIA DE UM MERCADO DE PREÇOS**

Políticas públicas na área de recursos hídricos produzem efeitos que, em geral, recaem sobre uma dimensão econômica, que, por sua vez, pode ser tanto positiva, quanto negativa.

---

<sup>2</sup> Condição advinda da teoria do consumidor na qual se supõe que à medida que maiores quantidades de uma mercadoria são consumidas, espera-se que o consumidor prefira abrir mão de cada vez menos unidades de uma segunda mercadoria para obter unidades adicionais da primeira (Pindyck e Rubinfeld, 2002).

<sup>3</sup> Ademais, a utilização da água implica em externalidades diferenciadas e em condicionantes financeiras distintas, conforme o tipo e a característica de cada usuário.

A resolução de conflitos pelo uso da água requer a identificação e a comparação dos benefícios e dos custos envolvidos, dentre um conjunto de possibilidades de análises, em confronto com múltiplas alternativas e interesses por parte dos usuários. Benefícios são os efeitos desejáveis de uma proposta, enquanto os custos podem ser avaliados como os impactos indesejáveis. O balanço entre os custos e benefícios na implantação de uma medida ou projeto é conhecido como análise de custo-benefício.

A análise de custo-benefício é firmemente apoiada na economia do bem-estar neoclássica, principalmente no que diz respeito à observância do critério de Pareto. Inicialmente, essa análise só considerava os custos e benefícios econômicos diretos associados a uma política ou projeto. Com o tempo, passou-se a agregar também custos indiretos, incluindo-se nesses, os sociais. Mais recentemente, também passaram a fazer parte do escopo dessa análise alguns impactos e benefícios de origem ambiental (Mueller, 2007).

A experiência prática mostra que, dificilmente, intervenções em políticas podem produzir uma melhora do bem-estar social sem que haja alguma perda de utilidade percebida por alguns indivíduos. A saída dos economistas para esse impasse foi a de que, se os beneficiários de uma medida puderem compensar aqueles que perderam com esta e, ainda assim, permanecerem em uma condição melhor do que a anterior, a mudança será avaliada como positiva (Young, 1996).

Todavia, a afirmação de que um projeto, após ter sido avaliado como viável pelo emprego da análise custo-benefício, sempre levaria a um aumento do bem-estar social, apresenta algumas ressalvas quanto à sua validade. Mueller (2007) expõe que são extremos os pressupostos básicos requeridos para que essa conclusão seja aceita indiscriminadamente. Uma dessas prerrogativas é a de que a utilidade marginal do consumo seja igual para todos os indivíduos. Ademais, a teoria do equilíbrio geral mostra que, em casos de distribuição de renda muito desigual, podem ocorrer, por exemplo, ganhos maiores para os indivíduos mais abastados na distribuição de renda da economia.

Essa mesma ressalva é discutida por Griffin (1998). Esse autor comenta que, inevitavelmente, haverá experiências de perda por alguns indivíduos quando da implantação de um projeto qualquer. Sob o ponto de vista geral da sociedade, o saldo da análise de custo-benefício pode ser positivo, mas, entretanto, deve-se ter o cuidado para

que as inevitáveis perdas inerentes a cada projeto não recaiam majoritariamente sobre aquelas pessoas que já se encontram em circunstâncias desfavoráveis como, por exemplo, a população de baixa renda.

Nesse sentido, enquanto a estimativa dos custos para um projeto - por meio da tomada de preços dos insumos existentes no mercado privado -, pode servir como bom indicador do real valor incorrido pela sociedade com a implantação desse novo projeto, deve-se ter sempre em mente que a estimativa desses valores deve ser pautada pelos custos de oportunidade sociais, os quais, nem sempre, coincidem com os preços vigentes de mercado (Griffin, 1998).

Como exemplo, o referido autor cita o caso de uma região que enfrenta elevada taxa de desemprego. Nessas circunstâncias, o custo de oportunidade social de se contratarem trabalhadores dessa localidade é provavelmente baixo, uma vez que os mesmos permaneceriam desempregados, caso não houvesse ali, a perspectiva de um novo projeto sendo implantado. Com efeito, os salários recebidos por esses trabalhadores superariam os seus respectivos custos de oportunidade, resultando em um saldo positivo para o balanço de custos e benefícios envolvidos nesse caso em particular.

Outro viés da tomada de preços de bens e serviços em mercados reais diz respeito ao conceito de preços-sombra (do inglês, *shadow prices*). De acordo com Mueller (2007), a estimativa de preços sombra é recomendada sempre que os preços de mercado dos fatores, insumos ou produtos, apresentem-se distorcidos, seja pelo funcionamento de mercados imperfeitos, seja por intervenções governamentais ou por presença de externalidades.

Segundo Young (1996), independentemente da fonte, os preços utilizados na análise custo-benefício são interpretados como sendo a disposição a pagar por um bem ou serviço por consumidores individuais, produtores ou unidades do governo. Ademais, para bens ou serviços para os quais não há um mercado de preços bem definidos, a medida da disposição a pagar consiste na base teórica na qual os preços-sombra são calculados.

Outra questão importante, que não pode ser omitida quando da análise de viabilidade de projetos públicos, diz respeito ao efeito do tempo sobre a unidade de valor do capital. Esse conceito é oriundo do fato de que os indivíduos, segundo o jargão econômico, possuem

“taxas privadas de preferência sobre o tempo”, que expressam os seus respectivos *trade-offs* em deter ou consumir uma unidade de valor hoje ou deixar para fazê-lo no futuro. A essa taxa dá-se o nome de *taxa de juros* sobre o capital e a mesma é utilizada para o desconto dos benefícios e custos futuros, em consonância com o horizonte de planejamento estabelecido. Inferências sobre taxas de juros adequadas podem ser feitas em mercados financeiros, onde comumente se observam transações de empréstimos e créditos entre particulares (Griffin, 1998).

Recentemente, a necessidade de incluir a dimensão ambiental de forma mais abrangente na avaliação de projetos levou a análise de custo-benefício a considerar o valor econômico total, o qual engloba, a despeito dos impactos diretos e indiretos, a estimativa do benefício líquido da preservação. Esse benefício inclui três categorias de valores: (i)  $V_u$  (valor de uso) que corresponde ao benefício que os usuários estimam usufruir do uso direto do recurso ambiental; (ii)  $V_o$  (valor de opção) que trata da utilidade líquida auferida pelos indivíduos que, em um dado momento, não estão usufruindo desse, mas que podem fazê-lo no futuro; e (iii)  $V_e$  (valor de existência) que é o montante atribuído pela sociedade à mera existência do meio ambiente preservado, ou seja, está associado à manutenção do recurso ambiental intocado.

Supondo que seja viável estimar essas três categorias de valores de preservação, o benefício da preservação ( $B_p$ ) compreenderia a soma desses três valores mencionados. Ou seja:

$$B_p = V_u + V_o + V_e \quad (3.1)$$

### 3.3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO DA ÁGUA

A avaliação do valor dos custos e benefícios, em termos monetários, aplicada à análise de custo-benefício, pode ser contextualizada em três diferentes tipos. O primeiro deles refere-se à hipótese de haver um mercado bem estabelecido para a tomada de preços (Young, 1996). Essa assertiva requer os pressupostos teóricos do funcionamento de mercados perfeitos, hipóteses essas já exploradas em seção anterior (item 3.1).

O segundo tipo previsto de realidade econômica é aquela em que há existência de um mercado, mas que, no entanto, é tido como imperfeito, ou seja, não há condições plenas de competição e, por conseguinte, os preços não refletem a real disposição a pagar dos seus constituintes. No outro extremo, podem-se ter casos em que não haja qualquer mercado para valoração de insumos ou rendas, como ocorre em exemplos práticos de estimativas dos benefícios da preservação ambiental, de recreação, ou danos decorrentes da degradação da qualidade da água. Esses dois últimos tipos – mercados imperfeitos e ausência completa de mercado - são os mais presentes em projetos de valoração no contexto do planejamento em recursos hídricos. Como já discutido anteriormente, àqueles preços cujo mercado não reflete a internalização completa de seus custos dá-se o nome de preços-sombra (Young, 1996).

Segundo a classificação adotada por Mueller (2007), as técnicas de valoração econômica de benefícios e custos ambientais podem ser agrupadas nas seguintes categorias: (i) técnicas que se valem diretamente de preços e valores de mercado, ou que se apóiam nas mudanças de produtividade causadas pela alteração ambiental; (ii) métodos de mercados substitutos (métodos indiretos de valoração); e (iii) valoração direta por métodos de mercados construídos.

A seguir, serão abordadas algumas características dentre os principais métodos de valoração econômica de recursos ambientais, tendo-se como foco o recurso água. Pelo fato de um método em especial – metodologia da função de produção - ser o que terá maior importância neste trabalho, optou-se por fazer sua descrição de forma mais ampla na seção 3.3.3, último item deste capítulo.

### **3.3.1 Métodos de Valoração Indireta**

Essas técnicas assumem que a variação da disponibilidade da água altera a disposição a pagar ou aceitar dos agentes econômicos em relação àquele recurso ou seu bem privado

complementar<sup>4</sup>. Dessa forma, esses métodos aferem os valores econômicos (preços-sombra) com base em uma função de demanda derivada de mercados de bens e serviços privados complementares à água. A estimativa da função de demanda permite captar as medidas de disposição a pagar (ou aceitar alterações) dos indivíduos em relação às variações de disponibilidade da água (Seroa da Motta, 1998). Com base nessas medidas, estimam-se as variações do nível de bem-estar por meio da contabilização do excedente do consumidor frente às variações de disponibilidade do recurso em questão.

Pindyck e Rubinfeld (2002) definem excedente do consumidor como sendo a medida de quão melhor será a satisfação das pessoas, em conjunto, por poderem adquirir um produto no mercado. Em outros termos, pode ser entendido como sendo a diferença entre o preço que um consumidor estaria disposto a pagar por uma mercadoria e aquele preço que efetivamente é pago.

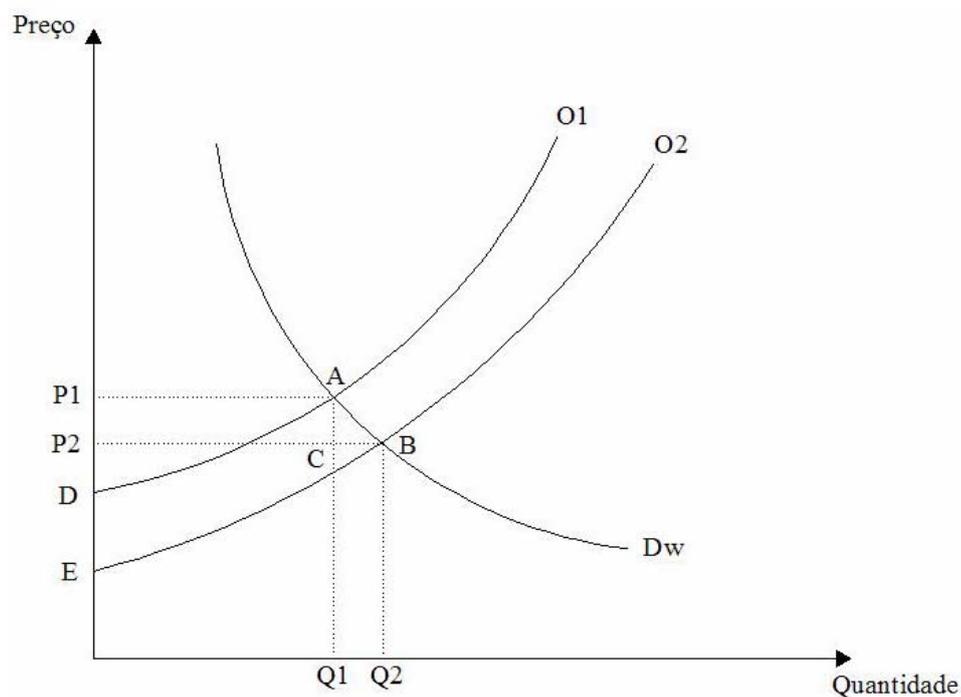


Figura 3.2 – Mudanças no Excedente Econômico Provocadas por Alterações no Suprimento de Água

<sup>4</sup> Dois bens são complementares se uma variação de preço de um deles acarreta em uma variação na quantidade demandada do outro em sentido oposto.

A área delimitada pelos pontos  $P_1ABP_2$  na Figura 3.2 representa o ganho experimentado pelos consumidores resultante do deslocamento da curva de suprimento de água para direita, o que acarretou no deslocamento do preço de equilíbrio de  $P_1$  para  $P_2$ . Com a variação da quantidade de  $Q_1$  para  $Q_2$ , o excedente do produtor modificou-se de  $P_1AD$  para  $P_2BE$ . O ganho líquido de excedente econômico – a soma de todas as perdas e ganhos para ambos consumidores e produtores – é delimitada pela área  $DABE$ .

Construída a função demanda para um uso qualquer da água, o valor econômico de uma variação de sua quantidade disponível pode ser formalizado matematicamente por meio da seguinte relação:

$$\Delta EC = \int_{P_1}^{P_2} Dw(p) dp \quad (3.2)$$

onde  $\Delta EC$  representa a variação no excedente do consumidor;  $Dw(p)$  é a função demanda estabelecida para água;  $P_1$  e  $P_2$  são as medidas de disposição a pagar relativas à variação da oferta.

Como já exposto anteriormente, os métodos de valoração indireta estimam o valor da água com base em transações correntes de mercados privados, sendo um exemplo típico o caso em que a água proporciona uma utilidade, dentre uma série de outros atributos que constituem o valor final de uma propriedade.

O método de *preços hedônicos* parte da premissa de que o preço de alguns bens de mercado é função de suas diferentes características, para as quais se assume a existência de um preço implícito embutido em cada uma delas. Dessa forma, em uma amostra de bens equivalentes (exemplo: imóveis residenciais de padrão e categorias similares), a assimetria de preço observada entre eles é resultado da diferença do valor atribuído a algumas características de um bem em relação aos demais. O peso de cada um desses atributos, por sua vez, pode ser identificado por meio do uso de ferramentas de regressão estatística (Young, 1996).

Outro método cujo escopo enquadra-se dentre aqueles classificados como indiretos é o de *custo de viagem*. Essa metodologia procura estimar uma demanda para a água com base na

procura de atividades recreacionais, complementares ao uso desse bem. A curva de demanda dessas atividades pode ser construída a partir dos custos de viagem ao sítio natural, onde a água é oferecida para a finalidade de recreação. A regra geral associada é que, quanto mais longe do sítio natural os seus visitantes residem, menos uso desse espera-se que ocorra, dado o fato de que os custos de viagem apresentam tendência crescente com a distância.

Seroa da Motta (1998) expõe que, para aplicação desse método, devem ser conhecidas variáveis socioeconômicas, tais como renda *per capita*, distribuição etária, perfil de escolaridade, dentre outras. O conhecimento dessas variáveis visa a reduzir o efeito de outros fatores que explicam a visita a um sítio natural. Zonas residenciais são delimitadas com base na distância ao sítio natural e para que as características da população possam ser agrupadas segundo essas divisões.

Com recursos da análise econométrica, pode-se estimar uma função de demanda cuja variável dependente é uma medida da disposição a pagar pelas visitas frente ao número esperado de visitas ao sítio (Seroa da Motta, 1998). O benefício gerado pelo sítio aos seus visitantes é representado pela variação do excedente do consumidor (Equação 3.2). Como se supõe que haja complementaridade entre a visita ao sítio natural e a utilidade do uso da água, esse excedente é a própria medida do ganho proporcionado pelo uso desse recurso.

### **3.3.2 Valoração Direta por Métodos de Mercados Construídos.**

As técnicas inseridas neste subitem têm como prerrogativa básica a inexistência de um mercado de bens ou serviços em que se possam derivar as escolhas dos indivíduos. Young (1996) relata que esse é o contexto típico com o qual se deparam órgãos gestores de recursos ambientais e da água, pela razão de os recursos naturais muitas vezes assumirem a condição de bens públicos<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Bens públicos são definidos como sendo aqueles de caráter não-exclusivo e não-concorrente. Um bem é não exclusivo quando as pessoas não podem ser impedidas de consumi-lo. O caráter não concorrente ocorre quando, para qualquer nível específico de produção, o custo marginal de sua produção é zero para um consumidor adicional (Pindyck e Rubinfeld, 2002).

A simulação de mercados hipotéticos é feita por meio de entrevistas em que se busca captar do entrevistado qual seria a sua disposição a pagar por um determinado recurso ambiental, em face de eventuais alterações em sua disponibilidade futura. De acordo com Young (1996), a forma mais comum de construção de mercados hipotéticos é a encontrada no método de *valoração contingente*.

Seroa da Motta (1998) atribui a grande vantagem de utilização dessa metodologia, em relação a qualquer outro método de valoração, ao fato de que ela pode ser aplicada a um espectro bem mais amplo de bens ambientais. Segundo esse mesmo autor, a maior crítica que pode ser feita a essa metodologia é quanto à limitação em captar valores ambientais que os indivíduos não entendem, ou mesmo desconhecem. Ademais, mesmo que as pessoas sejam capazes de entender claramente a variação ambiental que está sendo apresentada na pesquisa, existe uma série de fatores que podem levar a discrepâncias entre as disposições reveladas nas pesquisas e as verdadeiras preferências.

A aplicação do método não é trivial e também envolve cuidados especiais com a pesquisa. Seroa da Motta (1998) elenca uma série de procedimentos que visam a assegurar a confiabilidade de utilização do método. Destaca-se o cuidado especial que se deve ter com o formato do questionário e a forma da entrevista. A confiabilidade dos resultados está associada ao grau em que a variância das respostas pode ser atribuída à parcela de erro aleatório, o qual, por sua vez, é inerente a qualquer amostragem estatística.

### **3.3.3 Valoração Direta por Meio de Mudanças de Produtividade**

Esse conjunto de técnicas tem como prerrogativa principal o fato de a água constituir-se em insumo intermediário do processo de produção o que, por sua vez, relaciona-se com a premissa de que o seu uso se faz necessário em etapas anteriores à consecução do produto final. Segundo Young (1996), enquadram-se nesses casos os usos mais expressivos dos recursos hídricos, entre eles, a irrigação de culturas agrícolas, o uso em processos industriais e a geração de energia elétrica.

Essa temática de valoração da água, considerando-a como um bem intermediário da etapa produtiva, é baseada na teoria do produtor. A sua construção analítica pressupõe o uso de uma função  $Z$ , tal que o nível de produção seja dado pela seguinte função:

$$Z = f(X_i, X_w) \quad (3.3)$$

em que  $X_i$  corresponde ao vetor de insumos necessários à produção de um bem qualquer e  $X_w$  é a quantidade de água requerida nesse processo.

Sendo  $p_z$  o preço do produto  $Z = f(X_i, X_w)$ ,  $p_{x_i}$  e  $p_{x_w}$  os preços dos  $i$  insumos e o da água, respectivamente, a função lucro  $\pi$  pode ser expressa pela seguinte relação:

$$\pi = p_z \times Z - \sum_{i \neq w} p_{x_i} \times X_i - p_{x_w} \times X_w \quad (3.4)$$

A teoria da produção mostra que o produtor ajusta o seu grau de utilização de cada insumo ao objetivo de maximizar o seu lucro, de forma que o valor da produtividade marginal de cada recurso se iguale ao seu preço<sup>6</sup>. Assumindo-se também a hipótese de que os preços se mantêm constantes (a variação marginal de  $Z$  é suficientemente pequena em relação ao mercado do produto  $Z$ ), então a maximização do lucro em relação a uma variação dos insumos pode ser expressa como:

$$\frac{\partial \pi}{\partial X_i} = p_z \times \frac{\partial Z}{\partial X_i} - p_{x_i} = 0 \quad (3.5)$$

Manipulação algébrica simples da Equação 3.5 leva à constatação de que o valor do produto marginal de cada insumo ( $VPM_i$ ) é dado pelo seu respectivo produto marginal ( $Pmg_i$ ) valorado pelo preço do bem produzido (Equação 3.6). Chama-se atenção ao fato de que o mesmo resultado seria obtido, caso a derivação tivesse sido feita para o insumo água.

$$VPM_i = p_z \times Pmg_i \quad (3.6)$$

---

<sup>6</sup> Hipótese teórica válida para o equilíbrio geral em mercados perfeitos (Young, 1996).

Um segundo postulado econômico – válido para as condições de perfeita concorrência - enuncia que o valor total de um produto pode ser dividido segundo parcelas em que cada insumo é pago de acordo com a sua respectiva produtividade marginal. Assumindo as hipóteses estabelecidas nessa afirmativa como factíveis, estabelece-se, então, a seguinte equação:

$$VTP_z = \sum_{i \neq w} VPM_i \times X_i + VPM_w \times X_w \quad (3.7)$$

O valor da produtividade marginal da água (preço por unidade de volume) pode ser isolada na Equação 3.7 de modo a se obter uma expressão para o valor da água, como um insumo do processo produtivo:

$$P_w = \frac{\left[ (Z \times P_z) - \left( \sum_{i \neq w} P_{x_i} \times X_i \right) \right]}{X_w} \quad (3.8)$$

A formulação apresentada na Equação 3.8 recebe a denominação de *método do valor residual* ou *método da função de produção*. A utilização mais geral desse método, envolvendo a produção de múltiplos produtos e vários insumos, é conhecida como *método da variação da renda líquida*.

Young (1996) apresenta duas ressalvas quanto à utilização da formulação ora descrita. A primeira delas remete à dificuldade de se identificar e contabilizar a produtividade de todos os insumos que têm participação relevante no processo produtivo. Se houver omissão de um ou mais fatores, a produtividade do fator omitido será conseqüentemente atribuída ao valor do insumo objeto da análise, ou seja, haverá uma superestimativa para o valor da água. A segunda questão trata da dificuldade em se estabelecerem as características da função de produção, uma vez que a mesma requer estimativas precisas sobre os níveis de produção associados a cada um dos fatores nela envolvidos. Também, nesse caso, está-se sujeito a ter super ou subestimativas do valor residual dependendo da acurácia com que se mede o nível de produção para cada combinação inicial de insumos.

Seroa da Motta (1998) faz referência a outra metodologia em que se utilizam preços de mercado para estimativa do valor de um bem ambiental. O método de *mercado de bens substitutos* considera que a valoração do bem em questão pode ser feita por meio da observação do comportamento da demanda de bens substitutos<sup>7</sup>.

Essa abordagem pode ser útil nos casos em que há dependência direta do produto final em relação ao insumo ambiental, mas que, no entanto, os preços desse último são de difícil mensuração ou o mercado não oferece preços observáveis. O método se baseia no fato de que, embora a provisão do bem ambiental seja gratuita, a redução de sua disponibilidade pode induzir ao consumo de outros bens em substituição ao primeiro. Em suma, aumenta-se a demanda por bens tidos como substitutos perfeitos<sup>8</sup>.

Outro método apropriado para valoração da água como bem intermediário do processo produtivo é o de aproximação pelo *custo de uma solução alternativa*. Essa técnica é baseada na noção de que a máxima disposição a pagar pelo provimento de um bem ou serviço público não é maior do que o custo de provisão desse mesmo bem ou serviço por um segundo processo ou tecnologia. Essa assertiva é válida somente nos casos em que se tem respaldo técnico para afirmar que há uma segunda melhor opção – a qual induza a um benefício similar à sociedade - cujo custo total seja superior à alternativa técnica proposta primeiramente. Nesse caso, o custo do segundo projeto pode ser assumido como uma boa medida do benefício econômico gerado pela primeira opção (Young, 1996).

---

<sup>7</sup> Bens substitutos são aqueles para os quais uma variação de preço de um deles gera alteração no mesmo sentido para a quantidade demandada do outro.

<sup>8</sup> Dois bens são substitutos perfeitos quando a taxa marginal de substituição de um pelo outro é constante, ou seja, a mesma quantidade que se deixa de consumir de um bem passa a ser demanda pelo outro.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 MODELOS E TÉCNICAS PARA REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS**

O uso de técnicas e modelos para a representação de sistemas de recursos hídricos passou por um grande avanço conceitual e tecnológico, impulsionado pela significativa melhora da capacidade de processamento computacional ao longo das últimas décadas. Ademais, tal desenvolvimento também se fez necessário em face da crescente complexidade dos problemas envolvendo o planejamento e a gestão de recursos hídricos.

De acordo com Labadie (2004), a construção de grandes sistemas de armazenamento de água no passado, somado ao incremento de forças contrárias à implantação de novos projetos de porte em infra-estrutura no presente – em face da relevância que vem tendo a questão ambiental nos últimos tempos -, fez com que surgisse a necessidade de se agregarem maiores esforços na provisão de regras operacionais mais eficientes para a gestão dos sistemas já construídos.

A escolha da melhor técnica ou modelo é feita conforme as características do sistema hídrico em questão e, nesse sentido, fatores como a disponibilidade de dados, os objetivos e o número de restrições específicas, desempenham um papel fundamental em todo esse processo. Yeh (1985) apresenta uma classificação para as principais técnicas usadas na área de recursos hídricos: (i) métodos de simulação; (ii) programação linear; (iii) programação dinâmica; e (iv) programação não-linear. A tipologia mais recente adotada por Labadie (2004) ainda inclui a essa lista a (v) análise multiobjetivo e (vi) os modelos de programação heurística. Não obstante, encontram-se, ainda, várias referências na literatura de metodologias que utilizam diversas combinações dentre os grupos de técnicas citadas (Yeh, 1985; Labadie, 2004; Bravo *et al.*, 2005).

Segundo Wurbs (1996), a análise de sistemas de recursos hídricos basicamente recai em dois propósitos principais: simular o comportamento da realidade que ela representa e otimizar o processo decisório que atua sobre essa mesma realidade. Tais objetivos envolvem o emprego de metodologias que visam a dar suporte à tomada de decisão em

problemas de diversas naturezas, tais como: (i) alocação de água frente a uma multiplicidade de usos e usuários; (ii) minimização dos riscos e conseqüências de racionamentos e enchentes; (iii) otimização dos benefícios promovidos pelo uso da água; (iv) minimização de impactos ambientais negativos.

Apesar de a simulação e a otimização serem duas técnicas com características independentes para a representação de um sistema, Yeh (1985) e Wurbs (1996) comentam que a distinção entre elas, na prática, é um tanto difícil de ser feita, pelo fato de vários modelos terem incorporado em seus esquemas metodológicos características de ambas as práticas. Wurbs (1996) reforça essa idéia, relatando que uma rotina de otimização pode envolver uma série de rodadas de um modelo de simulação, fazendo com que o grau de interação entre elas varie conforme a metodologia final implementada em cada modelo.

As técnicas de simulação matemática são consideradas as mais flexíveis dentre o escopo de metodologias de análise de sistemas de recursos hídricos, permitindo que, basicamente, qualquer sistema possa ser representado matematicamente por algoritmos computacionais. A complexidade para o desenvolvimento e aplicação de tais formulações é diretamente proporcional ao nível de detalhamento que se deseja obter. Os modelos de simulação têm hoje aplicação em diversos segmentos da área de recursos hídricos, tais como quantificação do ciclo hidrológico, análise da qualidade da água em rios e reservatórios, representação de processos hidráulicos do escoamento e modelagem de fenômenos ambientais e meteorológicos (Azevedo *et al.*, 2002).

Bravo *et al.* (2005) apontam como vantagem dos modelos de simulação o fato de eles possibilitarem uma representação mais fidedigna da realidade, o que, por sua vez, garante maior compatibilidade entre a concepção teórica do modelo e as características do sistema observadas na prática. Essa técnica permite, por exemplo, examinar as conseqüências de uma estratégia alternativa de operação de sistemas com múltiplos reservatórios ou prever os impactos causados pela construção de um novo projeto em um sistema que já se encontra em operação.

Ainda, em relação às vantagens da simulação, Wurbs (1996) acrescenta que essa técnica também pode auxiliar a análise de desempenhos econômicos em sistemas de recursos hídricos, por meio de medidas diretas de desempenho desses sistemas. Constituem

exemplos resultantes de uma simulação os benefícios econômicos associados a várias proposições de uso da água, impactos gerados por inundações, ou rentabilidade de sistemas de abastecimento e produção de energia elétrica. Nesses casos, modelos de análise econômica contabilizam benefícios e custos associados a um determinado cenário operacional, por meio de uma função que relaciona valores monetários aos diferentes níveis de armazenamento e às vazões defluentes em pontos de interesse do sistema.

O algoritmo de um modelo de simulação procura descrever o sistema físico em si, suas restrições e sua política de operação. A maioria dos sistemas pode ser representada por uma variável denominada *variável de estado*, a qual representa a condição do sistema em um ponto do espaço ou do tempo. Em um conjunto de reservatórios, essas variáveis são geralmente o volume armazenado (ou o nível d'água correspondente) ou as vazões defluentes. Equações de transição de estado referem-se às modificações de configuração entre uma condição inicial e final, como resultado de uma nova decisão operacional ou como efeito de nova configuração inicial dos dados de entrada (Azevedo *et al.*, 2002).

Restrições típicas de um sistema de reservatórios incluem aquelas inerentes às equações de continuidade, condições de armazenamentos e defluências mínimas e máximas, limitações físicas de adutoras e equipamentos, bem como imposições legais e regulatórias relacionadas a critérios de avaliação e eficiência do sistema quanto à consecução de metas estabelecidas (Yeh, 1985).

As equações que definem uma política operacional de um sistema podem ser de níveis de armazenamento pré-definidos em instantes e locais escolhidos, comumente conhecidas como política de curvas-guia. Da mesma forma, as equações que procuram obrigar reservatórios a descarregar vazões necessárias ao atendimento de demandas ao longo do tempo e do espaço, também constituem proposições de uma política operacional. Os níveis de prioridade de atendimento dessas demandas por vazões ou volumes farão parte das variáveis de decisão do sistema. Em sistemas compostos por múltiplos reservatórios, o balanço dos volumes armazenados é geralmente priorizado (Azevedo *et al.*, 2002).

Em modelos de simulação, a análise do decisor sobre os resultados obtidos gera um processo de procura da melhor solução através de modificações das variáveis de decisão. Embora essa busca da melhor solução não garanta a consecução do ótimo global, além de,

muitas vezes, constituir-se em um processo exaustivo, essa prática ainda continua sendo uma alternativa muito útil em diversos casos (Azevedo *et al.*, 2002).

Em modelos de otimização, a etapa manual de busca pela melhor operação do sistema é substituída por um algoritmo de busca pela solução ótima do problema. De acordo com Wurbs (1996), os modelos de otimização são formulados com o intuito de se determinarem os melhores valores, para um dado conjunto de variáveis de decisão, que irão maximizar ou minimizar uma determinada função objetivo, sujeita a um conjunto de restrições. Exemplos de objetivos a serem perseguidos são: (i) maximização da geração de energia, (ii) minimização de perdas econômicas associadas a eventos de cheias, (iii) manutenção de vazões mínimas para preservação de ecossistema aquático ou para fins de navegação; (iv) confiabilidade do sistema em atender às demandas para abastecimento ou geração de energia; e (v) minimização de desvios em relação ao nível-meta de um reservatório.

Labadie (2004) ressalta que, havendo a disponibilidade de uma avaliação econômica para a contabilização de índices de desempenho do sistema, o objetivo poderia ser o de maximizar o benefício total líquido esperado com a operação do mesmo, levando-se em conta sua sustentabilidade no longo prazo. A essa sustentabilidade, frisa bem o autor, devem ser incorporadas medidas de eficiência, resiliência e vulnerabilidade de vários critérios, sob a ótica social, econômica e ambiental do bem-estar da sociedade.

A função-objetivo de caráter geral para a otimização determinística da operação de um sistema de reservatórios pode ser assim expressa:

$$Max(Min) \sum_{t=1}^T \alpha_t \times f_t(s_t, r_t) + \alpha_{T+1} \times \varphi_{T+1}(s_{T+1}) \quad (4.1)$$

onde:  $r_t$  representa o conjunto de variáveis de decisão durante o período  $t$ ;  $T$  é o horizonte de planejamento da análise;  $s_t$  é o vetor que indica o estado de armazenamento em cada reservatório no início do tempo  $t$ ;  $f_t(s_t, r_t)$  é a função objetivo a ser maximizada ou minimizada;  $\varphi_{T+1}(s_{T+1})$  são os benefícios ou custos futuros estimados para além do horizonte de planejamento  $T$ ; e  $\alpha_t$  é o fator de desconto para contabilização do valor presente dos respectivos custos ou benefícios.

Na literatura, podem ser encontradas diversas estratégias de solução para problemas de otimização na área de recursos hídricos. Os modelos existentes podem ser classificados em determinísticos ou estocásticos, dependendo do tratamento que dão as incertezas hidrológicas. Yeh (1985) conceitua os modelos determinísticos como aqueles em que as vazões empregadas na análise do problema são, em geral, as médias das séries históricas de dados observados ou as vazões correspondentes ao período crítico da série de dados disponíveis.

Lanna (2002) apresenta uma classificação composta por dois tipos de modelos estocásticos, aos quais se refere como sendo abordagens especializadas no tratamento da incerteza hidrológica. As metodologias explicitamente estocásticas são aquelas em que modelos probabilísticos são empregados na formulação do problema decisório. Nesses casos, não há presunção de se conhecer exatamente quais serão as afluências futuras. Estas, por sua vez, são tratadas como variáveis aleatórias e distribuições de probabilidades são utilizadas para a formulação do problema de otimização.

Nas metodologias implicitamente estocásticas, também conhecidas como *otimização de Monte Carlo*, supõe-se que os eventos hidrológicos futuros sejam conhecidos. Nesses casos, há duas grandes alternativas para a formulação metodológica: a primeira seria de adotar a própria série histórica de dados disponível como o resultado do comportamento das vazões ao longo do tempo. A outra opção, mais refinada, seria a de incorporar modelos estocásticos de simulação de séries históricas, que são responsáveis pela geração de diversas outras seqüências, às quais se dá o nome de *séries sintéticas*. Assim, para cada série utilizada na análise, é produzida uma seqüência temporal ótima de decisões (Lanna, 2002).

O fato de se dispor de alternativas de decisões atreladas ao número de séries utilizadas na análise é uma das desvantagens apontadas por Labadie (2004) em formulações implicitamente estocásticas. Esse problema, no entanto, pode ser contornado via regressões múltiplas, de modo que seja ajustada uma função matemática à relação entre as variáveis decisórias e as que identificam o estado do sistema analisado. Por outro lado, Labadie (2004) relata que a análise de regressão pode resultar em correlações pobres, as quais podem comprometer as regras de operação ou requerer uma análise posterior, via modelo de simulação, para que seja escolhida a melhor regra decisória.

Ambas as abordagens, estocásticas ou determinísticas, aplicadas à representação de sistemas de recursos hídricos, utilizam, em sua rotina de otimização, procedimentos de programação matemática para a consecução da solução ótima do problema. A programação linear tem sido uma das mais utilizadas, sendo que o método Simplex e suas variantes são os mais comumente aplicados (Labadie, 2004). Essa técnica requer que todas as relações entre as variáveis do problema sejam lineares, tanto as equações de restrições quanto a formulação da função-objetivo.

Os Modelos de Rede de Fluxo (MRF) são uma importante variante metodológica para representação de sistemas hídricos. Essa abordagem combina as características típicas de modelos de simulação com algoritmos de otimização linear que visam a minimizar o custo total de operação da rede. Segundo Azevedo *et al.* (2002), esse conjunto de atributos faz com que essa classe de modelos seja especialmente adequada para análises de sistemas complexos e de larga escala, uma vez que as técnicas mais convencionais, embora também sejam credenciadas para a solução de tais tipos de problemas, fazem-no com maior dificuldade.

De maneira geral, a otimização é realizada de forma sequencial para cada intervalo de tempo do horizonte de simulação ou, alternativamente, pode ser feita de forma simultânea para todos os intervalos (Wurbs, 1996). Ressalta-se, entretanto, que, na maioria dos modelos de rede de fluxo, a otimização efetuada não é dinâmica. Dessa maneira, não se pode afirmar que o resultado obtido é necessariamente o ótimo global do horizonte de tempo estudado (Azevedo *et al.*, 2002).

A programação dinâmica é uma técnica muito aplicada particularmente em problemas de operação de reservatórios. O escopo dessa metodologia consiste em se decompor o problema original em uma série de estágios que, por sua vez, são resolvidos de forma recursiva. Para cada estágio, determina-se um ótimo e uma função recursiva relaciona o ótimo de um estágio com todos os demais, de maneira a se garantir o ótimo global do problema (Barros, 2002). Outra vantagem dessa técnica está na maior facilidade com que podem ser formulados problemas de natureza não-linear e estocástica em rotinas que requerem critérios de otimização (Yeh, 1985).

Mostra-se na Figura 4.1 um caso de resolução de problema de otimização dinâmica para um reservatório que compõe um sistema hidrotérmico de geração de energia. Nesse exemplo, há a consideração de cenários probabilísticos de afluências ao reservatório.

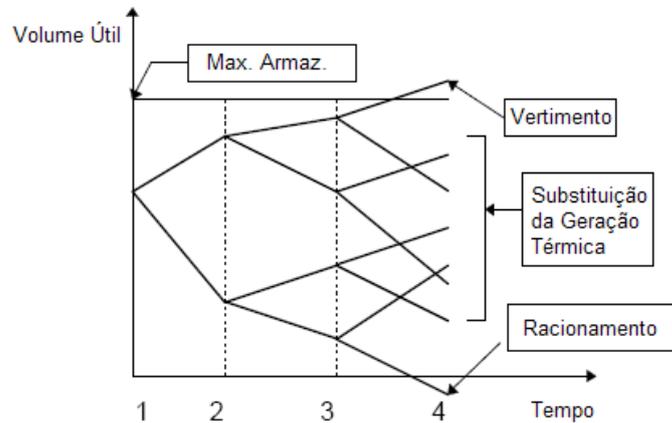


Figura 4.1 - Programação Dinâmica Aplicada a um Reservatório de Geração de Energia

Uma das conhecidas desvantagens da programação dinâmica é a chamada *maldição da dimensionalidade*. Esse problema surge nos casos em que há mais de um reservatório envolvido e múltiplos cenários de valores atribuíveis às variáveis de estado (abordagem estocástica do problema). Labadie (2004) relata que, em estudos de casos reais, envolvendo a operação de sistemas com múltiplos reservatórios, para o qual haja  $m$  estados (níveis) de armazenamento possíveis, e um número  $n$  de reservatórios envolvidos, os requisitos computacionais de tempo e memória crescem proporcionalmente à taxa  $m^n$ .

## 4.2 O MODELO MODSIM

O MODSIM é um modelo de rede de fluxo de caráter geral e com amplo espectro de aplicações em recursos hídricos. O modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Uma de suas características, que interessa diretamente à finalidade deste trabalho, refere-se à avaliação de compensações (*trade-offs*) entre usos conflitantes da água. Esse programa realiza uma otimização em rede para atender metas operacionais realizadas de modo seqüencial a cada intervalo de tempo.

Não constitui, portanto, uma metodologia plenamente dinâmica<sup>9</sup>. O modelo pode ser visto como uma abordagem pertencente à classe de metodologias de simulação, que também contém uma rotina de otimização para escolha da melhor solução. Trata-se, essencialmente, de um algoritmo de programação linear, denominado *out-of-kilter*, desenvolvido especificamente para a solução eficiente de problemas de minimização de custo em redes de fluxo (Azevedo *et al.*, 2002).

A topologia do sistema hídrico é feita no modelo por meio de nós e arcos. Os nós referem-se tanto aos volumes armazenados em reservatórios quanto às confluências, pontos de desvios, pontos de entrada e pontos de demanda do sistema. Os arcos, por sua vez, representam canais, adutoras e trechos naturais do cursos d'água. Diversos nós e arcos artificiais são criados automaticamente pelo modelo, com vistas a assegurar o balanço de massa do sistema, sendo que os mesmos representam demandas, vazões afluentes e regras de operação desejadas (Labadie e Larson, 2007).

Os nós e arcos artificiais visam a assegurar que a rede tenha o seu ciclo completamente fechado, condição essa requerida pelo algoritmo de solução do problema. Ademais, esses componentes também têm o intuito de representar adequadamente afluências, volumes armazenados nos reservatórios, vertimentos, demandas de água, perdas hidráulicas e retorno de vazões (Graham *et al.*, 1986).

Na Figura 4.2, dispõe-se um exemplo de configuração de rede de fluxo feita no MODSIM. Nota-se nessa figura que cada arco  $k$  do sistema é composto por três parâmetros: um limiar inferior de vazão  $l_{kt}$ , um limiar superior  $u_{kt}$  e um custo por unidade de fluxo  $c_k$ . Também se depreende dessa figura que há dois nós artificiais originários em cada reservatório, os quais terminam em um nó artificial de armazenamento  $S$ . Um desses arcos representa o fluxo de volume até que seja atingido o volume-meta  $T_i$  (estabelecido pelo usuário), enquanto o outro comporta o fluxo, ainda inferior à capacidade máxima do reservatório, que supera o referido volume-meta. A soma das vazões transportadas nesses dois arcos corresponde ao volume total armazenado para o próximo intervalo de tempo da análise.

---

<sup>9</sup> Essa questão foi discutida em maiores detalhes na seção anterior (item 4.1).

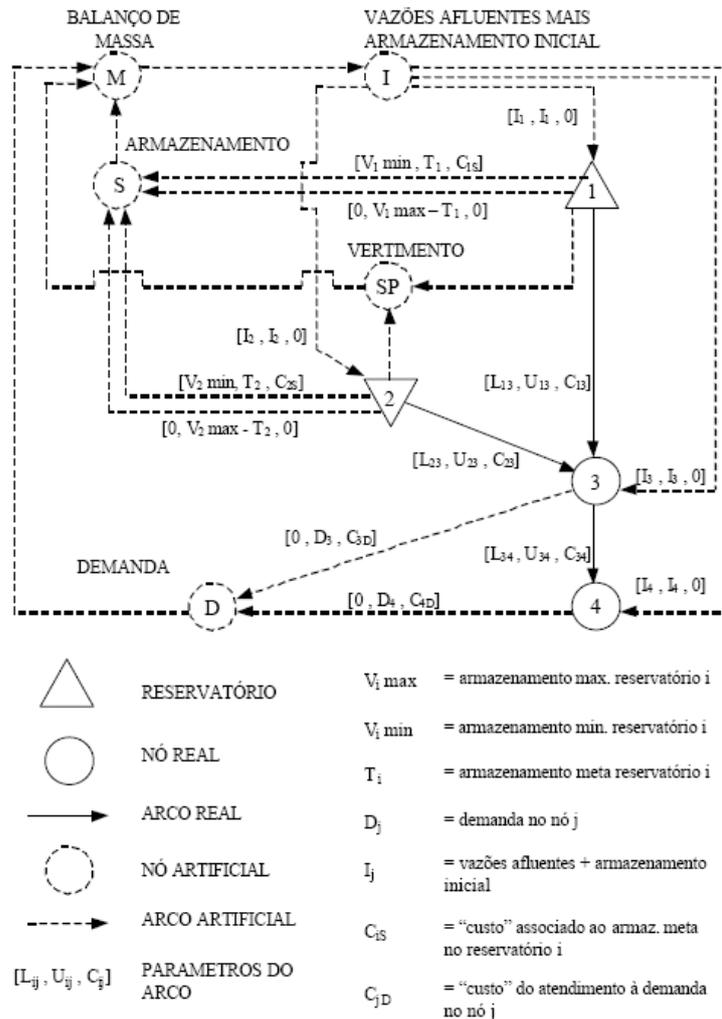


Figura 4.2 - Esquema de Rede de Fluxo do MODSIM (Adaptado de Graham *et al.*, 1986)

Para os volumes que excedam a capacidade máxima do reservatório, é concedida a mais alta penalização em toda a rede (Graham *et al.*, 1986). Esses fluxos, por sua vez, são contabilizados no nó artificial de vertimento *SP*. O seu limite inferior é zero e o superior é configurado como o equivalente à capacidade total de armazenamento em todo sistema multiplicado por dez.

Expõem-se, a seguir, as hipóteses vinculadas à utilização do MODSIM (Azevedo *et al.*, 2002): (i) todos os nós de armazenamento e arcos do sistema devem possuir limites (valores máximos e mínimos permitidos), tal como ilustrado no esquema da Figura 4.2. Permite-se, no entanto, que esses valores variem ao longo do tempo; (ii) cada arco deve conter um único sentido para a representação do fluxo; (iii) todas as aflúncias, demandas,

perdas por infiltração e retornos de vazão devem acumular-se nos nós. O aumento da densidade de nós, por conseguinte, aumenta a precisão da simulação.

O algoritmo *out-of-kilter* resolve um problema de otimização em uma rede de fluxo, para cada intervalo de tempo  $t=1, \dots, T$ , da seguinte maneira (Azevedo *et al.*, 2002; Labadie e Larson, 2007):

$$\text{Min} \sum_{K \in A} c_k q_k \quad (4.2)$$

Sujeito a

$$\sum_{k \in O_i} q_k - \sum_{j \in I_i} q_j = b_{it}(q) \quad \forall i \in N \quad (4.3)$$

$$l_{kt}(q) \leq q_k \leq u_{kt}(q) \quad \forall k \in A \quad (4.4)$$

onde  $A$  representa o conjunto de todos os arcos do problema;  $N$  é o conjunto de todos os nós;  $O_i$  o conjunto de todos os arcos com origem no nó  $i$  (arcos de defluências);  $I_i$  o conjunto de todos os arcos com término no nó  $i$  (arcos de afluências);  $b_{it}$  representa o ganho (positivo) ou a perda (negativo) do nó  $i$  no tempo  $t$ ;  $q_k$  é vazão no arco  $k$ ;  $c_k$  representa o custo, fator de ponderação ou prioridades de uso por unidade de vazão no arco  $k$ ;  $l_{kt}$  e  $u_{kt}$  são, respectivamente, as capacidades mínima e máxima de vazão no arco  $k$ , no instante de tempo  $t$ .

A operação dos reservatórios segue uma hierarquia de prioridades estipulada pelo usuário. Para um reservatório  $i$ , o usuário define um volume meta  $T_i$ , ao qual é associado um custo ou ordem de prioridade, e este, por sua vez, é convertido em valor negativo, de forma a representar um benefício associado à manutenção desse nível no reservatório. Essa conversão é feita por meio da seguinte relação:

$$C_{ik} = - \left[ 1000 - (OPRP_i \times 10) \right] \quad (4.5)$$

onde  $OPRP_i$  é um fator de prioridade definida pelo usuário (valores inteiros entre 1 e 99) e  $C_{ik}$  o custo associado ao arco artificial de volume meta.

Da Equação 4.5, infere-se que quanto menor o valor atribuído ao fator  $OPRP_i$ , maior será o módulo de  $C_{ik}$  e, por conseguinte, o benefício associado à manutenção do nível do reservatório em questão. Aos custos dos arcos de volume final - aqueles que contabilizam os fluxos de água armazenada acima da meta estabelecida -, são atribuídos o valor zero, uma vez que se considera não haver vantagem em se estocar água em volumes acima da meta estabelecida.

A hierarquização das prioridades e contabilização dos custos para as demandas consultivas de água é feita de maneira análoga à apresentada para a operação de reservatórios (Equação 4.5). O modelo ainda é capaz de compor os retornos de vazão à calha do rio por meio de coeficientes de regressão que correlacionam esses volumes com as vazões correntes e de passos de tempo anteriores ocorridas no rio (Graham *et al.*, 1986).

### **4.3 O MODELO NEWAVE**

O atual modelo de regulação do setor elétrico brasileiro determina que um agente – o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) – administre a geração de energia de cada usina que compõe o chamado Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN representa o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil, com forte predominância de usinas hidrelétricas, composto por múltiplos agentes e empresas do setor público e privado, presentes nas cinco grandes regiões do país<sup>10</sup>.

A busca por eficiência na operação de um sistema do porte do SIN, com um grande número de usinas localizadas em diversas bacias hidrográficas do país, faz com que haja uma interdependência operativa entre todas as fontes de produção de energia. Com efeito, a operação de uma usina hidrelétrica, localizada em cascata, em uma bacia hidrográfica onde haja mais usinas presentes, depende da regra operativa atribuída à usina de montante, ao mesmo tempo em que sua operação afeta, de maneira análoga, as usinas localizadas a jusante.

---

<sup>10</sup> Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados, localizados, principalmente, na região amazônica (ONS, 2008a).

O ONS centraliza o despacho ótimo de geração<sup>11</sup> de cada usina utilizando um modelo de otimização chamado NEWAVE (Modelo Estratégico de Geração Hidrotérmica a Subsistemas Interligados). Tal otimização é função do custo unitário do déficit de energia, do custo operativo das termelétricas disponíveis, das informações sobre a disponibilidade hídrica atual (volume acumulado nos reservatórios) e das afluições e demandas previstas futuramente (Moreira *et al.*, 2003).

Os principais desafios impostos à operação de sistemas hidrotérmicos são a aleatoriedade natural do fenômeno hidrológico e o limite físico da capacidade de armazenamento dos reservatórios. Por exemplo, se toda energia de origem hidráulica estocada em um reservatório é utilizada no presente, e, no futuro, ocorrer um período de estiagem, então será necessário dispor de energia térmica – que é mais cara –, ou, ainda, dependendo da intensidade desse evento, limitar o fornecimento de energia. Por outro lado, se o nível dos reservatórios é mantido constante no estágio atual, e, por conseguinte, há uso mais expressivo de usinas térmicas, na hipótese de ocorrer um evento futuro de cheia, provavelmente ocorrerá vertimento de água nos reservatórios, o que acarretará em desperdício de recurso energético (Pereira *et al.*, 1998).

Essa relação evidencia a importância que uma decisão tomada no presente tem sobre as condições operativas futuras e está diretamente relacionada com o custo da energia gerada ao longo do tempo. A questão de usar a água hoje, ou estocá-la para o futuro, implica em um *trade-off* entre os custos imediato e futuro de operação do sistema. Tal relação é ilustrada na Figura 4.3.

O ponto ótimo de utilização da água estocada nos reservatórios corresponde àquele que minimiza o somatório das funções de custo imediato (*FCI*) e futuro da operação (*FCF*). Matematicamente, esse ponto representa a igualdade entre as derivadas dessas duas funções com respeito à quantidade de água armazenada. A essas derivadas dá-se o nome de *valor da água* (veja Figura 4.3).

---

<sup>11</sup> Resultado da aplicação de um conceito centralizado de despacho que visa a maximizar a utilização intertemporal da energia acumulada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, minimizando o vertimento de água ou, de modo equivalente, minimiza o custo de operação das usinas, internalizando o risco hidrológico.

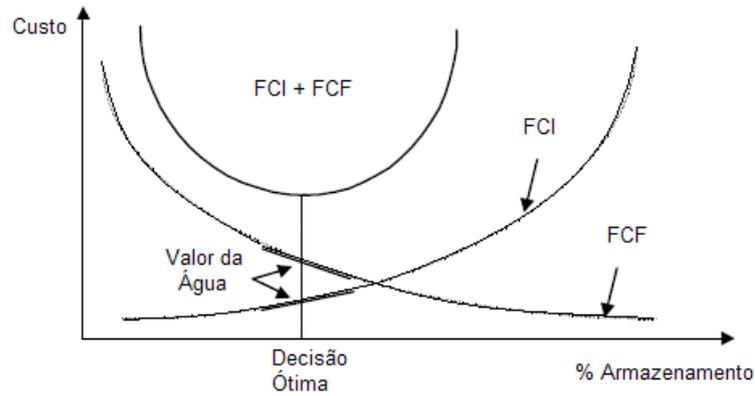


Figura 4.3 - Decisão Ótima de Operação de Sistemas Hidrotérmicos

O objetivo da operação é, portanto, minimizar o somatório dos custos imediatos e futuros. Essa soma compõe a função-objetivo desse problema, o qual também está sujeito a cinco restrições principais (Pereira e Pinto, 1985; Pereira, 1989):

$$F_t(s_t, q_{t-1}) = E_{q_t | q_{t-1}} \left\{ \text{Min}_{r_t} [f_t(s_t, q_t, r_t) + F_{t+1}(s_{t+1}, q_t)] \right\} \quad (4.6)$$

Sujeito a

$$s_{t+1} = s_t + q_t + C(r_t + l_t) - e_t(s_t) - d_t \quad (4.7)$$

$$s_{t+1, \min} \leq s_{t+1} \leq s_{t+1, \max} \quad (4.8)$$

$$r_{t, \min} \leq r_t \leq r_{t, \max} \quad (4.9)$$

$$g_{t, \min} \leq g_t \leq g_{t, \max} \quad (4.10)$$

$$\sum_k^{I+J} g_t(k) + y_t = d_t \quad \forall k \in (1, \dots, I+J) \quad (4.11)$$

onde  $f_t(s_t, q_t, r_t)$  é a função de custo imediato e  $F_{t+1}(s_{t+1}, q_t)$  a de custo futuro;  $s_t$  representa o volume armazenado no início da análise;  $E$  é o valor esperado para a afluência  $q_t$ , dado que se dispõe do valor observado no passo de tempo anterior  $q_{t-1}$ ;  $l_t$  compõe o vetor de vertimentos de cada usina hidrelétrica;  $C$  é a matriz de conectividade (em que  $C_{j,k} = 1(-1)$  quando o reservatório  $j$  recebe (libera) água de (para) o reservatório  $k$ );  $e_t$  é o vetor de perdas por evaporação;  $d_t$  representa as demandas requeridas ao sistema;  $s_{t+1, \min}$  e  $s_{t+1, \max}$  são os vetores de armazenamento mínimo e máximo respectivamente;  $r_{t, \min}$  e  $r_{t, \max}$  correspondem aos vetores de capacidade mínima e máxima de engolimento das turbinas

respectivamente;  $r_t$  é o vetor de vazão turbinada em cada usina;  $g_t(k)$  indica a energia gerada na  $k$ -ésima unidade de produção (térmica ou hidráulica);  $I$  e  $J$  são, respectivamente, o número total de térmicas e hidrelétricas existentes; e  $y_t$  representa o vetor que contabiliza o déficit de energia.

A solução das Equações de 4.6 a 4.11 pressupõe a análise, para cada estágio de tempo, de todos os valores atribuíveis às variáveis de estado (armazenamento) (Figura 4.4). Caso seja atribuído um grande número de estados, somado à multiplicidade de reservatórios existentes em casos práticos da realidade, a resolução das mesmas incorre no comentado problema do expressivo número de combinações que deveriam ser analisadas para obtenção da solução-ótima para o problema<sup>12</sup>. Pereira e Pinto (1985) alertam que, para um caso envolvendo, por exemplo, cinco reservatórios e vinte valores associados às variáveis de estado, o problema requeriria uma análise total composta por dez trilhões de combinações possíveis.

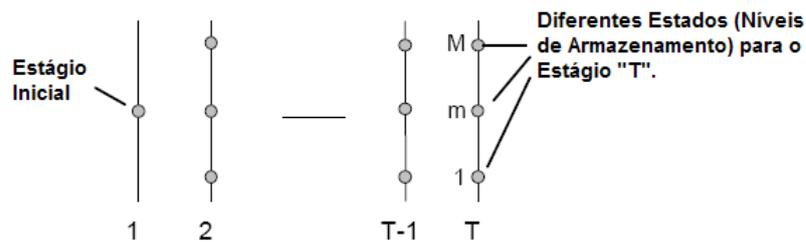


Figura 4.4 – Discretização da Operação de um Reservatório em Estados e Estágios

O problema da dimensionalidade é atenuado no NEWAVE pela adoção da técnica da Programação Dinâmica Dual Estocástica (PDDE)<sup>13</sup>. O algoritmo da PDDE estabelece um esquema iterativo para a solução do problema em questão, o qual é organizado em duas fases: (i) uma otimização recursiva e (ii) uma simulação progressiva. A etapa recursiva processa-se no sentido contrário, começando do último passo de tempo  $T$  e prosseguindo até o estágio inicial  $t=1$ .

<sup>12</sup> Tópico comentado na seção 4.1 referente à *maldição da dimensionalidade* em problemas de programação dinâmica.

<sup>13</sup> Essa técnica baseia-se no princípio da decomposição de Benders. A mesma encontra-se detalhadamente explicada em Pereira e Pinto (1985) e Pereira (1989).

Primeiramente, assume-se um determinado conjunto de estados iniciais para o armazenamento – por exemplo, 100%, 90%, 20% - e, como ainda não se conhece o valor real do custo futuro, assume-se também que este é igual a zero. Em seguida resolve-se o problema de programação linear disposto nas Equações de 4.6 a 4.11, para os respectivos níveis de estado estabelecidos. Essa resolução é feita para tanto quantos forem os estados escolhidos no estágio de tempo  $T$ . Ademais, em face da incerteza atrelada à variável afluência em cada estágio de tempo, o problema de otimização é solucionado para  $k$  diferentes cenários, conforme ilustrado na Figura 4.5. O valor esperado para o custo de operação em  $M$  será, por conseguinte, a média dos valores obtidos a partir dos  $k$  número de cenários considerados (Pereira, 1989).

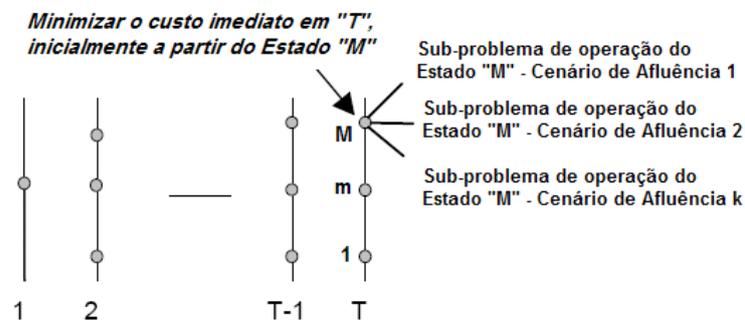


Figura 4.5 – Considerações sobre o Cálculo do Custo Operativo em cada Estado

Associado às soluções básicas factíveis das variáveis de estado, sabe-se, da teoria de programação linear, que se podem obter vetores referentes à solução dual do mesmo problema de otimização. A esses vetores, dá-se o nome de *multiplicadores de Lagrange*. Na solução-ótima, o vetor de variáveis duais contém uma medida da dependência da função-objetivo com relação às variações do vetor-recurso. Atribuindo-se uma interpretação econômica à solução dual, essa medida é também designada de *preço sombra* ou *custo de oportunidade*.

A solução dual indica a alteração no custo de operação do sistema em relação a uma variação marginal das respectivas variáveis de decisão do problema primal (neste caso, o armazenamento) no estágio de tempo imediatamente subsequente. Na Figura 4.6, ilustra-se, graficamente, o valor da ordenada referente ao custo operativo em  $M$ , bem como a derivada deste em relação à variável de estado armazenamento.

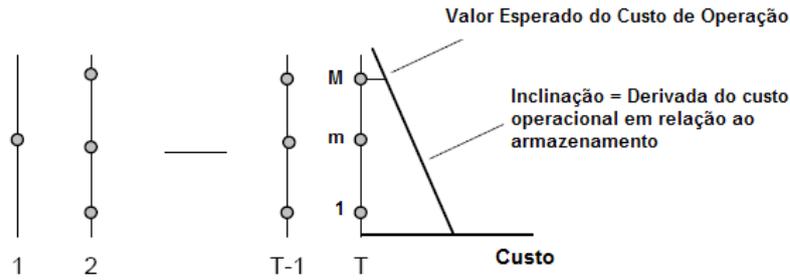


Figura 4.6 - Cálculo do Primeiro Segmento da Função de Custo Futuro

Na Figura 4.7, ilustra-se o mesmo procedimento para os demais estados pertencentes ao estágio  $T$ . O conjunto dessas soluções resulta num formato preliminar para a função de custo futuro em  $T$ . Frisa-se que a função de custo futuro construída nessa primeira etapa iterativa do problema consiste em um limite inferior da solução ótima do mesmo (Pereira, 1989). Com efeito, uma vez obtida uma solução factível em  $T$ , resolve-se o mesmo problema para os demais passos de tempo anteriores,  $T-1$ ,  $T-2$ , ...,  $t=1$ .

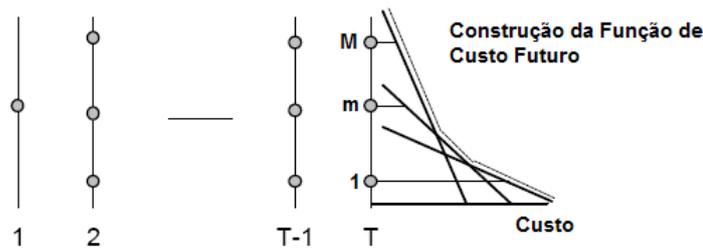


Figura 4.7 – Esquema de Construção da Função de Custo Futuro

De acordo com Pereira e Pinto (1985), o fato de se ter o valor da derivada calculado em apenas alguns estados selecionados, e não em todas as possibilidades resultantes de uma abordagem puramente estocástica, possibilita a aproximação da função de custo futuro a um menor esforço computacional. A metodologia empregada no NEWAVE prevê, ainda na etapa recursiva do problema, o cálculo de um sistema equivalente de armazenamento entre as usinas, com agregação dos reservatórios de água de cada subsistema<sup>14</sup> em um

<sup>14</sup> Os subsistemas considerados nesse modelo correspondem às regiões geográficas brasileiras, sendo que o Centro-Oeste e o Sudeste compõem um único subsistema. Os referidos autores destacam que, do ponto de vista teórico, a referida agregação é razoável apenas a sistemas com grande capacidade de regularização e em bacias que apresentem regimes hidrológicos homogêneos.

único reservatório de energia, reduzindo-se, assim, o número de variáveis de estado do problema.

A fase de simulação progressiva implementa uma rotina de otimização de Monte Carlo, com a incorporação de modelo estocástico de simulação de séries hidrológicas. Para cada estágio de tempo, é feita uma simulação da operação do sistema de acordo com o objetivo disposto na Equação 4.6 e em consonância com as funções de custo futuro estimadas previamente na etapa anterior (otimização recursiva). A simulação progressiva constitui um limite superior para a solução ótima do problema em questão. As duas fases – otimização recursiva e simulação progressiva - são processadas seqüencialmente até que a diferença entre os custos da operação hidrotérmica calculados em ambas seja inferior a uma determinada tolerância previamente estabelecida (Pereira, 1989).

A operação hidrotérmica do sistema brasileiro, da forma como foi exposta, maximiza a utilização intertemporal da energia acumulada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, ou, de maneira equivalente, minimiza o custo de operação das usinas, internalizando o risco hidrológico. Moreira *et al.* (2003) comentam que, além do despacho-ótimo de cada usina, o modelo vigente calcula o *Custo Marginal de Operação* (CMO), que é o preço da energia no mercado à vista (também chamado preço *spot*). Esse preço reflete as condições de escassez de curto prazo de energia nos reservatórios. Dessa forma, pretende-se utilizá-lo, neste trabalho, como a estimativa do valor econômico da água para o uso na geração de energia elétrica<sup>15</sup>.

#### **4.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA APLICADA À ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS**

Neste item, serão abordados alguns estudos de caso já encontrados na literatura em que foram empregados a combinação de instrumentos econômicos aliados a modelos de

---

<sup>15</sup> Ressalta-se que há externalidades de ordem econômica e ambiental não embutidas nesse preço. Para se avaliar o real valor econômico da água seria necessário incluir o custo gerado para outras atividades econômicas e para a sociedade em decorrência da alocação do recurso hídrico para a produção de energia.

gerenciamento de recursos hídricos, com vistas a subsidiar decisões públicas envolvendo a questão da alocação de água entre usos distintos da água. Em função desta dissertação de mestrado dispensar maior atenção aos usos irrigação e produção de energia elétrica, procurar-se-á dar maior ênfase àqueles casos em que critérios de eficiência econômica foram aplicados à operação de sistemas de recursos hídricos em que ambos, ou algum dos referidos usos, foram contemplados na análise.

Draper *et al.* (2003) apresentaram o desenvolvimento de um modelo de otimização que leva em consideração critérios de eficiência econômica na simulação da operação do sistema que compõe a infra-estrutura hídrica do estado da Califórnia, Estados Unidos. O modelo desenvolvido é denominado CALVIN e visa a maximizar os benefícios econômicos advindos da alocação de água dentre os usuários de irrigação e abastecimento urbano, levando-se em conta restrições físicas do sistema e demais aspectos de ordem ambiental e político da região. Cerca de 92% da população do estado da Califórnia e 88% do total da área irrigada da região foram contemplados na simulação.

Em sua análise, Draper *et al.* (2003) empregaram curvas de demanda de água para as duas principais categorias de uso do Estado, irrigação e abastecimento urbano. A representação do sistema nesse modelo foi feita por meio de uma rede de fluxo e o objetivo do trabalho foi o de maximizar o benefício líquido resultante da operação do sistema até o ano de 2020, utilizando, para tanto, um período histórico de 72 anos de dados observados. A conclusão do estudo apontou vantagens em se combinar simulação de sistemas de grande porte em infra-estrutura hídrica e funções econômicas que expressem o valor econômico da água dentre distintos usos.

No trabalho de Marques *et al.* (2006), foi realizada uma simulação econômica do sistema hídrico de *Friant-Kern*, região também localizada no estado da Califórnia, a qual é composta por 36 distritos de irrigação, 17 mananciais superficiais, 17 reservatórios e aquíferos, além de inúmeras captações e estruturas construídas para a recarga subterrânea. O sistema conta ainda com significativas operações de transferências e de uso conjunto da água entre os usuários. Primeiramente, um modelo de otimização econômica foi utilizado para estimativa da demanda de água para a irrigação, cuja calibração foi feita com dados observados sobre as práticas dos irrigantes da região. A simulação da operação foi feita por meio de uma rede de fluxo, com a utilização do modelo MODSIM. A incorporação das

demandas de água na simulação levou a um ganho significativo na avaliação dos impactos econômicos causados por diferentes estratégias de políticas para a gestão dos recursos hídricos desenvolvidas para a região.

No estudo apresentado por Kelman e Ramos (2005), foi feita uma análise crítica sobre o real valor econômico da água para a irrigação na região do semi-árido brasileiro. Esses autores comparam uma estimativa dos custos reais da atividade agrícola na bacia do rio São Francisco, com os preços incorridos, na prática, pelos irrigantes da localidade. Segundo esses autores, o custo da água para a irrigação percebido pelo irrigante e incorporado ao seu custo de produção representa apenas uma parcela dos custos reais incorridos pela sociedade. Com efeito, os custos reais de alocação da água para irrigação contemplam as parcelas referentes ao (i) capital, (ii) à operação e manutenção (O&M), (iii) o custo de oportunidade e (iv) as externalidades econômicas e (v) ambientais.

No cálculo do custo de oportunidade da água para a irrigação, foi avaliado o equivalente impacto que o valor de uma unidade volumétrica de água retirada para a irrigação representaria na produção de energia elétrica pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF). A conclusão do trabalho levou à constatação de que, para a maioria das culturas desenvolvidas na bacia do rio São Francisco, o cultivo agrícola gera renda superior ao custo de alocação, incluindo-se neste, o custo de oportunidade da geração de energia.

Kelman e Kelman (2001) propõem uma metodologia de compensação financeira pelo uso econômico da água entre distintos usuários de uma bacia hidrográfica em situações de racionamento, ou seja, quando a oferta não é suficiente para atender a toda a demanda da bacia. O critério adotado pelos autores leva em conta que o total arrecadado na bacia deve ser distribuído entre todos os usuários, de forma que o resultado produtivo alcançado por cada usuário se constitua em uma fração, igual para todos, dentre racionados e não-racionados, do respectivo máximo resultado potencial, o qual seria obtido numa situação ideal, sem escassez de água.

O método proposto tem caráter geral e pode ser usado para representar complexos casos de bacias hidrográficas, com topologia representada em um modelo de rede de fluxo e cuja função-objetivo seja a de maximizar a renda líquida de cada usuário e o volume

armazenado nos reservatórios. Como estudo de caso, os autores simularam a operação do sistema elétrico das regiões Norte-Nordeste usando, para tal, um modelo semelhante ao NEWAVE. Nesse caso, adotou-se a hipótese segundo a qual a água nos reservatórios estava à disposição apenas do setor de energia e uma curva do valor da água em função do volume armazenado na usina hidrelétrica de Sobradinho foi construída, sendo que a mesma poderia ser adotada, em casos práticos, como uma estimativa do valor da água para a região.

Tilmant e Kelman (2007) propõem uma metodologia para análise de compensações (*trade-offs*) e riscos associados a projetos de larga escala na área de recursos hídricos. O método proposto é baseado na Programação Dinâmica Dual Estocástica – PDDE - e visa a determinar regras operativas mensais ou semanais para reservatórios com múltiplos propósitos de uso, tais como irrigação, navegação, pesca e outras finalidades ambientais.

Os referidos autores escolheram uma região de intenso desenvolvimento, localizada na parte sudeste de Anatólia, região da Turquia, para servir de caso de estudo. Nessa região, está prevista a construção de 22 barragens, 19 hidrelétricas e a destinação de uma área de 1,7 milhões de hectares para irrigação. Na metodologia da PDDE, o volume de água demandado pela irrigação entra como uma restrição adicional à formulação do problema de otimização (Equações 4.6 a 4.11). O resultado desse estudo levou à conclusão de que esse grande projeto de desenvolvimento trará maiores benefícios especialmente para o setor agrícola da região. O maior impacto sob o ponto de vista do setor elétrico seria o aumento da participação hidráulica na matriz energética do país. Ademais, caso o projeto venha a ser realmente implementado em sua totalidade, foram constatados riscos na manutenção da vazão de 500 m<sup>3</sup>/s no rio Eufrates, para países situados a jusante da região de Anatólia, que podem chegar a 20%, ao término do horizonte do projeto, no ano de 2040.

## 5. CASO DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO

Neste capítulo, pretende-se discorrer sobre algumas características da região escolhida para avaliação da metodologia proposta neste trabalho, a bacia hidrográfica do rio Preto. As informações aqui apresentadas, em sua maior parte, foram extraídas do trabalho de consultoria técnica prestado à Secretaria de Infra-Estrutura e Obras do Distrito Federal - SEINFRA, pelo consórcio firmado entre as empresas GOLDER/FAHMA, o qual resultou na elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF.

O rio Preto nasce próximo à cidade de Formosa, no Estado de Goiás, e constitui a divisa leste entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás. Esse rio é afluente do rio Paracatu e compõe uma das sub-bacias da região hidrográfica do rio São Francisco. Desde a nascente até a foz, são cerca de 400 km de extensão. Considerando a região estudada no âmbito do PGIRH/DF<sup>16</sup>, a bacia do rio Preto é a que apresenta os menores índices pluviométricos, além dos mais graves déficits hídricos, principalmente nos altos e médios cursos, fazendo com que haja grande influência do escoamento de base na formação das vazões dos rios dessa bacia, além de uma acentuada demanda por irrigação no trecho alto do rio em questão (SEINFRA, 2006).

Na Figura 5.1, mostra-se a divisão política da bacia do rio Preto, notadamente, as parcelas territoriais referentes às três unidades da Federação que compõem a totalidade de sua área de drenagem. O Estado que detém a maior área é o de Minas Gerais. De acordo com Cordeiro Netto *et al.* (2000), a maior parte do uso de água com fins de exploração econômica ocorre na porção da bacia pertencente ao Distrito Federal. A área correspondente ao território goiano é praticamente toda destinada a treinamentos ministrados pelo Exército brasileiro.

---

<sup>16</sup> A região definida para elaboração do PGIRH compreende o Distrito Federal e seu entorno imediato, prolongando-se para jusante em porções variáveis de áreas nas quais se julgou relevante a influência dessas localidades sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos do DF e entorno (SEINFRA, 2006).

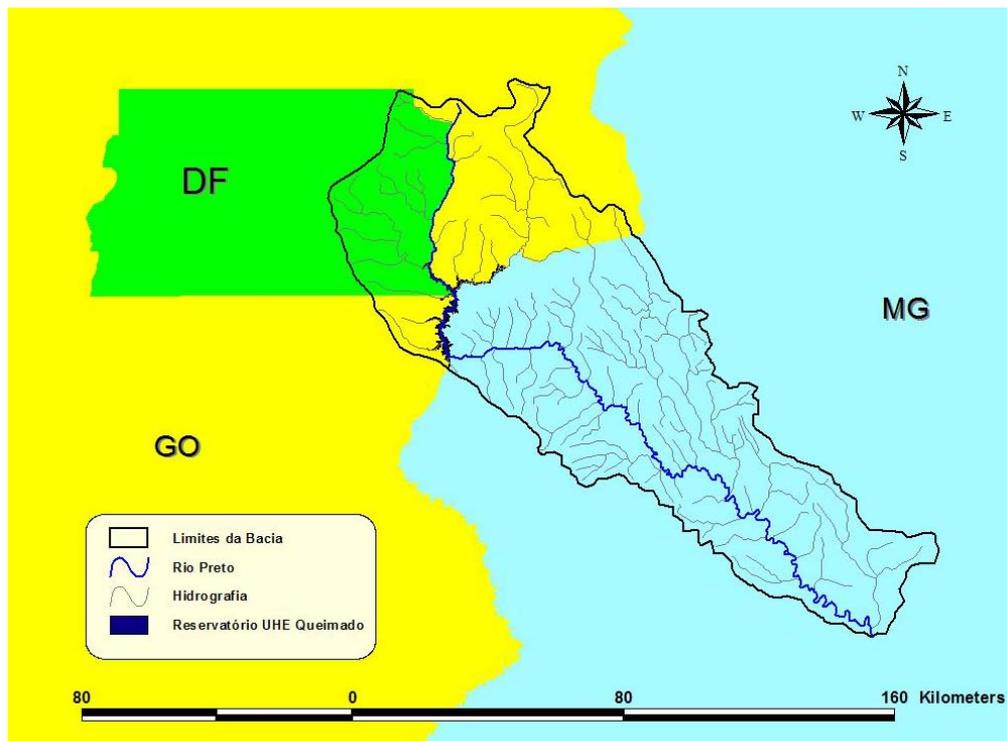


Figura 5.1 – Mapa Hidrográfico-Político da Bacia do Rio Preto

A atividade antrópica na região é basicamente de natureza agrícola, sendo que essa se constitui na principal demanda hídrica da região. Conflitos pontuais entre agricultores irrigantes são registrados, especialmente no período de estiagem e na região mais a montante da bacia, onde há uso expressivo de pivôs-centrais, os quais reduzem consideravelmente a disponibilidade de água. A demanda hídrica da bacia apresenta ainda um importante uso da água, a geração de energia elétrica pela usina hidrelétrica (UHE) de Queimado – operada em conjunto pelo consórcio constituído pelas Companhias Elétrica de Brasília (CEB) e Energética de Minas Gerais (CEMIG) - e cujo reservatório pode ter a operação comprometida pelo uso intensivo dos recursos hídricos a montante (SEINFRA, 2006).

A potência instalada da UHE Queimado é de 105 MW. O seu barramento possui uma área de drenagem total de 3773 km<sup>2</sup>, compreendendo parcelas territoriais nos Estados de Minas Gerais, Goiás e no Distrito Federal. A vazão média de longo período – série histórica de 1931 a 1996 – é de 52,4 m<sup>3</sup>/s, o que resulta numa vazão específica de 13,9 l/s/km<sup>2</sup>. A área inundada pelo reservatório é de cerca de 40 km<sup>2</sup> (SEINFRA, 2006).

Segundo dados da mesma SEINFRA (2006), há um total de 964 captações de água em mananciais superficiais cadastradas em toda a bacia, sendo que, desse total, 923 atendem ao uso da irrigação. As retiradas de água subterrânea também apresentam relevantes pontos de captações (266), embora, sejam elas, em sua maioria, destinadas ao abastecimento doméstico (195). Na Tabela 5.1, sintetizam-se as informações disponibilizadas no referido relatório para a bacia do rio Preto. Na Tabela 5.2, apresentam-se as vazões demandadas segundo os respectivos usos.

Tabela 5.1 – Número de Usuários Cadastrados na Bacia do Rio Preto (SEINFRA, 2006)

Uso	Número de Pontos Cadastrados		
	Superficial	Subterrânea	Total
Abastecimento doméstico	4	195	199
Irrigação	923	2	925
Dessedentação Animal	1	2	3
Abastecimento Múltiplo	-	60	60
Aqüicultura	1	-	1
Industrial	-	3	3
Outros (lazer, clubes, hotéis)	-	4	4
Não informado	35	-	35
<b>Total</b>	<b>964</b>	<b>266</b>	<b>1230</b>

Tabela 5.2 – Vazões Captadas na Bacia do Rio Preto (SEINFRA, 2006)

Uso	Vazões Captadas	
	Superficial (l/s)	Subterrânea(m <sup>3</sup> /h)
Abastecimento doméstico	8	1250
Irrigação	21.698	68
Dessedentação Animal	-	15
Abastecimento Múltiplo	-	636
Aqüicultura	5	-
Industrial	-	22
Outros (lazer, clubes, hotéis)	-	19
Não informado	232	-
<b>Total</b>	<b>21.943</b>	<b>2.010</b>

Os números apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2 ratificam a assertiva de que há uma forte predominância do uso da água para a irrigação agrícola. Dentre as diversas práticas cultivadas, destacam-se as do feijão, milho e trigo. Na Figura 5.2, apresenta-se um gráfico contendo os principais cultivos da região por unidade de área cultivada.

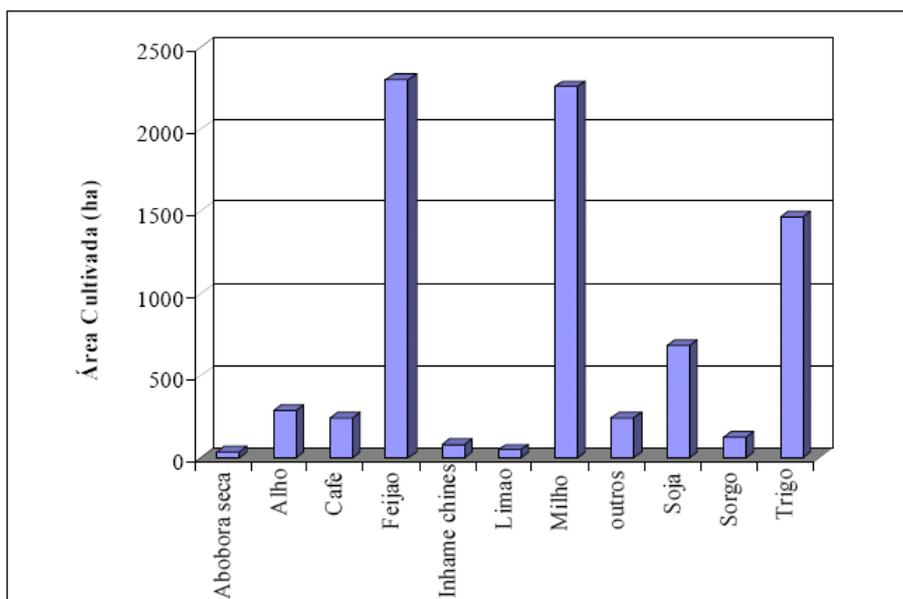


Figura 5.2 – Principais Culturas Praticadas na Bacia do Rio Preto (SEINFRA, 2006)

## 6. METODOLOGIA

A metodologia ora apresentada para desenvolvimento desta pesquisa envolveu a consecução de cinco etapas principais: (i) revisão bibliográfica; (ii) construção da curva de demanda de água para a irrigação na bacia do rio Preto; (iii) construção da curva de demanda para a produção de energia elétrica; (iv) aplicação e teste do procedimento de avaliação econômica de alocação ao sistema hídrico dessa bacia; e (v) avaliação dos resultados.

Na primeira das cinco etapas, a revisão bibliográfica, buscou-se aprofundar e consolidar o conhecimento em três linhas de trabalho principais de reflexão: a) avaliação econômica da água; b) métodos e técnicas para representação de sistemas de recursos hídricos e c) caracterização da bacia hidrográfica do rio Preto. No quesito avaliação econômica da água, foram investigados, em maior profundidade, aspectos teóricos e práticos da valoração econômica da água, com especial enfoque à metodologia da função de produção. De maneira análoga, procurou-se discutir e aplicar conceitos teóricos, assim como analisar experiências práticas da utilização de metodologias para a representação de sistemas hídricos, enfatizando-se os aspectos que fossem mais relevantes ao entendimento e descrição dos modelos NEWAVE e MODSIM.

A terceira e última linha de pesquisa da revisão bibliográfica consistiu na investigação das características físicas, hidrológicas e sócio-econômicas da bacia hidrográfica do rio Preto. Nesse sentido, além das referências citadas no Capítulo 5, estabeleceu-se contato junto à Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal (EMATER/DF) para a coleta de informações, com vistas a subsidiar análises que caracterizassem a utilização da água para finalidades de irrigação nessa bacia.

Na segunda etapa do trabalho – módulo de construção da curva de demanda de água para irrigação -, uma vez adquiridas as informações sobre as principais culturas praticadas na bacia, em conjunto com valores médios de preços, insumos e consumo de água intervenientes a esse processo produtivo, a estimativa do valor da água foi feita empregando-se a técnica da função de produção.

No caso da estimativa do valor da água para a produção de energia elétrica, utilizaram-se resultados de simulações feitas com o modelo NEWAVE. Para tanto, foi necessário estabelecer contato junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para que as informações referentes a essas execuções fossem disponibilizadas. Ademais, em razão de esse modelo ter sido concebido para a operação integrada de todo o sistema hidrotérmico brasileiro, algumas considerações foram feitas quando da análise de seus resultados, com intuito de que os mesmos pudessem ser compatibilizados ao caso mais específico da usina de Queimado.

A quarta etapa foi dedicada à representação do sistema hídrico da bacia, a qual contou com as respectivas informações sobre as demandas econômicas referentes à irrigação e à produção de energia elétrica. Essa representação foi feita em modelo matemático de rede de fluxo baseado no MODSIM, o AquaNet. Esse último modelo apresenta alguns módulos complementares de análise não contemplados na versão inicialmente descrita sobre o MODSIM. Em contrapartida, tais avanços não alteram a validade da descrição teórica feita no Capítulo 4, uma vez que a arquitetura da rede de fluxo e o algoritmo de solução dos dois modelos são exatamente os mesmos.

A quinta e última etapa foi composta pela avaliação dos resultados do procedimento sugerido para a avaliação econômica de alocação. Nesse sentido, uma avaliação global sobre a pertinência do procedimento adotado foi realizada, assim como uma análise específica envolvendo as características econômicas das duas principais demandas de água da região do rio Preto. Em relação a esse segundo quesito, houve a possibilidade de realizar uma análise de sensibilidade em torno de uma variação das características das respectivas funções de demanda de irrigação e produção de energia, avaliando-se, como resultado, as implicações que essas alterações tiveram sobre a alocação final da água na bacia.

A metodologia descrita é apresentada, de forma esquemática, no fluxograma da Figura 6.1.

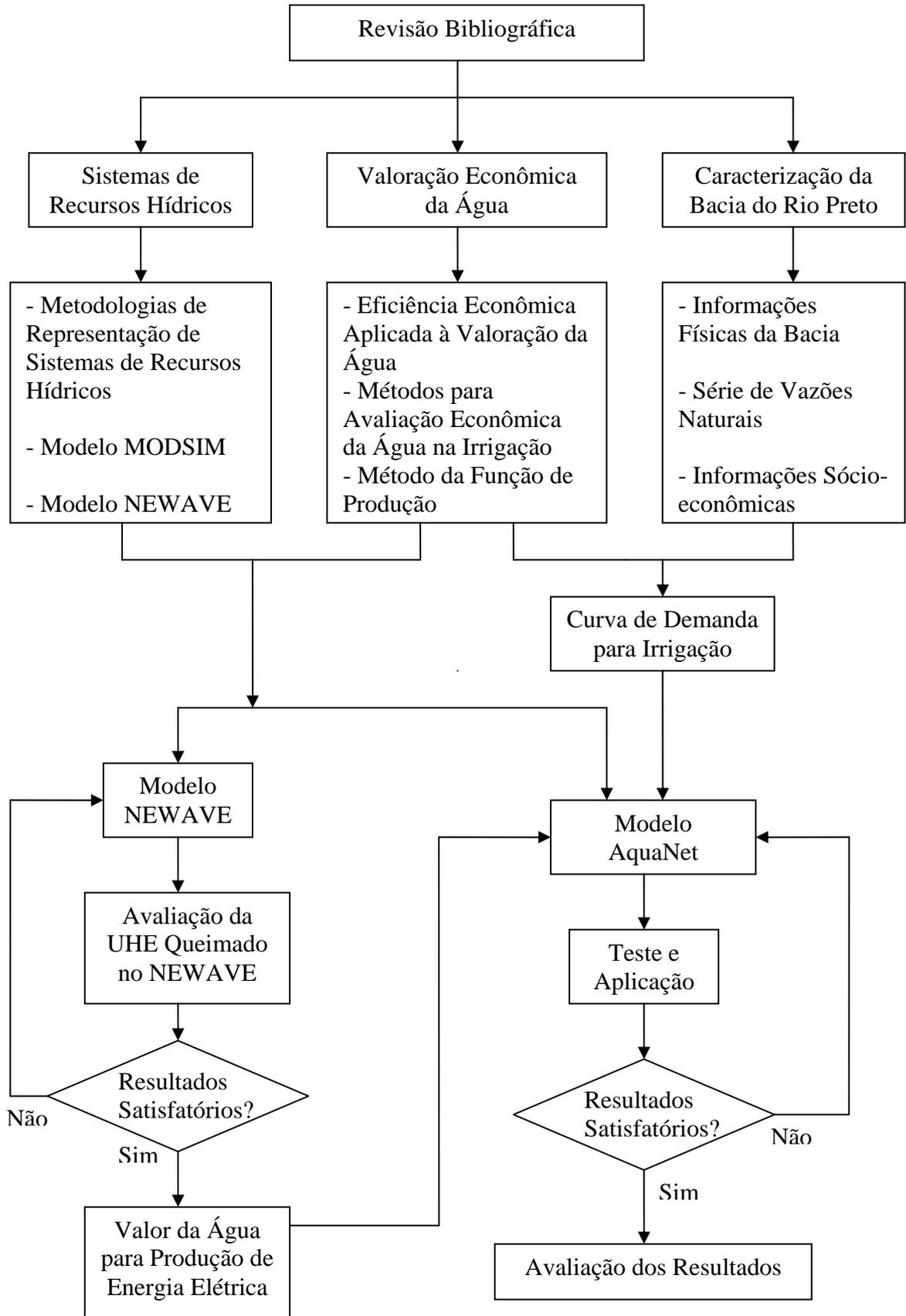


Figura 6.1 – Fluxograma da Metodologia Proposta

## **7. DEMANDA ECONÔMICA PARA A IRRIGAÇÃO**

Nesta seção, buscar-se-á apresentar as etapas referentes à construção da curva de demanda de água para a irrigação na bacia do rio Preto. A finalidade de tal procedimento é avaliar o comportamento do agricultor dessa bacia, sob a ótica da teoria econômica. Em suma, pretende-se obter a renda incremental que um metro cúbico de água proporciona àqueles produtores que optam por investir na aquisição de um sistema de irrigação e incorporá-lo às suas respectivas cadeias produtivas de grãos.

A primeira dificuldade observada nesse processo seria a de obterem-se informações fidedignas quanto ao número de agricultores presentes na bacia, bem como as principais culturas de grãos cultivadas em cada caso, ao longo de um ciclo produtivo, além de suas respectivas áreas de plantio. Nesse sentido, julgou-se oportuno adotar ferramentas de geoprocessamento para que essas dificuldades pudessem ser superadas - ou ao menos mitigadas - uma vez que essa tecnologia apresenta grande potencial para extração de informações dessa natureza.

O relatório SEINFRA (2006) indica uma alta incidência de pivôs-centrais na região do Distrito Federal e entorno imediato e aponta o uso dessa técnica como a preponderante dentre os sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores da região localizados na bacia do rio Preto. Nesse mesmo trabalho, estima-se que 74% da área destinada à irrigação seja feita por meio de pivôs-centrais. O estudo de Sano *et al.* (2002) corrobora essa assertiva e mostra que houve um acréscimo de cerca de 75% no consumo de água para a irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre os anos 1992 e 2002. Esse valor advém de um acréscimo de área irrigada em torno de 3.127 ha em todo DF, sendo que esse crescimento, em sua maior parte, se deu dentro dos limites da bacia do Rio Preto.

### **7.1 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DOS PIVÔS-CENTRAIS**

Em face da alta predominância de pivôs-centrais existentes na região do rio Preto, corroborada pelos trabalhos supracitados, optou-se por identificar essas porções via imagem de satélite. O formato circular dessa tecnologia de irrigação facilita muito a contabilização das áreas destinadas à agricultura por meio de técnicas de sensoriamento

remoto. Devido à alta representatividade que os sistemas de pivôs têm sobre as demais práticas de irrigação nessa região, julgou-se que a identificação dessas áreas de plantio pudesse resultar numa boa representatividade do perfil do agricultor localizado na mesma e, dessa maneira, servir como informação de entrada à análise econômica do uso da água para finalidades de irrigação nessa bacia.

Imagens do satélite CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) foram adquiridas da página na internet do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A câmera imageadora do CBERS permite obter imagens com faixas de 113 km de largura e resolução de 20 metros. Um mosaico composto por um total de seis imagens - datadas de novembro de 2007 - foi confeccionado e, a partir dessa composição, extraído somente a parcela correspondente ao contorno da bacia do rio Preto.

O passo seguinte foi o de identificar e delimitar os pivôs-centrais. Para melhorar a qualidade visual da imagem e enfatizar algumas características de maior interesse, alguns recursos de processamento digital, tais como contraste e composição colorida, foram aplicados à mesma, realçando segmentos específicos e, dessa forma, melhorando o processo de contabilização dos pivôs. Na Figura 7.1 mostra-se um recorte do mosaico construído da bacia do rio Preto, no qual se podem identificar várias áreas irrigadas com pivô-central.



Figura 7.1 – Detalhe dos Pivôs-Centrais

Uma dificuldade encontrada quando da delimitação de cada pivô diz respeito à diferença de nitidez que alguns segmentos apresentavam em relação a outros. Tal fato está relacionado a variáveis que influenciam o comportamento espectral dos alvos dispostos na superfície, tais como teor de umidade do solo, espécie e estágio de desenvolvimento da vegetação. A cor acentuadamente avermelhada de alguns pivôs mostrados na Figura 7.1 indica uma grande reflectância desses segmentos na faixa espectral do infra-vermelho próximo, o que condiz com culturas em estágio pleno de desenvolvimento. Os pivôs que apresentaram menor destaque, após o realce da imagem, resultam de cultivos que podem estar em fase inicial de crescimento, ou que já tiveram sua colheita realizada ou, ainda, serem terras em fase de preparo de novos cultivos. Essas últimas possibilidades têm a característica de apresentarem menores índices de reflectância espectral.

Ao total, foram identificados 207 pivôs-centrais ao longo de toda a extensão da bacia, o que resultou em um montante de 17.620 hectares de terras irrigadas com tal tecnologia. Na Figura 7.2, mostra-se a disposição de todos os pivôs-centrais delimitados na bacia. Nota-se que a maior concentração desses sistemas localiza-se na parte noroeste da bacia, em sua maior parte, dentro do território do Distrito Federal.

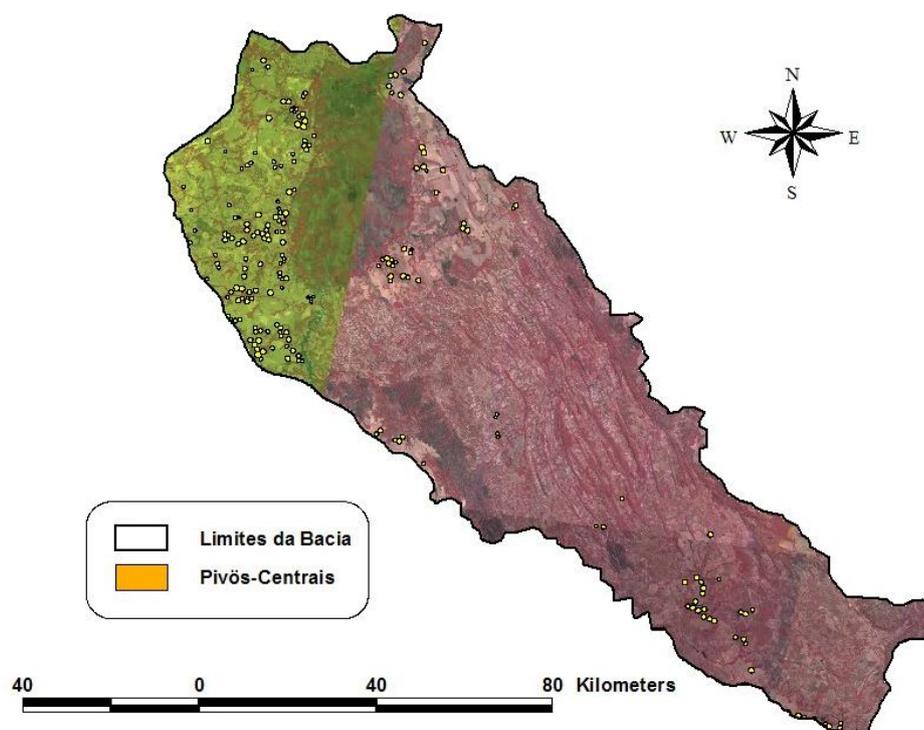


Figura 7.2 – Caracterização dos Pivôs-Centrais

No gráfico da Figura 7.3, mostra-se um histograma contendo um resumo das frequências de cada pivô segundo suas respectivas faixas de áreas irrigadas. O maior pivô detectado apresentou área de 172 hectares, enquanto que o menor teve área de 18 hectares. O valor médio de área, a partir de todos os pivôs identificados, foi de 85 hectares.

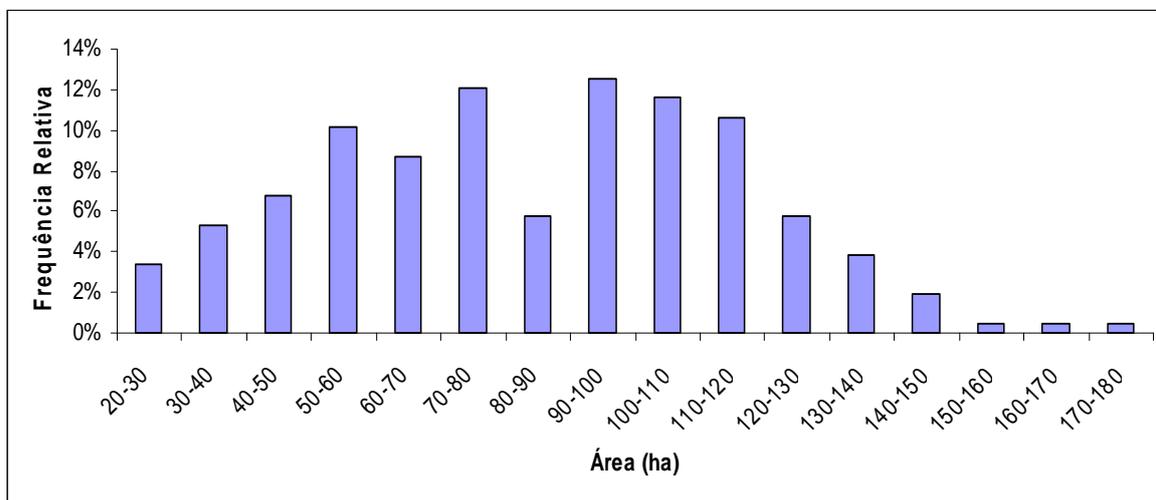


Figura 7.3 – Distribuição de Pivôs-Centrais

## 7.2 INFORMAÇÕES ECONÔMICAS

Para que o benefício líquido do agricultor irrigante seja auferido, além das informações da técnica de cultivo e da área de plantio, requer-se que dados sobre a dinâmica produtiva da região sejam pesquisados. Nesse sentido, faz-se necessário conhecer o ciclo produtivo das principais culturas praticadas na bacia, além de informações de produtividade, preço médio de venda, custos fixos e variáveis do processo produtivo.

Em face da complexidade de se alcançarem todas as possibilidades produtivas existentes na região de estudo, algumas simplificações foram tomadas com o objetivo de tentar explicar um comportamento médio do agricultor da bacia do rio Preto. Dessa forma, a primeira medida foi a de procurar conhecer os principais ciclos de cultivo que são praticados na região. Contato com a Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal (EMATER/DF) - mais especificamente no escritório da região do rio Jardim, sub-bacia do rio Preto -, foi estabelecido para que informações dessa natureza pudessem ser adquiridas sobre a realidade agrícola da área de estudo.

Segundo informações prestadas pelo Engenheiro Agrônomo (M.Sc.) Lúcio Taveira Valadão, há dois grandes ciclos produtivos de grãos praticados na região do rio Preto. O primeiro deles resume-se na produção de soja, no início de novembro, seguido do cultivo de trigo a partir de abril e encerrando-se com o feijão em meados de setembro, esse último estendendo-se até o mês de dezembro. O segundo ciclo difere-se apenas na primeira colheita, em que a soja é preterida pelo milho.

Cabe ressaltar que essas seriam as dinâmicas produtivas mais condizentes com o perfil de agricultor irrigante, que detém as instalações de pivô-central instaladas em sua propriedade, e que, comumente, produz grãos em larga escala. Não faz parte do escopo desta dissertação procurar descrever o comportamento de toda a variedade de produtores e de cultivos praticados na região do rio Preto. Acredita-se que a busca por um perfil médio, que seja representativo da dinâmica produtiva da região, esteja condizente com os objetivos propostos no início deste trabalho, e esteja respaldado na grande relevância que os sistemas de agricultura irrigada por pivô-central detêm sobre a produção agrícola dessa região.

Em relação ao produtor com características de sequeiro, ou seja, aquele que exerce o cultivo de grãos apenas na época de chuvas (período que se estende de outubro a março na região em estudo), o ciclo produtivo mais representativo desse agricultor seria, segundo os técnicos da EMATER/DF, o plantio de feijão no mês de setembro, com colheita em meados de janeiro, seguido de uma safra posterior de milho ou sorgo - de menor produtividade e com um calendário curto, estendendo-se de fevereiro a abril.

No restante do ano, parte desses agricultores segue com atividades ligadas à pecuária, mas, contudo, não chega a ser representativo o número de produtores que exercem tal atividade complementar, tão pouco a renda líquida que os mesmos adquirem dessa atividade. O consenso a que se chegou, depois das discussões feitas com os técnicos da EMATER/DF, foi o de que o produtor de sequeiro, em sua grande parte, não exerce atividades econômicas significativas fora do período úmido. Essa constatação leva à conclusão de que a maior parte de sua renda anual provém dos lucros auferidos com as duas safras cultivadas na estação de verão.

Na Figura 7.4, os principais ciclos produtivos realizados na bacia do rio Preto estão dispostos de forma esquemática.

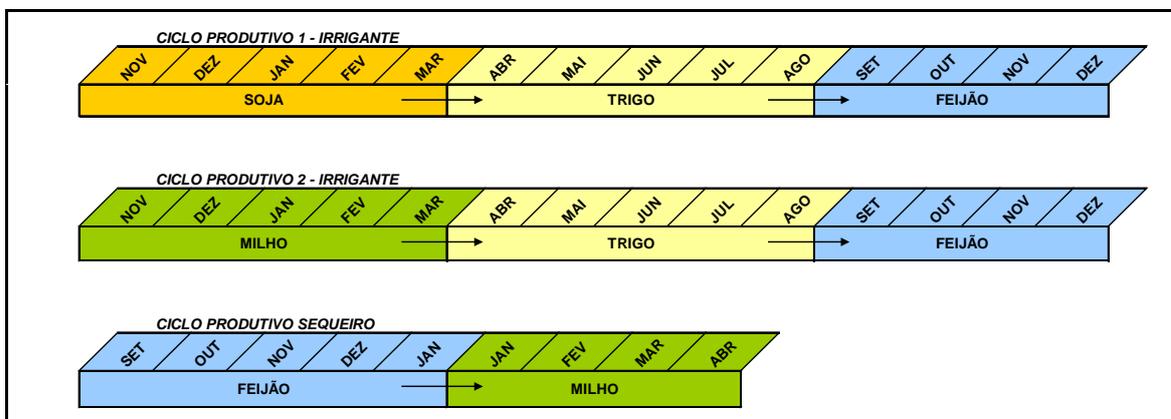


Figura 7.4 – Calendário Produtivo de Grãos

### 7.2.1 Produtividade Agrícola

Um parâmetro importante da análise econômica, quando se pretende estudar a renda percebida pelo agricultor, diz respeito à produtividade agrícola de suas respectivas colheitas. No caso deste trabalho, julgou-se importante coletar valores médios de produtividade para cada tipo de cultivo e, depois, assumir uma distribuição de probabilidade como representativa dos valores obtidos pelos agricultores em toda a bacia do rio Preto.

Na pesquisa de valores médios de produtividade dos grãos, procurou-se consultar fontes cujos dados fossem os mais próximos da realidade observada nessa região e que, não obstante, estivessem condizentes com o atual estágio de desenvolvimento tecnológico existente na mesma. Dessa forma, as principais fontes de consulta foram a EMATER/DF e a EMBRAPA.

A EMATER disponibiliza, em seu sítio na internet, informações sobre custos de produção e produtividade agrícola dos principais grãos produzidos no Distrito Federal. A EMBRAPA, por sua vez, publica uma série de trabalhos técnicos, dentre os quais se encontram notas técnicas sobre produtividade agrícola e coeficiente de cultivos de culturas, sendo que, nesses estudos específicos, há condições monitoradas de aplicação de água.

Na Tabela 7.1 a seguir, dispõe-se um resumo dos valores médios de produtividade empregados para os quatro tipos de culturas avaliadas nesta dissertação, conforme o modo de produção, sequeiro ou irrigado.

Tabela 7.1 – Produtividade Média das Principais Culturas (Kg/ha) <sup>17</sup>

<b>Soja<sup>1</sup></b>		<b>Trigo<sup>2</sup></b>		<b>Feijão<sup>3</sup></b>		<b>Milho<sup>4</sup></b>	
Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado
-	3.300	-	5.216	2.700	3.000	6.000	10.250

1 - Produtividade irrigada segundo Guerra *et al.* (2005).

2 – Produtividade irrigada segundo Azevedo *et al.* (2001).

3 – Produtividades de sequeiro e de irrigação segundo EMATER (2008).

4 – Produtividade de sequeiro segundo EMATER (2008) e irrigada conforme Guerra e Jacomazzi (2001).

Além da produtividade média, requer-se ainda que sejam auferidos valores para o desvio-padrão da produtividade média de cada cultura. Como, até então, dispunha-se apenas de um valor médio de produtividade para cada cultura (Tabela 7.1), a solução adotada para a estimativa do desvio-padrão referente à produtividade de cada cultura foi a de levantar, junto ao banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE –, dados recentes de produtividade agrícola dos municípios integrantes da bacia e, a partir dessas informações, efetuar o cálculo do desvio.

Mostram-se, na Tabela 7.2, os dados de produtividade agrícola dos municípios que compõem a bacia do rio Preto, relativos ao ano de 2007 (IBGE, 2007). A divisão territorial dos municípios da bacia pode ser conferida na Figura 7.5. Ressalta-se que, em razão de não se dispor de amostras distintas para as duas modalidades produtivas - sequeiro e irrigado -, adotou-se o mesmo valor de desvio-padrão para ambas as práticas, quando as mesmas tratavam do mesmo grão<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Não se incluíram valores de produtividade média para culturas em sequeiro de soja e trigo pela razão de tais práticas não serem contempladas no calendário produtivo proposto (vide Figura 7.4).

<sup>18</sup> Os dados do IBGE agregam toda a produção de uma determinada cultura e dividem esse valor pela respectiva área cultivada. Não há, portanto, diferenciação entre diferentes modos de produção quando se contabiliza a produtividade agrícola de um município.

Tabela 7.2 – Produtividade Agrícola dos Municípios (Kg/ha) (IBGE, 2007)

Cultura	DF		Goiás				Minas Gerais					Desvio Padrão
	Brasília	Formosa	Cabeceiras	Cristalina	Cabeceira Grande	Unaí	Natalândia	Bonfinópolis	Dom Bosco	Brasilândia		
soja	2712	3000	3000	2400	2700	2400	-	2400	1900	-	366,9	
trigo	5242	-	-	4800	-	4500	-	-	-	-	373,9	
feijão	2446	1676	2192	2118	2569	2429	1389	2400	-	-	415,8	
milho	6393	6000	6714	6457	5932	5373	3000	4000	3200	4800	1.371,9	

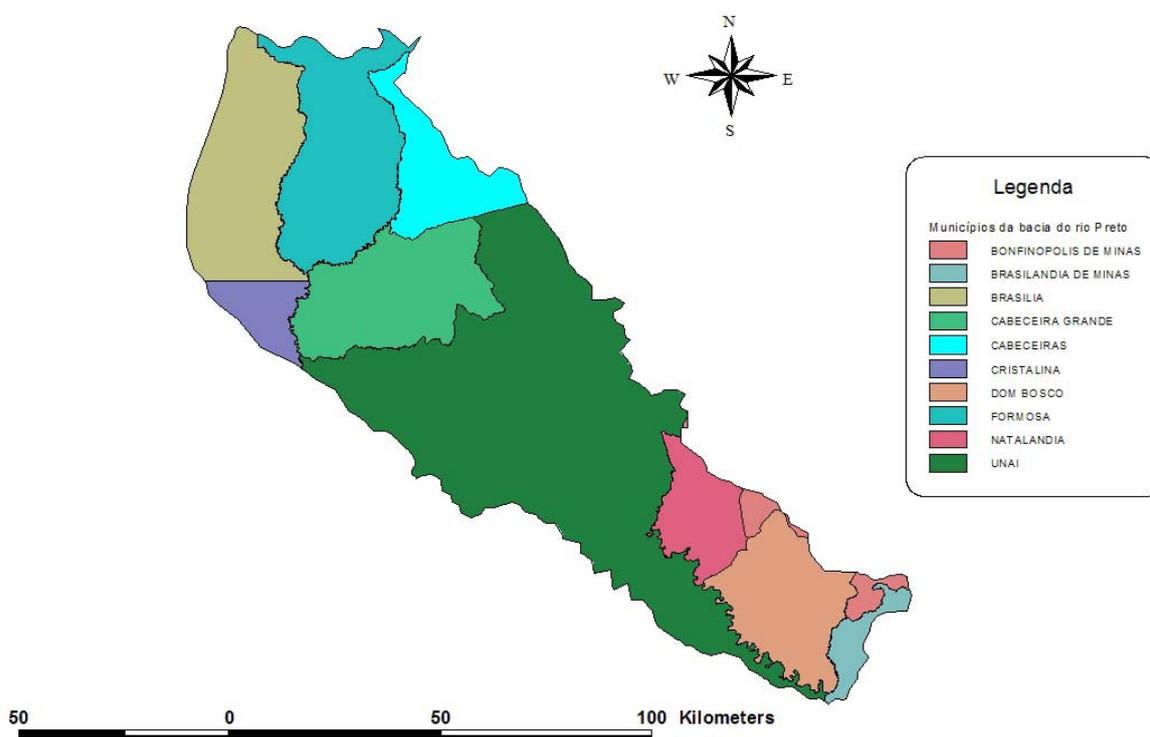


Figura 7.5 - Municípios Componentes da Bacia do Rio Preto

Além dos valores médios de produtividade e desvio-padrão para cada cultivo, foi necessário caracterizar a produção agrícola de toda bacia do rio Preto, considerando-se fatores intervenientes ao processo produtivo de cada agricultor, tais como a maior ou menor propensão ao risco, a variabilidade econômica de cada unidade produtora, bem como aspectos relacionados aos processos físicos e biológicos inerentes a qualquer atividade de produção agrícola. Para tanto, julgou-se oportuno adotar um modelo teórico

de distribuição de probabilidades para exprimir a variabilidade da produção agrícola entre os agricultores da região de estudo<sup>19</sup>.

Just e Weninger (1999) trazem uma análise acerca de cuidados metodológicos que se deve ter quando da aferição de um modelo probabilístico para a representação de produtividades agrícolas. Os referidos autores apresentam alguns princípios que devem ser observados para não se recair em vieses apontados como sistemáticos em análises estatísticas de produtividade média. Ademais, concluem esses autores que a distribuição normal pode ser um modelo adequado para se representar a diversidade da produtividade agrícola de grãos, ainda que não seja o único modelo estatístico passível de ser utilizado.

Ker e Coble (2003) propõem um método híbrido, semi-paramétrico, que combina características paramétricas (distribuição gaussiana, por exemplo) com modelos essencialmente não-paramétricos (estimador Kernel) para representação das funções densidades de probabilidades de produtividade agrícola. Apesar das conclusões a que esses autores chegaram nesse trabalho, relata-se, no mesmo, que a distribuição normal apresenta bons resultados para amostras pequenas de dados (menores do que 15) e, mesmo em outros casos, para os quais haja modelos estatísticos mais adequados, ainda assim, é difícil invalidar, por completo, o uso da distribuição gaussiana.

Nesse sentido, em face da maior simplicidade em se utilizar a distribuição normal e, pelo fato de fugir ao escopo desta dissertação a investigação de métodos mais acurados para a modelagem estatística da produtividade agrícola, optou-se pela adoção do modelo gaussiano como uma representação adequada da diversidade da produtividade agrícola na bacia do rio Preto.

---

<sup>19</sup> Frisa-se que a abordagem ora proposta comete uma simplificação conceitual importante quando utiliza dados de média amostral (EMBRAPA) e desvio-padrão (IBGE) de bases amostrais distintas. O ideal teria sido levantar, junto à bacia do rio Preto, dados de produtividade agrícola entre os agricultores, para que então fossem inferidos valores mais fidedignos para a média e desvio-padrão amostrais associados à produtividade agrícola daquela região.

Vetores contendo valores aleatórios para uma variável aleatória, que atendam a uma determinada função distribuição de probabilidades, podem ser gerados em *softwares* estatísticos especializados. Para tanto, basta que sejam disponibilizadas informações sobre a média e o desvio-padrão amostrais, além da função densidade de probabilidades que se deseja representar. Com efeito, nesta dissertação, optou-se pelo uso do *software* estatístico R<sup>®</sup>, no qual foram gerados seis vetores contendo, cada um, 207 valores aleatórios de produtividade agrícola - em consonância com o número de pivôs ora delimitados na bacia - , sendo que cada vetor corresponde a um tipo de cultura e a uma modalidade de produção (irrigada ou sequeiro). Na Figura 7.6, mostram-se os resultados para as culturas irrigadas e, na Figura 7.7, dispõem-se os resultados para a modalidade de sequeiro.

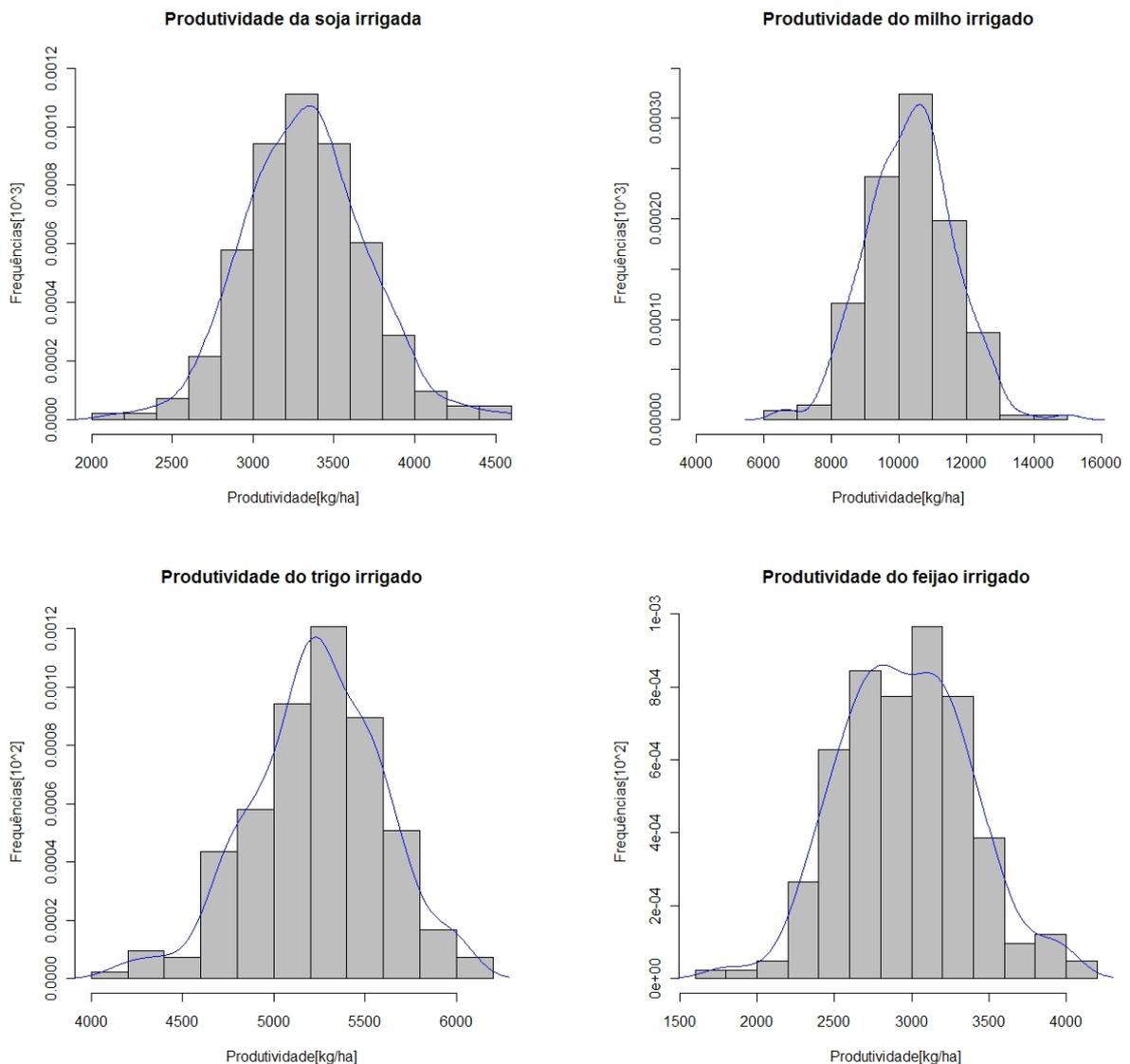


Figura 7.6 – Variabilidade da Produtividade das Culturas Irrigadas

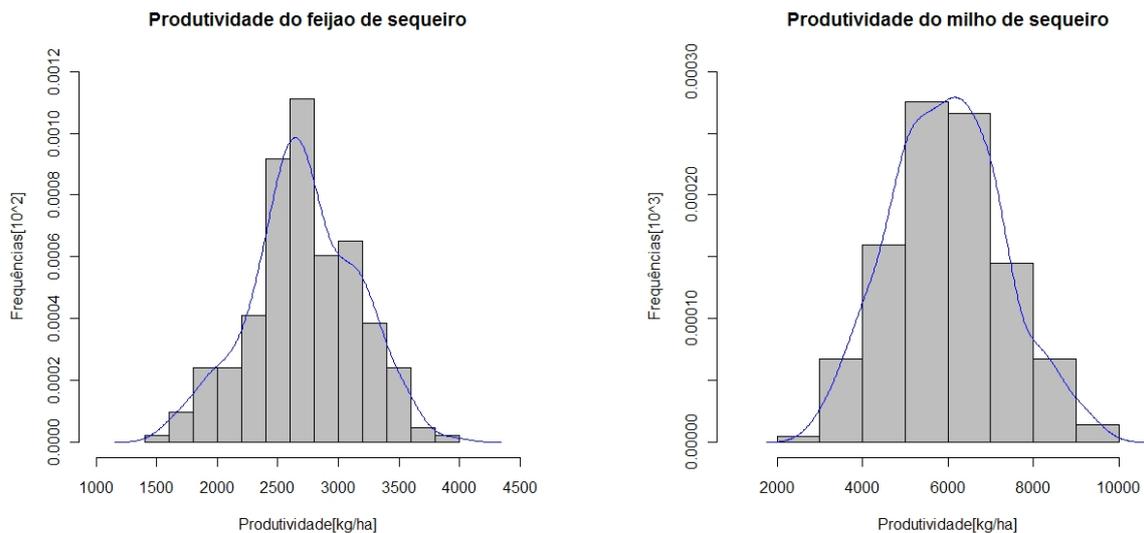


Figura 7.7 – Variabilidade da Produtividade das Culturas de Sequeiro

## 7.2.2 Preços de Mercado dos Produtos Agrícolas

Como requisito para a contabilização da renda bruta recebida pelo agricultor, além do parâmetro produtividade, necessita-se de que os preços de mercado dos grãos produzidos também sejam avaliados. O sítio da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB - na internet centraliza extensa quantidade de índices agropecuários de todo Brasil. Dentre outras instituições que possuem indicadores agropecuários, a CONAB foi a que apresentou dados mais próximos da realidade da bacia do rio Preto, como preços agrícolas da soja e do milho praticados no Estado de Goiás.<sup>20</sup> Entretanto, nos casos do trigo e do feijão, por serem cultivos cuja produção é notadamente maior em outras regiões do país e, por conseguinte, não haver indicadores em Estados mais próximos à região de interesse, teve-se de recorrer a preços em unidades da Federação mais distantes, quais sejam, Paraná e Bahia, respectivamente.

---

<sup>20</sup> A EMATER/DF foi a primeira instituição a ser pesquisada, mas tais informações não constavam em um banco de dados oficial. Outras instituições, como o CEPEA/USP, também foram objetos da referida pesquisa.

Mostram-se, na Tabela 7.3, os dados utilizados e a média de preços de mercado dos grãos na bacia do rio Preto. A série histórica de dados contempla os cinco primeiros meses do ano de 2008, mais o preço praticado no mês de maio do ano anterior (2007)<sup>21</sup>. Os preços são comumente disponibilizados em termos da saca de 60 Kg. Entretanto, optou-se por converter esse indicador para a unidade característica de um quilograma.

Tabela 7.3 – Preço Médio para as Culturas (R\$/Kg) (CONAB, 2008)

	<b>Referência</b>	<b>2007</b>		<b>2008</b>				
	UF	MAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	<b>Média</b>
Soja	Goiás	0,44	0,70	0,71	0,71	0,65	0,66	<b>0,64</b>
Trigo	Paraná	0,43	0,56	0,58	0,64	0,69	0,69	<b>0,60</b>
Feijão	Bahia	0,70	1,93	1,98	2,08	1,77	1,17	<b>1,60</b>
Milho	Goiás	0,24	0,43	0,35	0,35	0,34	0,34	<b>0,34</b>

### 7.2.3 Custos de Produção

Os custos de produção devem ser diferenciados em termos da cultura e da modalidade de produção. Novamente, chama-se atenção ao fato de que não se buscou discriminar minuciosamente todos os insumos e serviços do processo de produção agrícola, nem, tampouco, avaliar toda variabilidade de preços existentes no mercado. Com efeito, adotaram-se planilhas de custos disponibilizadas no sítio da EMATER/DF, as quais foram avaliadas como boas referências para a região. Em relação ao trigo, entretanto, utilizaram-se dados da CONAB (2008) para o Estado do Paraná, por não haver informações similares no sítio supracitado. Mostram-se, nas Tabelas 7.4 e 7.5, respectivamente, os custos de produção do feijão de sequeiro e irrigado. Os custos dos demais grãos encontram-se disponíveis na seção Apêndice desta dissertação.

<sup>21</sup> Um estudo pormenorizado envolvendo o cálculo do preço médio deveria levar em conta uma série histórica com período mais longo (5 anos, por exemplo), corrigida pela inflação desse período. Todavia, julgou-se que o cálculo ora proposto atende aos objetivos desta dissertação.

Tabela 7.4 – Custos de Produção do Feijão de Sequeiro (Modificado de EMATER, 2008)

<b>Descrição</b>						<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$/ha)</b>	<b>Valor Total (R\$/ha)</b>
<b>Insumos</b>									
Adubo mineral (08-28-18 + Micros)	0,40	t	670,00	268,00					
Adubo Mineral (Uréia)	0,12	t	1.277,67	153,32					
Agrotóxicos	9,20	l-kg	69,34	637,91					
Sacaria para grãos	45,00	ud	0,50	22,50					
Sementes de feijão	60,00	kg	3,80	228,00					
<b>Serviços</b>									
Adubação (Mecânica de cobertura)	0,50	h/m	70,00	35,00					
Arranquio	8,00	d/h	25,00	200,00					
Bateção Mecânica	1,00	h/m	70,00	70,00					
Braçagem + Outros	1,00	d/h	25,00	25,00					
Plantio (Mecânico)	1,00	h/m	70,00	70,00					
Preparo do solo (grade aradora)	2,50	h/m	70,00	175,00					
Preparo do solo (grade niveladora)	1,00	h/m	70,00	70,00					
Sementes (tratamento)	0,20	d/h	25,00	5,00					
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>				1.309,73					
<b>SERVIÇOS</b>				650,00					
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>				43,55					
<b>TOTAL</b>				<b>2.003,28</b>					

Nota: h/m corresponde a horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Tabela 7.5 – Custos de Produção do Feijão Irrigado (Modificado de EMATER, 2008)

<b>Descrição</b>						<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$/ha)</b>	<b>Valor Total (R\$/ha)</b>
<b>Insumos</b>									
Adubo mineral (08-28-18 + Micros)	0,40	t	670,00	268,00					
Adubo Mineral (Uréia)	0,15	t	1.277,67	191,65					
Agrotóxicos	9,30	l-kg	63,42	589,77					
Sacaria para grãos	50,00	ud	0,50	25,00					
Energia elétrica p/ irrigação	1.200	KWh	0,18	216,00					
Sementes de feijão	60,00	kg	3,80	228,00					
<b>Serviços</b>									
Adubação (Mecânica de cobertura)	0,50	h/m	70,00	35,00					

Tabela 7.5 (Continuação) – Custos de Produção do Feijão Irrigado (EMATER, 2008)

Arranquio	8,00	d/h	25,00	200,00
Bateção Mecânica	1,00	h/m	70,00	70,00
Braçagem + Outros	1,00	d/h	25,00	25,00
Irrigação (Aspersão)	1,00	d/h	25,00	25,00
Plantio (Mecânico)	1,00	h/m	70,00	70,00
Preparo do solo (grade aradora)	2,50	h/m	70,00	175,00
Preparo do solo (grade niveladora)	1,00	h/m	70,00	70,00
Sementes (tratamento)	0,20	d/h	25,00	5,00
<b>Depreciação</b>				
Pivô-Central	1/3	R\$	565,84	188,61
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>				1.518,42
<b>SERVIÇOS</b>				652,50
<b>DEPRECIÇÃO</b>				188,61
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>				43,42
<b>TOTAL</b>				<b>2.402,95</b>

Nota: h/m corresponde horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Aos custos da modalidade irrigada, resta ainda incluir a depreciação do pivô-central. Para tanto, pesquisaram-se, junto a revendedores desses equipamentos no Distrito Federal, preços praticados na venda do pivô, oportunidade na qual se obteve um valor de referência em torno de R\$ 4.000 por hectare irrigado. Adotando-se uma taxa de juros de 12% ao ano, uma vida útil de 15 anos e um valor residual de 20% em relação ao custo inicial de aquisição, chega-se a uma taxa anual de depreciação para o pivô de R\$ 565,84 por hectare irrigado.

Em consonância com o calendário produtivo da Figura 7.4, a taxa de depreciação do pivô deve ser diluída ao longo de um ciclo de produção e, portanto, dividida entre as três culturas que compõem o calendário produtivo da modalidade irrigação. Feita essas considerações, chega-se ao resumo exposto na Tabela 7.6, o qual revela os custos de produção adotados neste trabalho, incluindo-se nesses, as duas modalidades produtivas.

Tabela 7.6 – Resumo dos Custos de Produção (R\$/ha)

<b>Modalidade</b>	<b>Soja</b>	<b>Trigo</b>	<b>Feijão</b>	<b>Milho</b>
Sequeiro	1.625,06	1.342,77	2.003,28	1.568,79
Irigada	1.961,93	1.866,42	2.402,95	1.877,99

## 7.3 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA NA IRRIGAÇÃO

O volume de água consumido no processo de irrigação é uma variável-chave no cômputo do benefício que a água agrega ao processo de produção agrícola, em especial, à produtividade dos grãos. Nesse aspecto, procurou-se inferir, a partir do arranjo produtivo concebido para a bacia do rio Preto, qual seria o volume médio captado nos mananciais da bacia para a produção irrigada, especialmente aquele feito por meio de pivôs-centrais.

### 7.3.1 Evapotranspiração

A água necessária à irrigação tem o intuito de impulsionar o crescimento e a produção de uma cultura, de modo a minimizar os efeitos de condições climáticas adversas inerentes à região em que se realiza o plantio. A estimativa do consumo da planta pressupõe a adoção de alguns parâmetros, os quais variam conforme a região e a espécie vegetal. A evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*) contabiliza a quantidade de água evaporada e transpirada em uma área coberta por uma vegetação de referência<sup>22</sup>, durante um certo intervalo de tempo.

O Inventário de Recursos Hídricos da Bacia o Rio Paracatu, contratado pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Minas Gerais (SEAPA, 1996), traz o cálculo da evapotranspiração de referência para algumas estações climatológicas dessa bacia, na qual o rio Preto é um dos afluentes. Os dados para a estação de Unaí, utilizando as normais climatológicas do período de 1978-1990 e a metodologia de Thornthwaite, estão dispostos na Tabela 7.7 a seguir:

Tabela 7.7 – Evapotranspiração de Referência na Estação de Unaí (mm)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Unaí	121,7	115,2	119,4	102,8	85,7	60,7	60,9	82,0	86,3	130,2	121,7	121,3

<sup>22</sup> Vegetação de referência corresponde a uma superfície extensiva, totalmente coberta com grama de tamanho uniforme, com 8 a 15 cm de altura e em fase de crescimento ativo, em um solo com condições de umidade ótima (Bernardo, 1995).

Em condições normais de cultivo de plantas de ciclo curto, logo após o plantio, a evapotranspiração de referência é muito superior à evapotranspiração potencial de cada cultura ( $ET_{pc}$ ). Essa diferença diminui à medida em que a cultura se desenvolve, tendendo a um pequeno desvio (para mais ou para menos) quando a cultura atinge cerca de 80% do seu desenvolvimento vegetativo, permanecendo essa condição até o término da fase de enchimento dos grãos, após a qual a diferença volta a aumentar (Bernardo, 1995).

Para se compatibilizarem essas diferenças ao longo do crescimento da planta, ao valor da  $ET_o$ , multiplica-se um coeficiente que varia conforme o tipo de cultura, estágio de desenvolvimento, comprimento do ciclo vegetativo e com as condições climáticas locais. Esse fator de correção é denominado coeficiente de cultura ( $K_c$ )<sup>23</sup> e os valores utilizados para o cálculo da  $ET_{pc}$  foram extraídos de trabalhos desenvolvidos por equipe de técnicos da Embrapa na região do Cerrado, a saber: Guerra e Jacomazzi (2001a), Guerra e Jacomazzi (2001b), Guerra *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2005).

A evapotranspiração real da cultura ( $ET_{rc}$ ) é obtida multiplicando-se um segundo coeficiente – denominado  $K_s$  – ao valor da  $ET_{pc}$ , o qual visa à correção da umidade do solo em função da mesma não permanecer sempre próxima à capacidade de campo. Destarte, adotando-se a premissa de que, em áreas irrigadas, a umidade do solo tende a ser mantida próxima à capacidade de campo, adotou-se um único valor médio para o parâmetro  $K_s$ , igual a 0,95.

### 7.3.2 Precipitação

Finalizado o processo de contabilização da demanda de água para as culturas de grãos, resta estimar o suprimento de água na bacia resultante da precipitação. Sabe-se que, da quantidade total precipitada em uma área, parte é retida pela cobertura vegetal, parte escoou sobre a superfície e outra parcela infiltra no solo. Desse montante infiltrado, uma fração retém-se na zona radicular e outra percola para camadas mais profundas.

---

<sup>23</sup> Os valores de  $K_c$  empregados para cada cultura, em consonância com os calendários de produção estabelecidos, podem ser conferidos na Seção 7.3.3, consultando-se a Tabela 7.9.

Em irrigação, interessa, principalmente, a parte da precipitação que será utilizada diretamente pela cultura para atender a sua demanda evapotranspirométrica. Dá-se o nome de Precipitação Efetiva ( $Pe$ ) à diferença entre o total precipitado e a parte que escoa sobre a superfície do solo, esta última somada à parcela que percola abaixo do sistema radicular das plantas.

A precipitação total foi calculada utilizando-se informações de postos pluviométricos contidos na bacia do rio Preto, disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2008). Do total de postos cadastrados nesse banco de dados, utilizaram-se apenas as informações contidas em quatro postos, dado que o restante deles, ou não tinha qualquer registro histórico, ou dispunha de período insuficiente de dados.

A chuva média da bacia foi obtida aplicando-se o método de Thiessen, a partir da média mensal dos quatro postos de referência mencionados. Na Figura 7.8, pode-se conferir a localização dos postos selecionados e as áreas de influência obtidas para cada um desses postos, resultante da aplicação do referido método. Os códigos e áreas dos polígonos podem ser checados na Tabela 7.8.

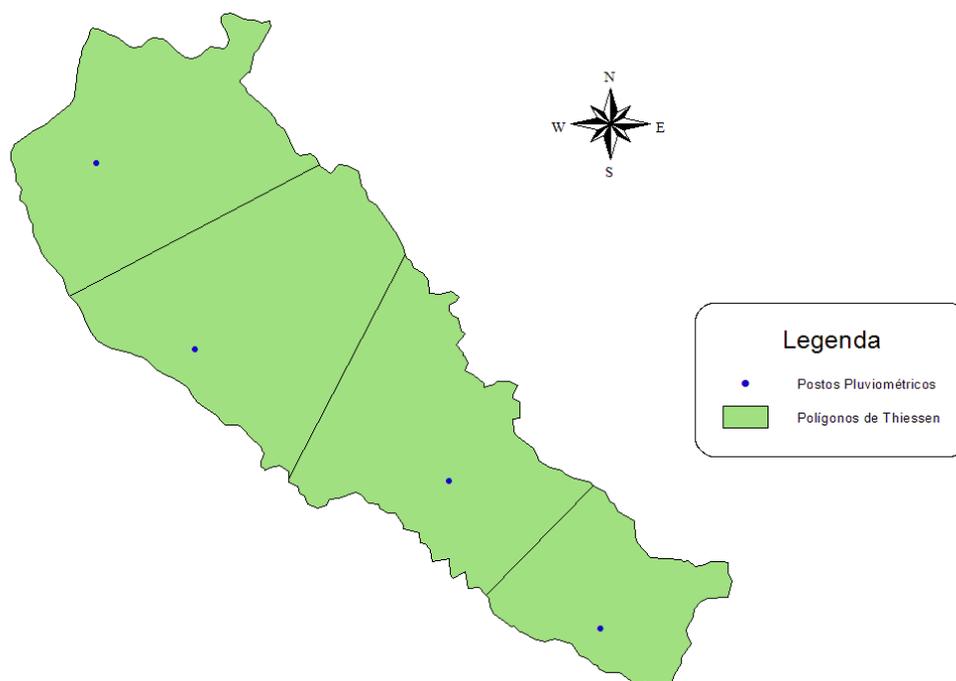


Figura 7.8 – Método de Thiessen para o Cálculo da Chuva Média

Tabela 7.8 – Código e Área de Influência dos Postos Pluviométricos Utilizados

<b>Código do Posto</b>	<b>1547022</b>	<b>1647008</b>	<b>1646004</b>	<b>1646000</b>
Área Thiessen (km <sup>2</sup> )	2.807	3.144	2.705	1.493

A precipitação efetiva foi calculada em função da precipitação média mensal e da evapotranspiração potencial média mensal de cada cultura, segundo procedimento proposto pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, consultado em Bernardo (1995).

### 7.3.3 Consumo de Água na Irrigação

A quantidade total de água necessária à irrigação (*ITN*), em um determinado período (no caso do presente trabalho, adotou-se o de um mês), é medida em termos de lâmina d'água e pode ser calculada mediante a seguinte expressão:

$$ITN = \frac{ETrc - Pe}{Ea} \quad (7.1)$$

onde *ETrc* é a evapotranspiração real média mensal da cultura; *Pe* é a precipitação efetiva média de um mês e *Ea* corresponde à eficiência do método de irrigação utilizado.

Adotando-se uma eficiência de aplicação de 80% para a técnica de pivô-central (Bernardo, 1995), mostra-se, na Tabela 7.9, um resumo dos parâmetros, das etapas de cálculo e dos resultados obtidos quanto à estimativa do consumo de água para as culturas irrigadas na bacia do rio Preto.

Tabela 7.9 – Consumo de Água para as Culturas Irrigadas

<b>CICLO 1</b>	<b>Soja</b>					<b>Trigo</b>					<b>Feijão</b>				
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Kc	0,83	1,42	1,61	1,40	0,8	0,82	1,47	1,50	0,77	0,30	0,98	1,52	0,97	0,55	
Ks	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
ETpc(mm)	101	172	196	161	96	84	126	91	47	25	85	198	118	67	
ETrc (mm)	96	164	186	153	91	80	120	86	45	23	80	188	112	63	
P (mm)	198	214	206	150	168	72	27	8	5	9	26	73	198	214	

Tabela 7.9 (Continuação) – Consumo de Água para as Culturas Irrigadas

	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pe (mm)	116	138	150	108	105	50	20	5	4	6	18	63	121	100
ITN (mm)	0	32	45	57	0	38	125	102	51	22	78	156	0	0
<b>CICLO 2</b>	<b>Milho</b>				<b>Trigo</b>					<b>Feijão</b>				
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Kc	0,10	1,11	1,62	1,35	0,50	0,82	1,47	1,50	0,77	0,30	0,98	1,52	0,97	0,55
Ks	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
ETpc (mm)	12	135	197	156	60	84	126	91	47	25	85	198	118	67
ETrc (mm)	12	128	187	148	57	80	120	86	45	23	80	188	112	63
P (mm)	198	214	206	150	168	72	27	8	5	9	26	73	198	214
Pe (mm)	92	124	150	106	95	50	20	5	4	6	18	63	121	100
ITN (mm)	0	5	47	52	0	38	125	102	51	22	78	156	0	0

A lâmina d'água requerida pelas culturas pode ser convertida em vazão, se o valor calculado em cada mês para o *ITN* for multiplicado pela área total irrigada e, esse volume resultante, for dividido pelo intervalo de tempo contido em um mês. Procedendo-se dessa forma, chegou-se a uma estimativa média do consumo mensal de água na bacia do rio Preto, para cada um dos dois ciclos de produção. O resultado dessa análise está disposto na Figura 7.9.

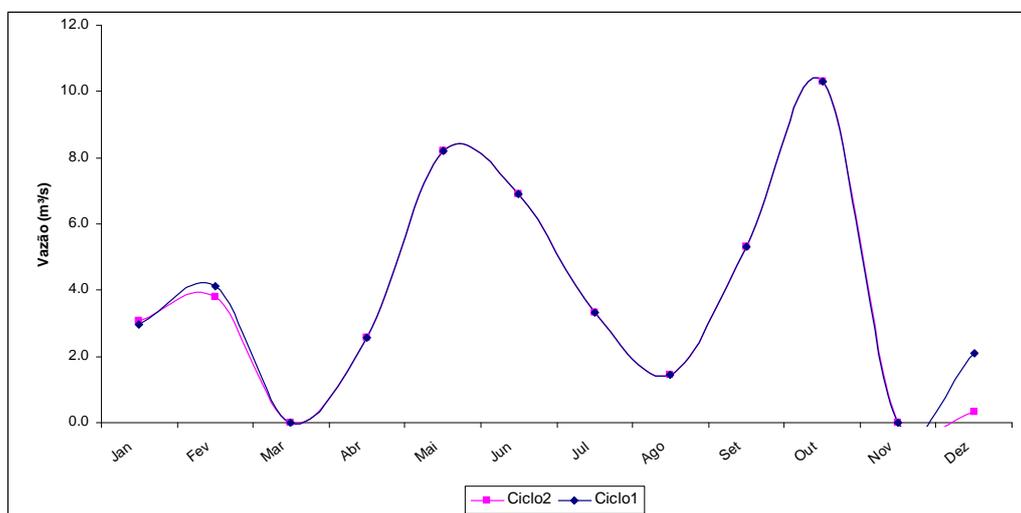


Figura 7.9 – Irrigação por Pivô-Central no Rio Preto

A análise dos hidrogramas da Figura 7.9 mostra que o valor máximo de consumo chega a atingir valor superior a 10 m³/s. Um aspecto importante relacionado a esse pico está no fato de que ele ocorre no mês de outubro, e não no ápice da estação seca (trimestre de junho a

agosto), como inicialmente poderia pensar-se. Com efeito, esse resultado está intrinsecamente relacionado às premissas do modelo teórico de produção adotado.

Contrapondo-se os dois calendários produtivos estudados, com a demanda por água de cada cultura (ver valores do parâmetro  $Kc$  na Tabela 7.9), nota-se que o pico de consumo para o trigo, por exemplo, dá-se nos meses de maio e junho, período em que os efeitos da seca, geralmente, ainda são mais brandos. No ápice da estiagem - meses de julho e agosto - , verifica-se uma queda nos valores de  $Kc$  do trigo, uma vez que já se aproxima o seu período de colheita. Da mesma forma, a resposta para que a vazão máxima tenha ocorrido em outubro está relacionada ao ápice da demanda por água do feijão (valor de  $Kc$  igual a 1,52) ter acontecido nesse mês, o qual, por sua vez, tem uma precipitação média bem aquém do requerido por essa cultura nesse estágio de germinação.

Por fim, em face de a única diferenciação entre os dois ciclos ser o plantio de milho ou soja, no início de cada calendário produtivo e, também, por ser esse período inicial composto pelos meses mais chuvosos, não se nota diferença significativa entre os dois hidrogramas. Assim, examinando os valores de  $ITN$  calculados para a soja e o milho, percebe-se que esses são bem próximos entre si, chegando a atingir valores nulos em duas e três oportunidades respectivamente.

#### **7.4 CURVA DE DEMANDA PARA A IRRIGAÇÃO NO RIO PRETO**

Finalizada a etapa de estimativa dos preços praticados no mercado de grãos agrícolas, do custo médio de produção e do volume de água consumido, pôde-se então iniciar procedimento para construção de uma curva de demanda econômica para a água usada na irrigação agrícola. Não obstante, o primeiro passo consistiu em se efetuar o cálculo da renda bruta e do custo total de cada célula produtiva, a qual é entendida aqui como sendo a área delimitada por um pivô-central. Uma vez contabilizados esses dois fatores, a renda líquida da irrigação é obtida efetuando-se a diferença entre os mesmos. De maneira análoga, pode-se, também, contabilizar quais seriam os custos e a renda percebida nessa mesma área de plantio, só que para o caso em que esta fosse destinada ao modo de produção em sequeiro.

O valor da água, por sua vez, pode ser derivado utilizando-se a Equação 3.8. Essa expressão, vista sob a ótica deste trabalho, nada mais é do que a razão entre a diferença das rendas líquidas das duas modalidades produtivas – irrigada e sequeiro – e o volume total de água consumido na irrigação. Com efeito, para o presente caso de estudo, pode-se reescrever a Equação 3.8 da seguinte forma:

$$\text{Valor da água} = \frac{\text{Renda Líquida Irrigante} - \text{Renda Líquida Sequeiro}}{\text{Consumo de Água}} \quad (7.2)$$

Procedendo-se dessa maneira, foi realizado o cálculo do valor da água para cada pivô-central delimitado na bacia do rio Preto, sendo que, os parâmetros econômicos e as etapas de cálculo para uma célula produtiva, podem ser conferidos na Tabela 7.10. Esse exemplo corresponde a um pivô cultivado segundo a seqüência proposta para o ciclo 1 de irrigação. O cálculo para o ciclo 2 é feito de forma idêntica, diferenciando-se apenas as variáveis econômicas de entrada da primeira cultura (soja, no caso do ciclo 1), que passam a ser os valores relacionados ao cultivo do milho (primeira cultura do calendário de irrigação do ciclo 2).

Tabela 7.10 – Cálculo do Valor da Água para uma Célula Produtiva

<b>Irrigação</b>							
Área (ha)	Preço (R\$/Kg)	Custo Médio (R\$/ha)	Produtividade (Kg/ha)	Renda Bruta (R\$)	Custo de Produção (R\$)	Renda Líquida (R\$)	Consumo d'água (m <sup>3</sup> )
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)=a*b*d	(f)=a*c	(g)=e-f	(h)
Soja	0,64	1.943	3.620	131.459	109.726	21.733	75.533
Trigo	56,47	0,60	1.867	5.742	193.639	105.442	88.197
Feijão	1,60	2.403	3.314	300.155	135.705	164.449	132.326
<b>Sequeiro</b>							
Área (ha)	Preço (R\$/Kg)	Custo Médio (R\$/ha)	Produtividade (Kg/ha)	Renda Bruta (R\$)	Custo de Produção (R\$)	Renda Líquida (R\$)	Consumo d'água (m <sup>3</sup> )
(a)	(b)	(i)	(j)	(l)=a*b*j	(m)=a*i	(n)=m-l	
Feijão	56,47	1,60	2.003	2.755	249.510	113.134	136.376
Milho	0,34	1.569	6.447	125.372	88.596	36.776	-
<b>Valor da Água</b>							
<b>Diferença entre as Rendas Líquidas (R\$)</b>							<b>100.192</b>
<b>Consumo Total de Água na Irrigação (m<sup>3</sup>)</b>							<b>397.797</b>
<b>Valor da Água (R\$/m<sup>3</sup>)</b>							<b>0,25</b>

Tendo em vista o fato de a produtividade agrícola ter sido considerada uma variável aleatória, aderente à distribuição Normal, os resultados obtidos para o valor da água também apresentaram uma variabilidade estatística. Na Figura 7.10, mostra-se a variação do valor da água calculado em toda bacia para o ciclo1, bem como algumas estatísticas relevantes. Na Figura 7.11, esses mesmos resultados são dispostos para o segundo calendário produtivo considerado.

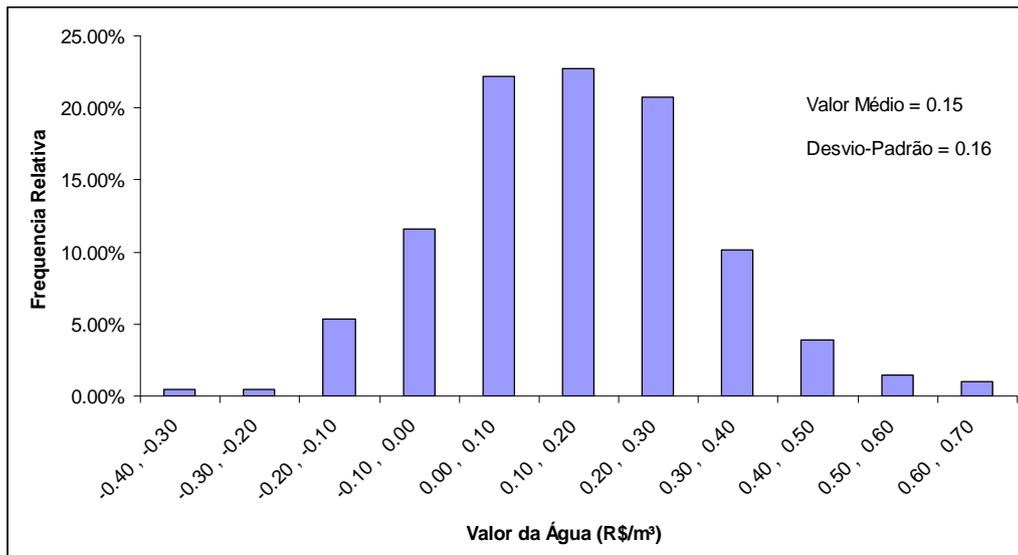


Figura 7.10 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 1

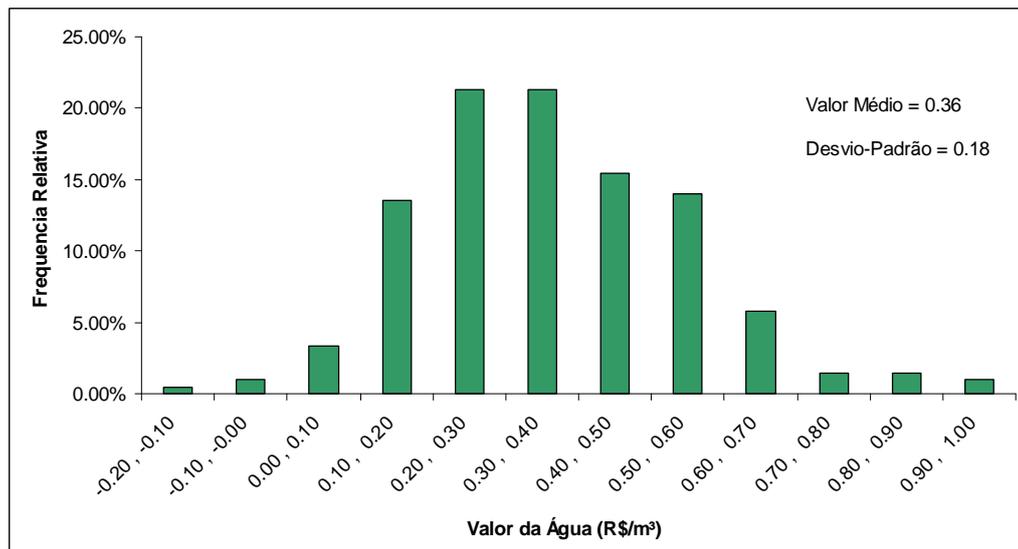


Figura 7.11 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 2

Esses resultados levam a algumas considerações interessantes quanto ao valor econômico que a água pode ter, quando utilizada para a irrigação de produtos agrícolas.

Primeiramente, pelo fato de a produtividade agrícola ser um parâmetro que apresenta variação local, a renda líquida percebida pelo irrigante, e, conseqüentemente, o benefício econômico que a água proporciona a ele, é fortemente dependente do quão eficiente se torna o seu processo de irrigação. Ainda que tenham sido poucas as células produtivas que apresentaram valores da água negativos (menos de 5% dos casos nos dois ciclos), não é nulo o risco ao qual o irrigante se submete quando investe numa estrutura de irrigação para a produção agrícola.

Destarte, o maior valor médio obtido para os irrigantes que optaram pelo plantio inicial de milho (ciclo 2) se deve à combinação da maior produtividade dessa cultura quando comparada à soja (valor médio cerca 3 vezes maior) e ao preço de mercado que, embora seja cerca de duas vezes menor, manteve-se em um patamar ainda suficiente para que o produto entre a produtividade e o preço (renda bruta) permanecesse superior. Em suma, as oscilações dos preços de mercado de *commodities* ou avanços tecnológicos na produção agrícola influenciam diretamente a estimativa do valor econômico da água utilizada na irrigação.

A partir desses últimos resultados, pode-se construir uma curva de demanda para água na bacia a partir da contabilização do benefício incremental que a água proporciona ao próximo agricultor que deseja irrigar. Esse benefício apresenta uma tendência decrescente, na medida em que o retorno marginal líquido decai enquanto mais unidades do insumo água são consumidas.

Com efeito, os dados de renda líquida, calculados para todas as células produtivas, foram ordenados de forma decrescente e, a partir dessa ordenação, procedeu-se ao cálculo da renda acumulada em toda bacia, que nada mais é do que o somatório desses valores de renda decrescente, armazenados em um novo vetor de dados. De forma análoga, ordenou-se o consumo d'água de cada célula produtiva em formato decrescente e, após isso, procedeu-se à soma desses valores, gerando um vetor adicional contendo volumes de água acumulados.

A divisão do vetor de renda acumulada pelo vetor de volume acumulado resulta no benefício marginal da água para a irrigação na bacia do rio Preto. Todos esses valores,

dispostos em um gráfico, correspondem ao esboço de uma curva de demanda pela água utilizada para a irrigação nessa bacia.

Na Figura 7.12, mostram-se os resultados para os dois ciclos produtivos estudados. Ao analisar as duas curvas, nota-se que ambas apresentam benefícios marginais decrescentes, sendo que a do ciclo 2 tem um patamar mais elevado, em razão de o milho ter tido uma renda bruta média superior a da soja, como já descrito anteriormente. Outra maneira de interpretar essas curvas seria como sendo a representação da disposição a pagar de um irrigante da bacia por um m<sup>3</sup> de água adicional captado do rio Preto. Essa disposição a pagar decai na medida em que o irrigante utiliza a água para a produção de grãos, e sua utilização aproxima-se da quantidade requerida para seu respectivo cultivo.

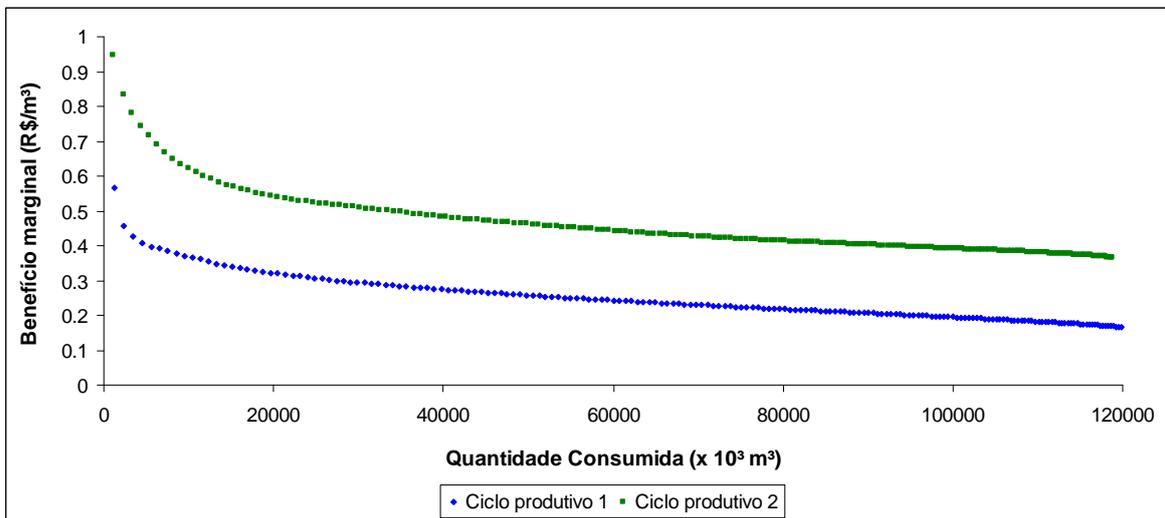


Figura 7.12 – Curvas de Demanda de Água para a Irrigação no Rio Preto

## 8. DEMANDA ECONÔMICA PARA A ENERGIA ELÉTRICA

### 8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A produção de energia elétrica na usina hidrelétrica de Queimado consiste em um segundo uso importante para a água na bacia do rio Preto. Essa usina está inserida no Sistema Interligado Nacional e, portanto, integra um dos sub-mercados de energia elétrica do país. A formação de preços nesses sub-mercados se dá por meio de simulações do modelo NEWAVE. De acordo com a metodologia desse modelo, os custos marginais de operação consistem numa boa referência para o valor da água, uma vez que os mesmos refletem o custo de oportunidade de se utilizar a água estocada nos reservatórios das usinas em detrimento do acionamento de usinas térmicas, essa análise sendo feita dentro do horizonte de planejamento do modelo, qual seja, cinco anos.<sup>24</sup>

Embora Queimado detenha uma pequena participação na matriz de usinas hidráulicas do país, a estratégia de se aferir o valor da água para essa usina foi a de se efetuar uma rodada do NEWAVE, retirando Queimado da configuração de usinas desse modelo e, a partir de então, comparar esse resultado com uma simulação corriqueira do mesmo, sendo que ambas as simulações teriam que ser feitas para períodos de planejamento idênticos. A contribuição de Queimado seria, portanto, a diferença no custo marginal de operação observada nessas duas simulações.<sup>25</sup>

Todavia, uma ressalva em se adotar tal procedimento estaria no fato de a potência instalada de Queimado (105 MW), comparada ao potencial energético total do bloco hidráulico de usinas em que ela se insere – cerca de 73.407 MW (ONS, 2008a) -, representar uma

---

<sup>24</sup> Uma explicação mais detalhada sobre a metodologia do NEWAVE pode ser consultada no Capítulo 4 desta dissertação

<sup>25</sup> O algoritmo de otimização do NEWAVE não contempla uma solução para cada usina individualmente. A convergência do modelo se dá em termos de cada um dos quatro grandes sub-sistemas (reservatórios equivalentes de energia). Não há, portanto, possibilidade de se obter resultados para as usinas de forma isolada (Pereira e Pinto, 1985).

pequena fração. Assim, haveria o risco de a diferença entre as duas simulações ser inócua, uma vez que tal subtração não seria capaz nem de sobrepor-se à flutuação numérica inerente à rotina de otimização estocástica do NEWAVE.

Mesmo com essa ressalva, optou-se por estabelecer contato junto ao ONS, por meio da Engenheira (M.Sc.) Cecília Maria Ventura Dias Bezerra Mercio, para a realização de uma simulação atípica do NEWAVE, retirando a UHE Queimado do escopo de usinas hidráulicas do modelo. Essa simulação foi processada sob o mesmo horizonte do programa de operação do mês de agosto de 2008, ou seja, o mês inicial do período de estudo foi agosto de 2008, e, o último, dezembro de 2012. A simulação usual do modelo já havia sido processada pelo ONS, de modo que, finalizada a simulação atípica, a Engenheira enviou os arquivos contendo o resultado das duas simulações via correio eletrônico<sup>26</sup>.

Nesses arquivos, havia, além do relatório padrão de saída do NEWAVE - ora disposto na Figura 8.1 -, outro resultado contendo, mês a mês, os custos marginais de operação (CMO) e a Energia Natural Afluyente (ENA) a cada subsistema.

```

CEPEL                                MODELO ESTRATEGICO DE GERACAO HIDROTERMICA A SUBSISTEMAS                                VERSAO 14.0_L                                PAG. 1
-----
DATA : 04-11-2008 HORA : 11:33:35 CASO : PMO AGOSTO - 2008 (SINT) - teste Bruno UNE
-----
DADOS GERAIS
-----
DURACAO DE CADA PERIODO DE OPERACAO                                1
NUMERO DE ANOS DO HORIZONTE DE ESTUDO                             5
MES INICIAL DO PERIODO DE PRE-ESTUDO                               1
MES INICIAL DO PERIODO DE ESTUDO                                   8
ANO INICIAL DO PERIODO DE ESTUDO                                  | 2008
NUMERO DE ANOS QUE PRECEDEM O HORIZONTE DE ESTUDO                 0
NUMERO DE ANOS QUE SUCEDEM O HORIZONTE DE ESTUDO                 5
NUMERO DE ANOS DO POS NA SIMULACAO FINAL                         0
IMPRIME DADOS DAS USINAS                                          SIM
IMPRIME DADOS DE MERCADO                                          SIM
IMPRIME DADOS DE ENERGIAS                                         SIM
IMPRIME PARAMETROS DO MODELO DE ENERGIA                           SIM
IMPRIME PARAMETROS DO SUBSISTEMA EQUIVALENTE                      SIM
IMPRIME DETALHAMENTO DA OPERACAO                                  SIM

```

Figura 8.1 – Trecho do Arquivo de Saída do NEWAVE

<sup>26</sup> Esses resultados podem ser consultados no Apêndice desta dissertação.

A ENA consiste na vazão natural que chega a cada reservatório, valorada pela produtibilidade média de cada usina<sup>27</sup>. A ENA de um subsistema é o somatório do produto entre a vazão afluyente e a produtibilidade acumulada de uma cascata de usinas, esta última entendida como sendo o somatório das produtibilidades de todos os aproveitamentos hidrelétricos pertencentes ao conjunto de bacias hidrográficas que compõem esse subsistema. O parâmetro CMO exprime o custo incremental da operação do sistema associado a uma variação marginal de carga (demanda de energia) do mesmo.

## 8.2 ANÁLISE PARA O SUB-SISTEMA SUDESTE/CENTRO-OESTE

Nesta etapa do trabalho, a primeira medida adotada foi a de arranjar os dados de ENA e CMO em planilhas do *Microsoft Excel*<sup>®</sup>, com o intuito de avaliar a relação existente entre essas variáveis<sup>28</sup>. Mostra-se na Figura 8.2 a correlação obtida entre ENA e CMO para o sub-sistema Sudeste/Centro-Oeste, a qual contém os valores médios anuais dos prognósticos feitos para o ano de 2009. Esse resultado é produto da simulação feita com o histórico de vazões naturais observadas entre os anos de 1931 a 2006.

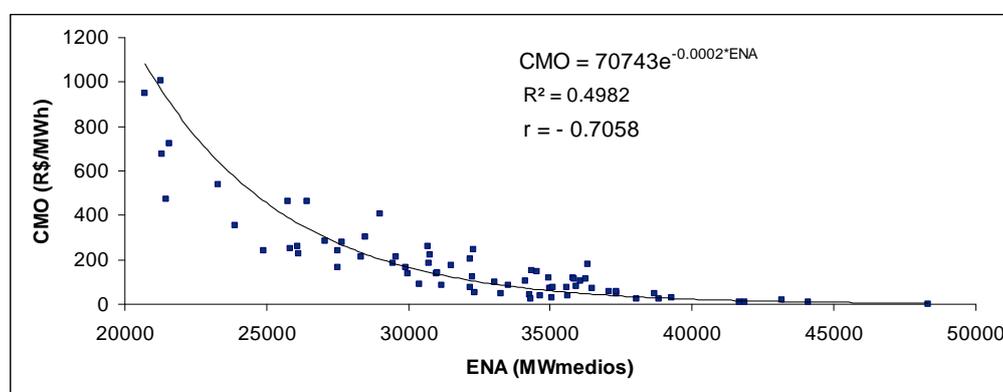


Figura 8.2 – Custo Marginal de Operação para a Região Sudeste e Centro-Oeste

<sup>27</sup> Produtibilidade média indica a taxa média de conversão do turbinamento em energia, considerando os rendimentos do grupo turbina-gerador, para uma dada altura equivalente do reservatório, a qual é considerada como sendo constante e igual a 65% do enchimento do volume útil. Altura equivalente é a diferença entre as cotas do reservatório e do canal de fuga da usina, descontadas as perdas hidráulicas (ONS, 2008b).

<sup>28</sup> Os resultados para o CMO no NEWAVE são disponibilizados em termos de três patamares de carga: leve, média e pesada. Esses patamares correspondem à variação da demanda de energia que ocorre durante um dia, sendo que, neste trabalho, utilizaram-se sempre os resultados referentes ao patamar médio de demanda.

Como se pode notar da Figura 8.2, há uma relação indireta entre ENA e CMO, com coeficiente de correlação ( $r$ ) igual a  $-0,71$ . De forma análoga, procurou-se avaliar a correlação existente entre ENA e CMO em relação à rodada do NEWAVE, sem a UHE Queimado. Esse ajuste também apresentou coeficiente de correlação muito próximo ao anterior, com valor igual a  $-0,70$ .

Com efeito, a partir desses dois resultados e, atendendo à premissa inicial de se verificar a participação energética que a UHE Queimado teria na matriz de usinas do sub-sistema Sudeste/Centro-Oeste, efetuou-se a diferença entre os resultados dessas duas simulações. Essa diferença foi feita tanto em relação aos valores de ENA, quanto aos valores médios anuais do CMO. Esse último resultado pode ser conferido na Figura 8.3.

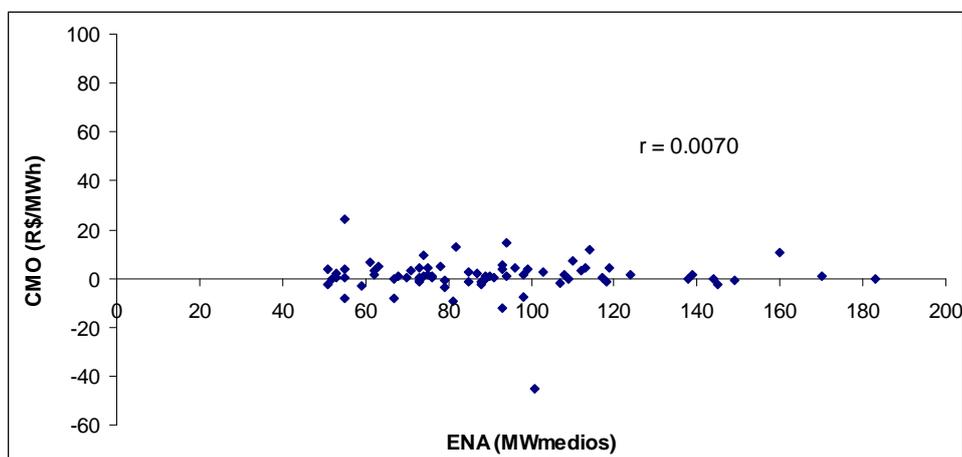


Figura 8.3 – Diferença dos Resultados entre as Duas Simulações

Como se pode notar dessa última figura, a retirada da UHE Queimado da configuração de usinas do NEWAVE não promoveu qualquer influência sobre os resultados dos custos operativos (coeficiente de correlação próximo a zero). Conclui-se que, devido à metodologia de agregação de usinas hidráulicas em um único reservatório equivalente de energia, e à magnitude do sub-sistema Sudeste/Centro-Oeste em termos de produção de energia, a retirada de uma fração pequena de potência instalada dessa matriz de usinas não foi suficiente para alterar significativamente os resultados da simulação do modelo. Não obstante essa última conclusão, procedeu-se a outras avaliações que ainda aproveitassem os resultados das simulações já realizadas.

Antes de descrever tais alternativas, julga-se importante tecer comentário acerca das premissas iniciais consideradas: O fato de a UHE Queimado estar conectada ao SIN faz com que a programação da operação dessa usina seja coordenada pelo ONS. Isso significa que o montante de energia produzida em Queimado, a cada instante, é determinado por esse órgão central, o qual avalia a operação e a confiabilidade do sistema como um todo. Assim, embora o regime hidrológico e a magnitude das vazões em Queimado possam diferenciar de outras localidades da região Sudeste brasileira, a sinergia causada pela interligação e centralização da operação de todo sistema elétrico brasileiro faz com que a energia produzida nessa usina possa ser valorada pelo custo marginal da operação de todo o sub-sistema do qual ela faz parte, sem que, para isso, incorra-se em grande prejuízos em termos de consistência metodológica.

Nesse sentido, procurou-se adotar a própria curva disposta na Figura 8.2 como sendo uma aproximação para o valor da água turbinada em Queimado. Para que essa prerrogativa pudesse ser mais consistente, investigou-se a correlação existente entre a ENA da região Sudeste/Centro-Oeste com as vazões naturais afluentes a Queimado<sup>29</sup>. Caso essa relação apresentasse forte correlação, esse fato reforçaria a premissa de que seria válido transpor diretamente o resultado da simulação do sub-sistema Sudeste para a usina em questão.

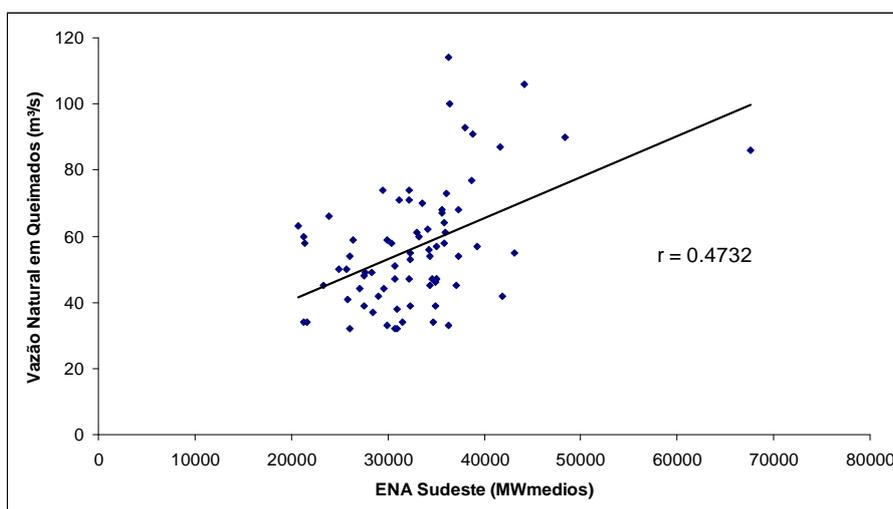


Figura 8.4 – Correlação entre ENA Sudeste/Centro-Oeste e as Vazões Naturais em Queimado

---

<sup>29</sup> A série de vazões naturais de Queimado foi obtida de ONS (2008a) e pode ser consultada na seção Apêndice desta dissertação.

Entretanto, o resultado disposto na Figura 8.4 mostra que, embora Queimado faça parte do bloco de energia da região Sudeste, é baixa a correlação existente entre o regime hidrológico da bacia do rio Preto e a média das vazões observadas nos rios mais importantes em termos de produção de hidroeletricidade dessa região do Brasil. Essa constatação se deve, em grande medida, ao fato de o rio Preto ser uma afluente da região hidrográfica do São Francisco e, portanto, deter um regime hidrológico distinto de outras bacias importantes localizadas em latitudes mais altas, tais como as dos rios Tietê e Paranapanema, por exemplo.

### 8.3 ANÁLISE PARA O SUB-SISTEMA NORDESTE

A conclusão a que se chegou no item anterior levou à hipótese de que as vazões naturais em Queimado pudessem apresentar boa correlação com a ENA da região Nordeste, uma vez que a maior parte do montante de energia de origem hidráulica produzida nessa região provém do rio São Francisco. Na Figura 8.5, mostra-se a correlação entre a ENA da região Nordeste e as vazões naturais afluentes a Queimado. Nota-se, desse resultado, que houve um aumento significativo no coeficiente de correlação quando se compara o mesmo com o caso da região Sudeste. Essa constatação corrobora a assertiva de que, do ponto de vista hidrológico, o sub-sistema que melhor relaciona-se com Queimado é o Nordeste.

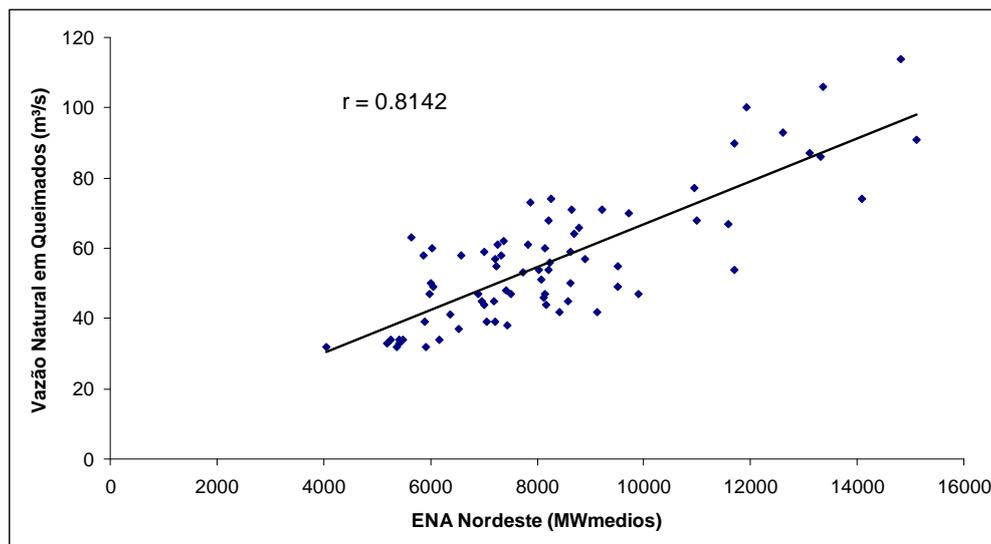


Figura 8.5 – Correlação entre ENA da Região Nordeste e as Vazões Naturais em Queimado

Essa última afirmação, no entanto, não pode levar à imediata transposição dos resultados desse sub-sistema para a UHE Queimado porque, devido à configuração do sistema de transmissão do SIN, a energia produzida em Queimado é disponibilizada à região Sudeste do país, colaborando, ainda que em pequena magnitude – como já foi visto anteriormente –, para a formação do preço da energia nesse último sub-mercado.

Todavia, quando se comparam os custos marginais de operação médios entre os sub-sistemas Sudeste e Nordeste (Figura 8.6), nota-se que a diferença entre eles, ao longo do histórico simulado, não chega a ser significativa<sup>30</sup>. A média do desvio calculado foi de 14 R\$/MWh; em um ano apenas, essa diferença foi maior, chegando a atingir 120 R\$/MWh. Se se considerar que a diferença média entre os dois CMOs, ao longo de todo histórico simulado, não chega a alterar a ordem de grandeza do valor de referência para a energia, pode-se então adotar, sem grande perda de consistência na análise, o resultado do CMO para a região Nordeste como sendo uma boa aproximação do valor da água turbinada em Queimado.

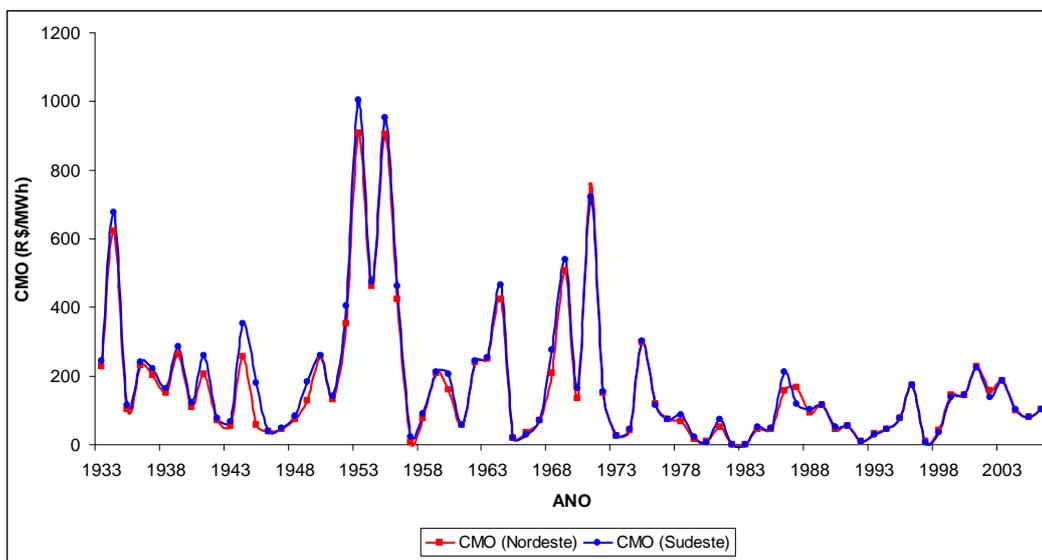


Figura 8.6 – Comparação entre CMOs ao Longo do Histórico Simulado

<sup>30</sup> Tal constatação provém do fato de haver intercâmbio de energia entre essas regiões. Essa compensação energética faz com o que o custo marginal de operação em ambas seja igual ao valor do incremento de energia produzido na próxima usina (hidráulica ou térmica) mais barata pertencente a qualquer uma delas. A diferenciação observada em alguns períodos se deve à limitação física de transporte das linhas de transmissão responsáveis pelo provimento desse fluxo energético compensatório entre os sub-sistemas em questão.

Partindo-se dessa última premissa, procurou-se utilizar integralmente os resultados da simulação do NEWAVE para a região Nordeste como sendo um bom balizador do valor da água turbinada na UHE Queimado. Nesse sentido, novamente dispõe-se em um gráfico (Figura 8.7) os valores de ENA e CMO resultantes da simulação com o histórico de vazões de 1931 a 2006.

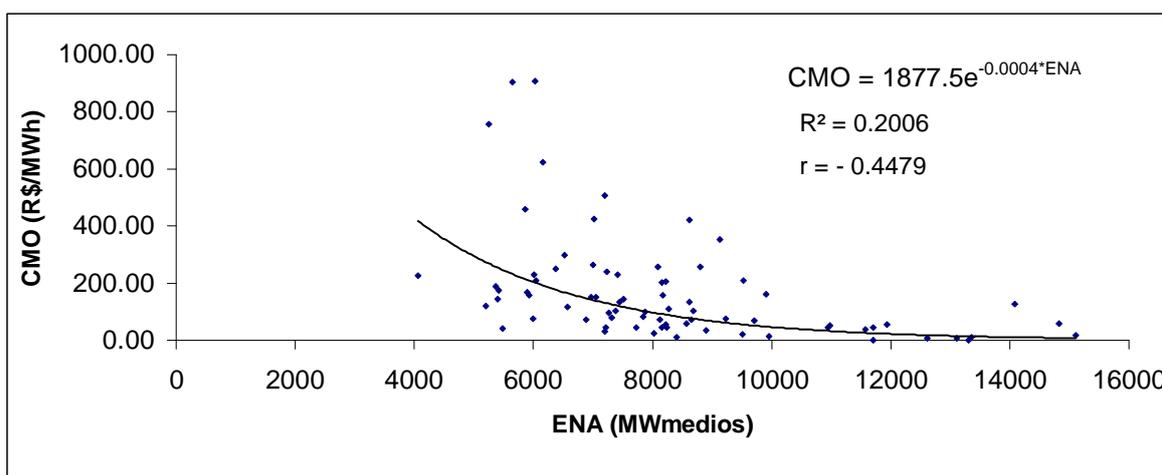


Figura 8.7 – Custo Marginal de Operação para a Região Nordeste

Esse último resultado mostra, claramente, uma dispersão maior dos valores do custo de operação em relação à afluência de energia, quando o mesmo é comparado com o obtido para a região Sudeste/Centro-Oeste (Figura 8.2). Em realidade, uma das possíveis discrepâncias desses resultados pode ser atribuída ao intercâmbio de energia, o qual é promovido por meio de extensas linhas de transmissão construídas entre essas macro-regiões do país, e tem a função de compensar energeticamente um ou mais sub-sistemas em relação aos demais, quando os primeiros estejam enfrentando período(s) de baixas afluências aos seus reservatórios.

Ademais, os mais importantes reservatórios de geração de energia elétrica estão localizados nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país. É, também, nessa mesma macro-região, que se tem a maior demanda de energia elétrica do país (ONS, 2008a). Esses dois fatos fazem com que esse sub-sistema apresente a maior correlação entre as variáveis afluência/armazenamento e custo marginal de operação.

### 8.3.1 Considerações sobre o intercâmbio de energia entre os sub-sistemas

A depender das condições hidrológicas de cada região do país, o intercâmbio de energia elétrica pode se dar das mais variadas maneiras entre os quatro sub-sistemas. Em caráter ilustrativo, mostra-se, na Figura 8.8, um esquema de intercâmbio promovido no SIN. O sinal negativo em uma das rotas indica que o fluxo de energia se deu no sentido oposto ao indicado pela seta.



Figura 8.8 – Exemplo de Intercâmbio no SIN (ONS, 2008a)

Informações extraídas de ONS (2008a), as quais incluem dados operativos mensais de intercâmbio no SIN disponibilizados a partir ano de 2001, mostram que a região Nordeste é, essencialmente, importadora de energia, enquanto que o sub-sistema Norte exporta, anualmente, quantidade expressiva de energia para o Sudeste e Nordeste. Todavia, o fato de uma região ser majoritariamente importadora de energia não quer dizer que esta também não tenha excesso de energia em alguns meses e, por conseguinte, exporte para um ou mais sub-sistemas. Na Tabela 8.1, mostra-se um resumo do intercâmbio ocorrido entre os sub-sistemas do SIN. Os valores dessa tabela correspondem ao valor líquido anual do fluxo observado em cada uma das modalidades possíveis entre essas quatro regiões.

Tabela 8.1 – Intercâmbio Líquido no SIN - MWmédios (ONS, 2008a)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
SE/CO – NE	3.287	4.203	10.322	5.144	4.677	1.089	3.590	16.279
N – NE	9.152	6.224	4.795	3.831	1.751	2.753	796	10.125
N – SE/CO	1.606	-1.404	47	1.728	2.301	6.416	-1.506	-3.525
S – SE/CO	12.810	1.593	-13.398	-11.832	-14.111	-40.024	-7.003	-8.108

Com base nos dados dispostos na Tabela 8.1 e, visando a melhorar a correlação até então obtida entre ENA e CMO para a região Nordeste (Figura 8.7), realizou-se uma análise cujo escopo principal foi o de detectar uma possível influência que o intercâmbio entre a região Nordeste e demais sub-sistemas poderia ter tido sobre a sinalização econômica dos custos de operação nesse primeiro sub-sistema.

Nesse sentido, o seguinte procedimento foi implementado aos resultados da simulação realizada com o NEWAVE: Para uma carga (demanda) média anual de energia previamente estabelecida - sendo uma para cada um de dois sub-sistemas em análise -, em um ano em que a ENA de um sub-sistema não foi suficiente ao pleno atendimento de sua respectiva demanda e, em contrapartida, houve pleno atendimento à carga no outro sub-sistema, significa que, muito provavelmente, houve intercâmbio da região com excesso de energia para a com déficit, havendo, portanto, uma sinalização incorreta sobre o valor do CMO nesse último sub-mercado. Quando essa configuração ocorrer, o ano em questão deve ser retirado da análise. Por outro lado, nos anos em que, ou ambas as ENAs não foram suficientes ao atendimento das respectivas demandas, ou, contrariamente, estas foram plenamente atendidas, significa que houve menos chance de ter ocorrido intercâmbio significativo entre os dois sub-sistemas, fazendo com que a sinalização econômica entre ENA e CMO seja mais adequada.

Informações sobre a carga média de energia em cada sub-sistema foram retiradas do arquivo de saída do NEWAVE. A demanda anual média de energia prevista no modelo, para o ano de 2009, no sub-mercado do Nordeste, foi de 8.098 MWmédios; para as regiões

Sudeste e Centro-Oeste, esse valor foi de 35.611 Mwmédios e, para o Norte, chegou a 3.962 MWmédios<sup>31</sup>.

Uma primeira verificação, contrapondo-se os dados de ENA obtidos para a região Norte, com o respectivo valor de carga média de energia em 2008, fez com que esse sub-sistema fosse descartado da análise. Chegou-se a tal conclusão em virtude de sua demanda ser atendida em cerca de 97% dos anos do histórico simulado e, ademais, haver sobra de energia. Dessa forma, o Norte exporta esse excedente para as regiões Nordeste e Sudeste, de modo que os valores de CMO obtidos para essas duas regiões provavelmente já internalizam o aporte de energia adicional vindo daquele sub-sistema. Portanto, torna-se pouco eficaz a aplicação do algoritmo descrito anteriormente nesse caso.

Não obstante, o outro fluxo importante de energia para a região Nordeste é o originário do subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Nesse caso, julgou-se pertinente avaliar o algoritmo proposto em virtude da região Sudeste ser a principal produtora e consumidora de energia elétrica no Brasil e, dessa forma, deter a maior parcela de participação sobre a formação dos custos finais de operação do SIN. Tal procedimento resultou na exclusão de 21 anos do total de 76 anos do histórico simulado. Assim, os 53 pontos restantes apresentaram uma correlação significativamente melhor entre ENA e CMO, conforme pode ser conferido na Figura 8.9.

Considera-se que esse último resultado, embora ainda apresente uma dispersão importante de alguns dados, contém uma tendência melhor caracterizada entre a ENA e o CMO para a região Nordeste. Ademais, a curva ajustada indica um formato mais próximo do que previamente se esperaria obter da relação indireta que há entre essas duas variáveis.

---

<sup>31</sup> Não se incluiu a região Sul nessa análise pelo fato de ela não promover intercâmbio direto com o Nordeste, embora haja intercâmbio de energia entre ela e o sub-sistema Sudeste e, por conseguinte, alguma influência no custo de operação desse último sistema e, consequentemente, no próprio SIN.

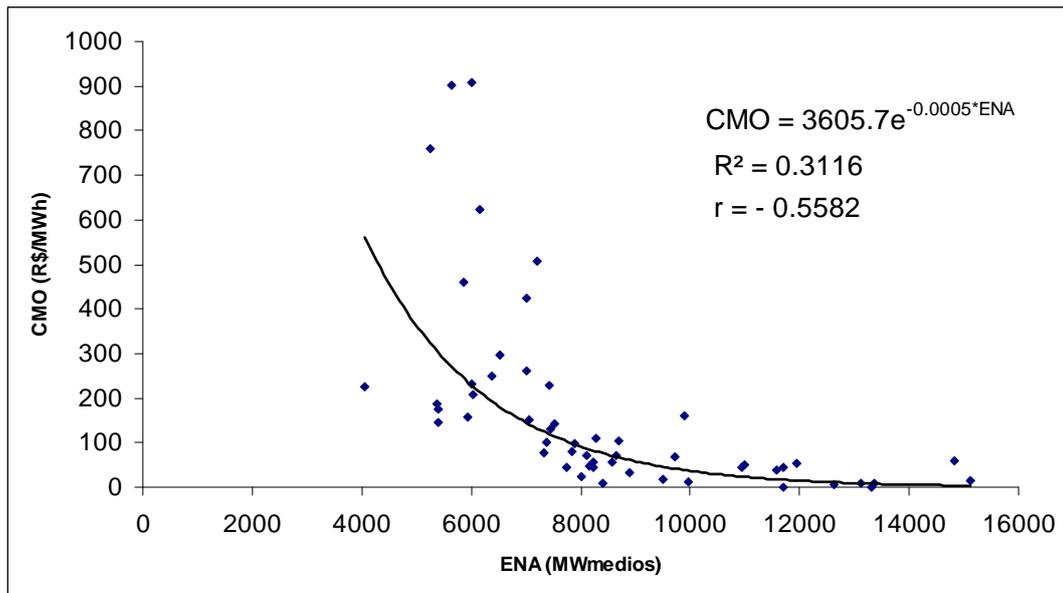


Figura 8.9 - Custo Marginal da Operação para o Nordeste após Análise de Intercâmbio

Sendo, portanto, considerada pertinente essa última relação, procedeu-se à conversão da variável ENA em unidades de vazão, visando à obtenção de uma relação para o custo marginal de operação em unidades de fluxo de água. Essa mudança é feita a partir da própria definição de ENA, que é a vazão afluyente multiplicada pela produtibilidade acumulada de uma cascata de usinas (ver Item 8.1).

Nesse ponto da análise, optou-se por estabelecer duas vertentes para o prosseguimento do cálculo do valor da água na geração hidrelétrica. A primeira delas envolve a consideração de toda a cascata do rio São Francisco - da qual Queimado faz parte - na análise do uso da água para a produção de energia. Nesse caso, faz-se necessário conhecer a topologia de usinas do rio São Francisco, a qual é indicada na Figura 8.10. Nota-se, dessa figura, que um metro cúbico turbinado em Queimado também produz energia em Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso e, por último, em Xingó.

Portanto, a conversão do valor do CMO, em termos de unidade monetária por fração de energia produzida (R\$/MWh), para unidades monetárias dividido pelo volume de água turbinado (R\$/m³), não leva em conta, nesse caso, apenas a produtibilidade da usina de Queimado, uma vez que existe um ganho agregado de energia produzido pelas usinas situadas a jusante desse aproveitamento.

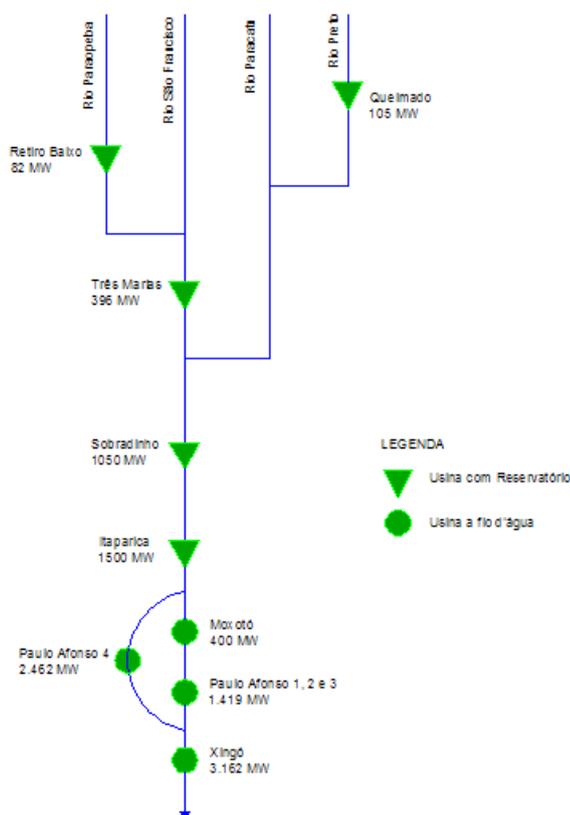


Figura 8.10 – Topologia das Usinas Hidrelétricas na Bacia do Rio São Francisco

Tomando-se, como exemplo, o somatório das produtibilidades das usinas dispostas na Tabela 8.2, o fluxo de água de um  $m^3/s$ , que passa por todas as turbinas dessa cascata, durante uma hora, produz 4,3467 MWh de energia. Isso equivale a dizer que, em uma hora, têm-se 828  $m^3/MWh$  de volume turbinado. O valor da água é obtido dividindo-se o custo da energia produzida por essa última relação. Considerando-se um CMO hipotético de 100 R\$/MWh, chegar-se-ia ao valor final de 0,1207 R\$/ $m^3$ .

Tabela 8.2 - Produtibilidades de Queimado e das Usinas Imediatamente a Jusante (ONS, 2008b)

<b>Hidrelétrica</b>	<b>Produtibilidade (MWh médio/<math>m^3/s</math>)</b>
Queimado	1,5778
Sobradinho	0,2235
Itaparica	0,4406
Complexo Paulo Afonso/Moxotó	1,0202
Xingó	1,0846

Essa conversão de unidades foi efetuada para todos os valores médios do histórico simulado. A distribuição empírica de frequências para o valor da água nesse caso, em que se considerou não só Queimado, mas todas as usinas a jusante desta, pode ser conferida na Figura 8.11 a seguir. Por questões de praticidade dessa análise, denomina-se esse caso como “caso 1”.

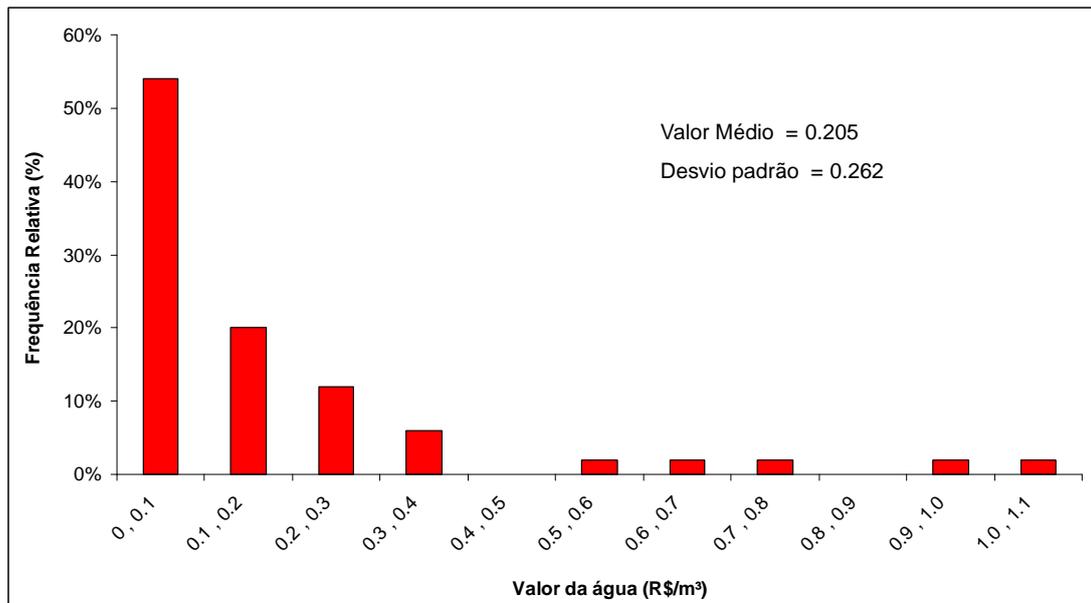


Figura 8.11 - Valor da Água para Geração de Energia Elétrica – Caso 1

Também, a partir das informações de produtividade média dispostas na Tabela 8.2, efetuou-se a referida conversão de unidades, tanto aos valores de ENA, quanto aos valores do custo de operação, esse último em termos de unidade monetária pelo fluxo de água turbinado (R\$/m<sup>3</sup>/s)<sup>32</sup>. O resultado dessa mudança está disposto na Figura 8.12.

---

<sup>32</sup> Para se obter essa última relação, basta multiplicar o valor da água pelo número de segundos contidos em um mês.

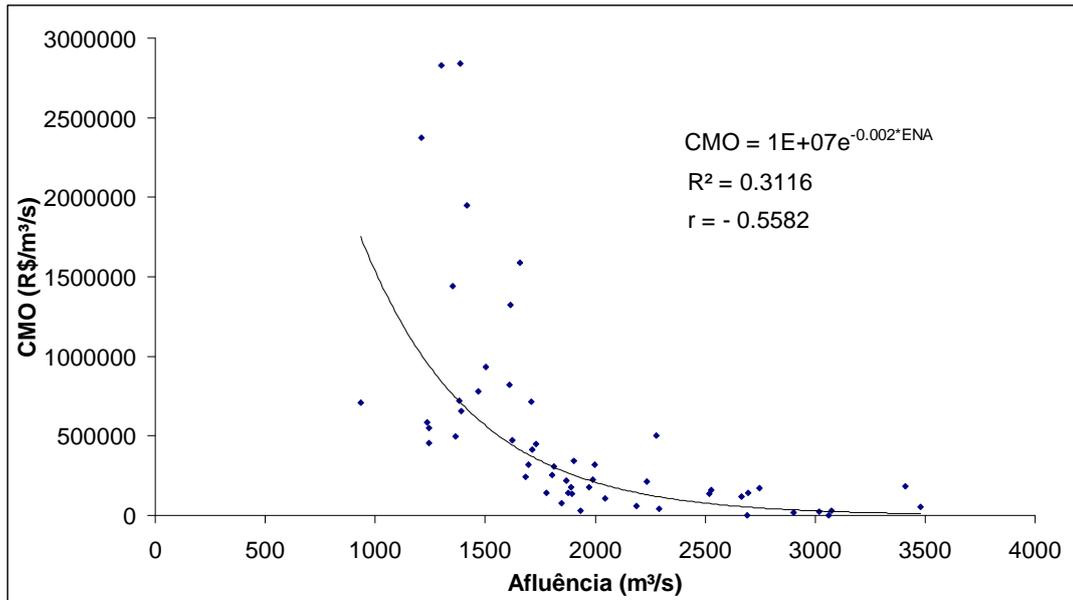


Figura 8.12 – Custo Marginal de Operação em Termos de Vazão Afluente – Caso 1

A outra vertente adotada para a análise econômica do valor da água para a geração de energia foi a de se considerar apenas a usina de Queimado, descartando-se as demais usinas de jusante. Nesse caso, ao qual se atribuiu o nome de “caso 2”, apenas a produtividade de Queimado foi considerada. O cômputo do valor da água segue o mesmo rito descrito anteriormente. Na Figura 8.13, dispõe-se o histograma resultante para essa última abordagem. No gráfico da Figura 8.14, apresenta-se a relação do custo marginal em função da afluência também para esse último caso.

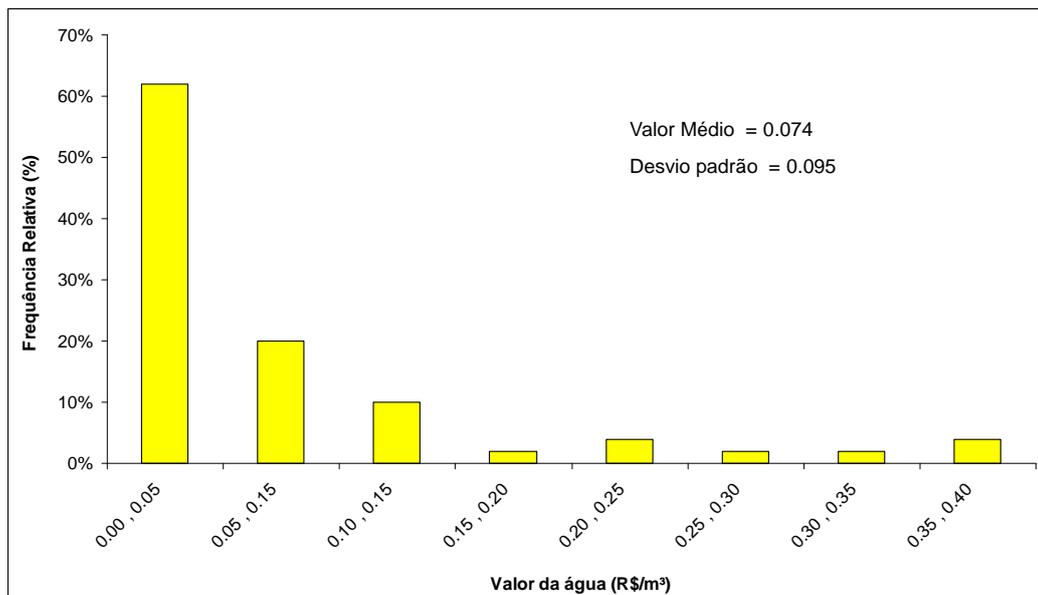


Figura 8.13 - Valor da Água para Geração de Energia Elétrica – Caso 2

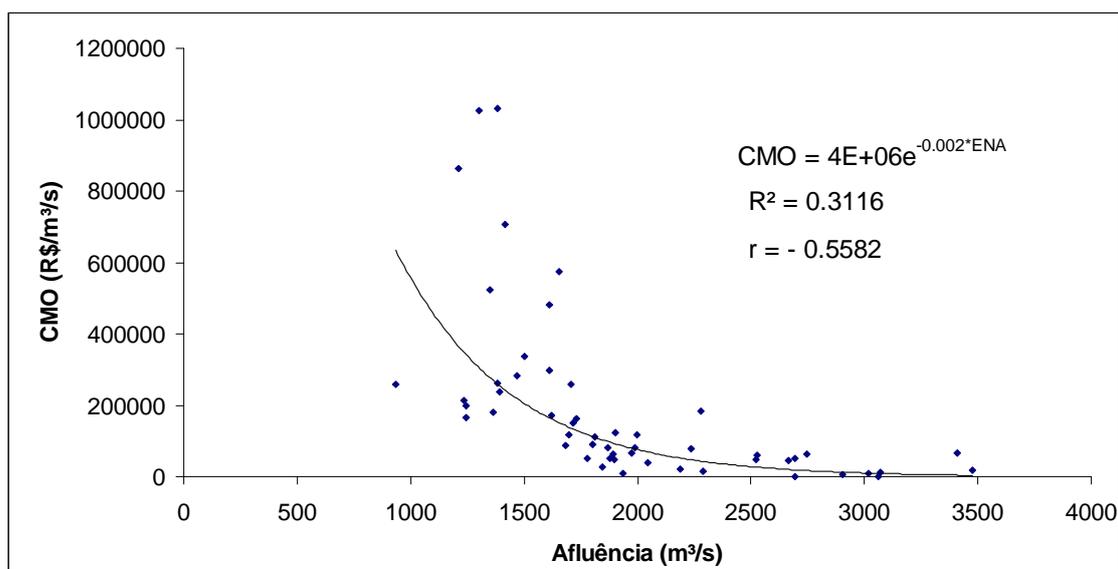


Figura 8.14 – Custo Marginal de Operação em Termos de Vazão Afluente – Caso 2

A comparação entre os dois casos mostra que houve um decréscimo importante para o valor da água quando se avalia o caso 2 em relação ao primeiro. O valor médio decaiu R\$ 0,13, o equivalente a 275% de diferença. Em relação ao extremo superior das duas amostras, este passou de R\$ 1,10 para R\$ 0,40. Esses indicadores mostram a sensibilidade da análise, não só para o valor de produtividade de cada usina hidrelétrica individualmente, mas, também, a variabilidade dos resultados em termos do enfoque do problema, quando se considera, ou não, o ganho de energia proveniente de usinas localizadas a jusante do empreendimento em questão.

Em realidade, uma central hidrelétrica que esteja inserida em um sistema hidrotérmico de produção de energia, tal como é o caso da UHE Queimado, não apresenta um custo direto associado à utilização da água, mas, tão-somente, o custo de oportunidade relativo ao uso do recurso hídrico, considerando o efeito dessa decisão no presente e no futuro. Com efeito, a curva que relaciona o custo marginal de operação em função da afluência pode ser entendida como sendo uma representação da curva de demanda pelo uso da água na produção de eletricidade.

Nesse sentido, considera-se que as duas relações dispostas nas Figuras 8.12 e 8.14 são respectivamente, representações da demanda de água para a geração de energia elétrica na bacia do rio Preto, no primeiro caso quando se considera a sinergia da produção hidrelétrica de todas as usinas em série que compõem a cascata da bacia do São Francisco,

do qual Queimado faz parte e, na segunda vertente, quando se avalia tão-somente a usina do rio Preto isoladamente.

A título de comparação dos valores ora obtidos, compararam-se os mesmos com estudo feito pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2003). Nesse referido estudo, levantaram-se rendas líquidas médias, levando-se em conta receitas operacionais e custos médios associados à produção de energia, em hidrelétricas das regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Para tanto, essa pesquisa utilizou, como premissa de análise, uma tarifa única média de energia para a valoração da produtividade específica de cada central. Porquanto, tal relatório apresenta valores médios próximos (em ordem de grandeza) aos obtidos nesta dissertação, embora inferiores. O valor da água calculado em Três Marias foi de R\$/m<sup>3</sup> 0,018, enquanto que, em Sobradinho, chegou-se a R\$/m<sup>3</sup> 0,015. O menor valor médio aferido foi para o reservatório de Xingó, o qual atingiu apenas R\$/m<sup>3</sup> 0,006.

## 9. ANÁLISE DE ALOCAÇÃO DA ÁGUA NO RIO PRETO

Como última etapa analítica da presente dissertação, propõe-se efetuar uma análise de alocação da água aplicada à bacia do rio Preto, com proposição, ao final, de procedimento analítico que resuma, de forma esquemática, todo o processo até então desenvolvido, levando-se em conta a sinalização econômica expressa nas duas curvas de demanda construídas para água, relativas aos usos irrigação e produção de energia elétrica. Para tanto, utilizar-se-á o Sistema de Suporte à Decisão Aquanet<sup>®</sup>, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Porto *et al.*, 2005). Esse sistema é baseado no modelo de rede fluxo MODSIM - descrito na Seção 4.2 –, o qual contém o algoritmo de programação linear *out-of-kilter* para a solução do problema de alocação da água em bacias hidrográficas.

Os avanços do Aquanet dizem respeito à sua estrutura modular, a qual incorpora modelos matemáticos que analisam problemas diversos na área de recursos hídricos, tais como avaliação da qualidade da água, produção de energia elétrica e valoração econômica nas decisões de alocação (Porto *et al.*, 2005). Essa última ferramenta, em especial, é a que detém maior importância para o estudo de caso do presente trabalho. Para um embasamento teórico consistente sobre análise econômica aplicada a sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos, recomenda-se consulta ao trabalho de Baltar (2001).

### 9.1 AVALIAÇÃO DAS CURVAS DE DEMANDA PARA O RIO PRETO

Antes de proceder à avaliação econômica de alocação na bacia do rio Preto, julgou-se importante apreciar as duas curvas econômicas em um mesmo gráfico, no qual elas pudessem ser confrontadas sob o mesmo patamar de vazões. Nesse sentido, à dispersão de pontos de cada uma delas, foi ajustada uma função matemática que mantivesse o caráter assintótico e decrescente esperado de uma curva clássica de demanda.

Com efeito, o modelo escolhido, em ambos os casos, foi o de uma função exponencial de formato  $y = Ce^{-kx}$ , em que se  $C$  e  $k$  são parâmetros estimados na análise de regressão. Tal escolha levou em conta o fato desse tipo de função, além de ser o formato de curva

requerido pelo módulo de economia do AquaNet, ter caráter decrescente, em todo o seu domínio de validade, e assintótico ao eixo das abscissas (não apresenta valores negativos para a variável  $y$ ).

As expressões de funções matemáticas ajustadas, empregando-se a análise de regressão às dispersões anteriormente estudadas (Capítulos 7 e 8 desta dissertação) são dispostas na sequencia:

$$Bmg = 10.000.000 \times e^{-0.1767 \times Q} \quad \text{Irrigação Ciclo - 1} \quad (9.1)$$

$$Bmg = 10.000.000 \times e^{-0.0935 \times Q} \quad \text{Irrigação Ciclo - 2} \quad (9.2)$$

$$Cmo = 10.000.000 \times e^{-0.002 \times Q} \quad \text{Energia Elétrica 1} \quad (9.3)$$

$$Cmo = 4.000.000 \times e^{-0.002 \times Q} \quad \text{Energia Elétrica 2} \quad (9.4)$$

em que,  $Bmg$  denota o benefício marginal da água para a irrigação (R\$/m<sup>3</sup>/s),  $Cmo$  corresponde ao custo de oportunidade marginal de utilização da água para a geração de energia elétrica (R\$/m<sup>3</sup>/s) e  $Q$  à vazão afluyente (m<sup>3</sup>/s).

Na Figura 9.1, a seguir, mostra-se o valor da água para a produção de energia e irrigação em formato gráfico, validado a partir da aplicação das expressões referenciadas acima.

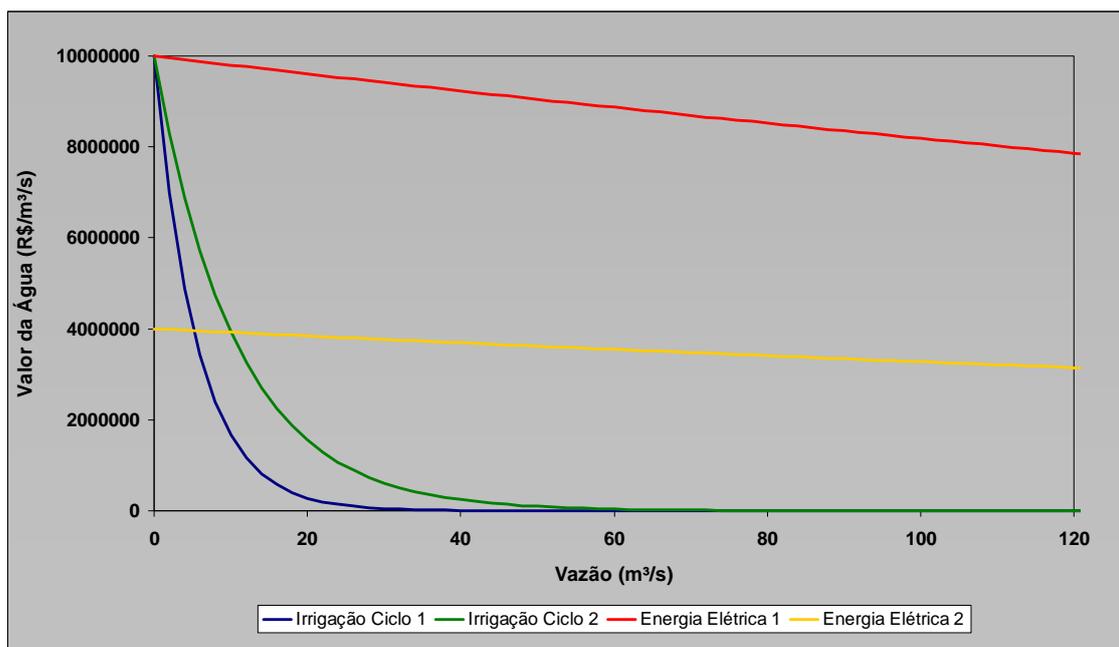


Figura 9.1 – Curvas de Demanda para Água na Bacia do Rio Preto

Um aspecto que chama à atenção sobre as curvas dispostas na Figura 9.1 diz respeito ao formato das mesmas. Enquanto as curvas originalmente confeccionadas para a irrigação tinham inclinações suaves, com pequena taxa de variação ( $\delta y/\delta x$ ) – Figura 7.12 -, nesse último caso, essas funções apresentam inclinação bastante acentuada e assintótica ao eixo das abscissas. De maneira oposta, ambos os resultados para a relação CMO e vazão - Figuras 8.12 e 8.14 - mostravam curvas assintóticas ao eixo  $x$ , com taxas de variação claramente superiores à respectiva função da Figura 9.1.

Com efeito, essa aparente inconsistência dos resultados reflete a diferença de escala que há entre as faixas de vazões originalmente analisadas - tanto para a irrigação, quanto para a energia - e a extrapolação desses ajustes para o intervalo de vazões da UHE Queimado. No caso da irrigação, os limites de vazões, para os quais se procedeu ao ajuste do modelo exponencial, eram de 0 a 10 m<sup>3</sup>/s, enquanto que, na Figura 9.1, essa mesma função está disposta numa resolução inferior, abrangendo um intervalo de valores que vai de 0 a 120 m<sup>3</sup>/s. Analogamente, o ajuste para a demanda de energia elétrica (Equações 9.3 e 9.4) se deu para uma faixa de vazões que ia de 1.000 a 3.500 m<sup>3</sup>/s. Na Figura 9.1, mostram-se extrapolações dessas equações em uma escala cerca 120 vezes maior<sup>33</sup>.

Outro ponto importante da avaliação conjunta das curvas de demanda diz respeito às premissas adotadas no modelo econômico proposto. Como já relatado anteriormente, o método utilizado para se aferir o valor da água para a irrigação – função de produção – é bastante sensível a parâmetros como produtividade, valores de mercado de insumos ou oscilações de preços das *commodities* agrícolas. Da mesma forma, a diferença de patamar observada entre as duas curvas da energia elétrica, mostra uma sensibilidade importante em relação à produtividade de cada usina. Basicamente, o que diferenciou os dois casos avaliados foi o maior rendimento do conjunto das usinas em cascata, em relação a Queimado isoladamente. Da mesma forma, esperar-se-iam diferenças significativas, por

---

<sup>33</sup> Apesar do sabido desestímulo à extrapolação da equação de regressão para além dos limites amostrais, avaliou-se que, para o presente caso de estudo, esta far-se-ia necessária tendo em vista a faixa de vazões afluentes a Queimado ser, indubitavelmente, distinta da ordem de grandeza das vazões consuntivas de irrigação sob pivô-central no rio Preto e do somatório de afluências associadas a todas as usinas que compõem o sub-sistema Nordeste.

exemplo, se se comparassem o valor da água de Queimado com a usina de Sobradinho, devido à grande diferença que há nos seus respectivos valores de produtibilidades (consultar Tabela 8.2).

Essa sensibilidade traduz-se, por exemplo, quando se contrapõem as duas curvas agrícolas no ponto em que as mesmas igualam o valor da água em relação à segunda curva da energia elétrica. A diferença entre os dois ciclos de produção foi, basicamente, a primeira cultura escolhida para se iniciar o plantio: no primeiro ciclo, planta-se soja e, no segundo, milho. Essa mudança aparentemente pequena, por sua vez, fez com que o valor da água para irrigação passasse a ser menor do que para a energia elétrica - esta avaliada segundo a curva 2 -, a partir de 5 m<sup>3</sup>/s, se considerado o ciclo 1 de produção, enquanto que, essa mesma inflexão só ocorreu a partir dos 11 m<sup>3</sup>/s para o ciclo 2.

Essa diferença de mais de 100% no ponto em que se igualam os valores da água para irrigação e produção de energia elétrica, ao se adotar uma ou outra curva econômica referente à irrigação, mudaria, por completo, os resultados de uma análise de alocação baseada no benefício econômico marginal na bacia do rio Preto. Pelo fato de a demanda máxima contabilizada para irrigação sob pivô-central, nesse rio, atingir cerca de 10 m<sup>3</sup>/s, conclui-se que, mantido constante esse cenário de consumo, a água teria preferência total para a irrigação se se adotasse apenas o calendário 2 de produção para todos os agricultores dessa bacia. Em contrapartida, haveria forte competição pelo uso do recurso hídrico se fosse considerada a curva referente ao ciclo 1 para todos os mesmos agricultores e, da mesma forma, comparassem-na com a curva 2 da geração de energia elétrica nessa bacia.

## **9.2 ANÁLISE ECONÔMICA DO RIO PRETO NO AQUANET**

Apresentadas as curvas de valores marginais da água em função da vazão afluente, para os usos irrigação e produção de energia elétrica, a última etapa deste trabalho consistiu em avaliar a alocação da água no rio Preto, com vistas à maximização do benefício econômico advindo da utilização do recurso hídrico nessa bacia hidrográfica.

Nesse sentido, o primeiro passo foi o de representar o sistema hídrico da bacia do rio Preto em uma rede de fluxo, composta por nós e arcos, em consonância com a arquitetura usual

dos modelos MODSIM e AquaNet. Essa configuração seguiu uma prévia divisão da bacia do rio Preto em dois segmentos principais, os quais tiveram, como ponto de referência, o reservatório da UHE Queimado. Os irrigantes localizados a montante do lago foram agrupados em uma demanda única, de magnitude igual ao somatório dos seus respectivos consumos individuais. De forma análoga, foi também composta uma demanda para os irrigantes localizados a jusante. Essa subdivisão do rio Preto é apresentada na Figura 9.2.

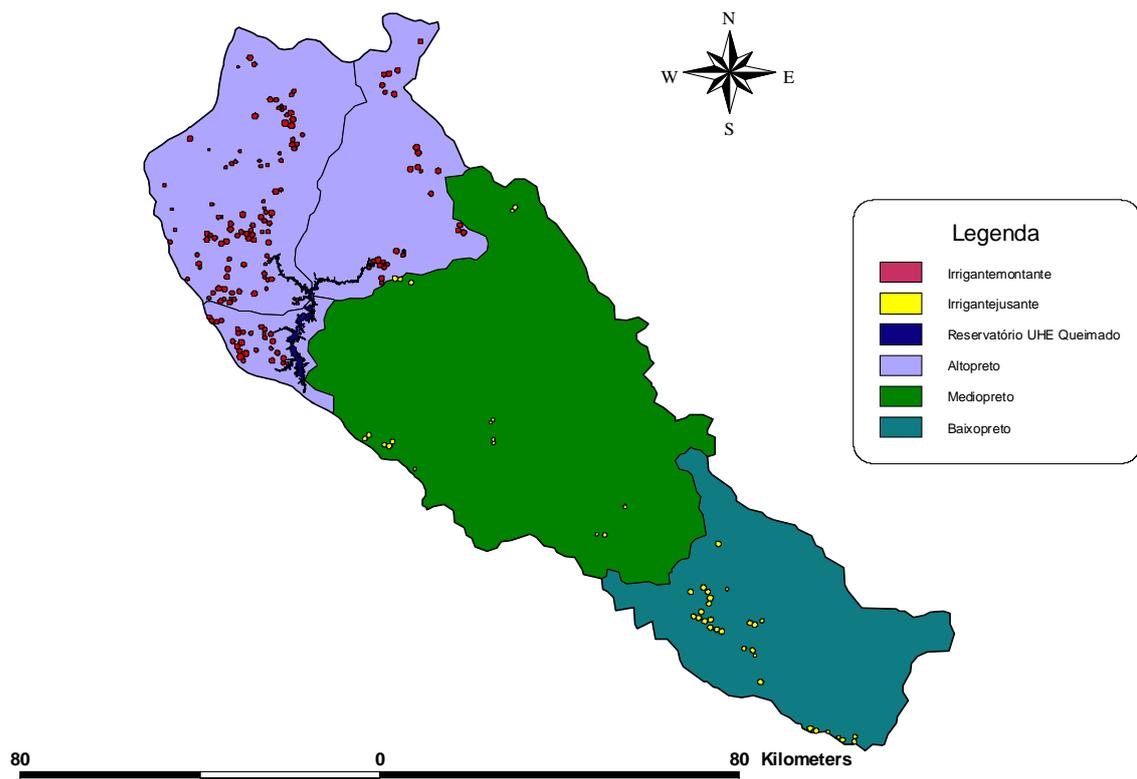


Figura 9.2 – Divisão da Disponibilidade Hídrica no Rio Preto

A configuração dessa bacia numa rede de fluxo é mostrada na Figura 9.3. Nesse desenho, os nós *Irrigante Montante* e *Irrigante Jusante* representam, respectivamente, as demandas dos irrigantes localizados a montante e jusante de Queimado; o nó *Turbinas* relaciona-se à demanda para geração de energia e o nó *Rio Paracatu* corresponde a uma demanda fictícia, que funciona como um artifício matemático que visa a evitar alocações superiores às

demandas atribuídas a cada nó do sistema, em meses em que afluência total supere a demanda total de água na bacia.<sup>34</sup>

Os nós *Canal de Fuga* e *Médio Preto* funcionam como pontos de controle e de passagem. No nó *Médio Preto*, foi inserida a série de vazões incrementais correspondente à sub-bacia Médio Preto. Considerou-se que esse acréscimo de vazões – incremental no exutório da sub-bacia Médio Preto - reflete o aumento médio da disponibilidade de água para os irrigantes localizados a jusante da usina de Queimado.

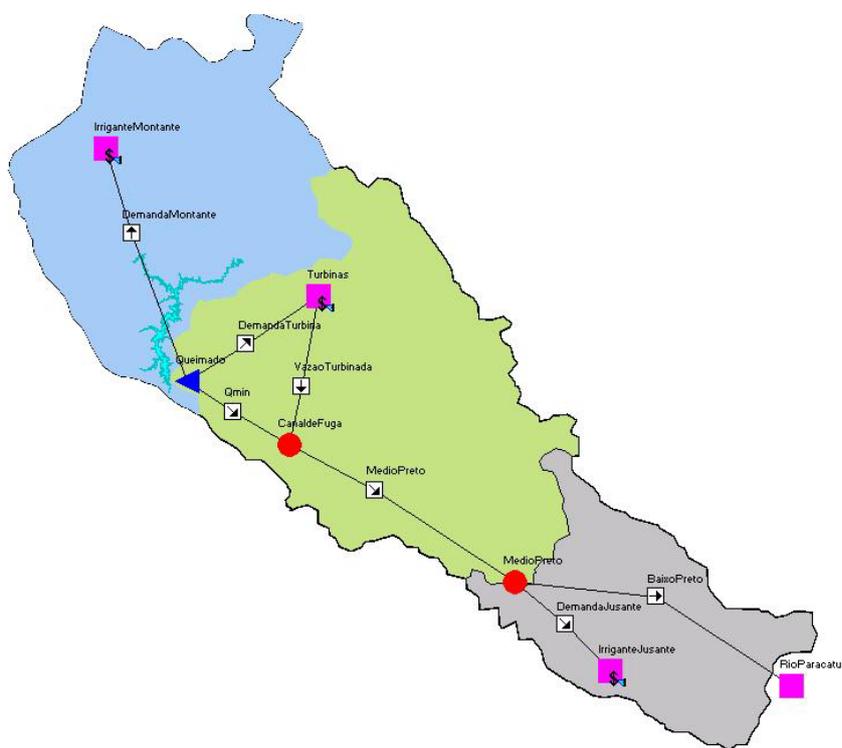


Figura 9.3 – Esquema da Rede de Fluxo da Bacia do Rio Preto no AquaNet

### 9.2.1 Entrada dos Dados no Aqanet

Para o processamento do modelo Aqanet, requerem-se informações quanto às características do sistema de recursos hídricos que se deseja representar. Quando esse sistema contém um ou mais reservatórios, necessita-se de serem inseridas informações

---

<sup>34</sup> A esse nó, é atribuído o maior valor de demanda da rede, associado ao menor benefício econômico de todo o sistema.

sobre valores de suas respectivas curvas cota-área-volume, volume meta – o qual corresponde à fração do volume útil que se procura atingir e manter durante toda a simulação da operação do reservatório -, série de vazões afluentes e taxas de evaporação média mensal.

Na Tabela 9.1 a seguir, dispõem-se os valores de entradas requeridos pelo Aquanet, em relação às características físicas do reservatório de Queimado. Essas informações foram pesquisadas junto ao Sistema de Informações sobre o Potencial Hidrelétrico Brasileiro – SIPOT -, banco de dados que contém parâmetros operacionais de várias usinas hidrelétricas no Brasil, além de relatório técnico publicado pelo ONS que contém estimativa recente para a evaporação líquida dos reservatórios das usinas hidrelétricas de interesse ao SIN. Adicionalmente, também se estabeleceu contato, via correio eletrônico (*e-mail*), com a empresa responsável pela operação da usina de Queimado – CEMIG -, de onde foi possível obter-se o histórico de vazões diárias turbinadas dessa usina, desde a sua entrada em operação - em 2004 - até meados do mês de novembro de 2008.

Tabela 9.1 – Dados Requeridos pelo Aquanet em Relação ao Reservatório de Queimado

<b>Características físicas do reservatório (ELETROBRÁS, 2008)</b>											
Cota (m)	Área (km <sup>2</sup> )			Volume (hm <sup>3</sup> )			Volume máximo (hm <sup>3</sup> )	Volume mínimo (hm <sup>3</sup> )			
810	8,81			70,30			540,00	85,70			
815	14,51			128,00							
820	21,03			216,30			Vazão remanescente (m <sup>3</sup> /s)				
825	29,31			341,60			5,00				
830	42,81			520,80							
<b>Evaporação Líquida mensal (mm) (ONS, 2004)</b>											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
21	4	21	33	59	70	77	79	80	51	17	51
<b>Vazões médias mensais turbinadas (m<sup>3</sup>/s) (CEMIG, 2008)</b>											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
38,0	38,2	49,1	51,1	50,1	40,1	47,6	49,9	39,5	30,9	28,7	39,8

No Item 7.3.3, foi estimado o consumo de água para a irrigação sob pivô-central no rio Preto. Segundo a topologia adotada para essa bacia no Aquanet (Figura 9.3), as demandas de irrigação foram divididas em duas parcelas. Os valores médios mensais, proporcionais a esses dois parcelamentos - de montante e jusante -, estão dispostos na Tabela 9.2 a seguir:

Tabela 9.2 – Consumo Mensal para a Irrigação no Rio Preto

<b>Demanda mensal para os irrigantes de montante (m<sup>3</sup>/s)</b>											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,030	2,810	0,000	1,750	5,600	4,730	2,280	0,980	3,620	7,024	0,000	1,440
<b>Demanda mensal para os irrigantes de jusante (m<sup>3</sup>/s)</b>											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,971	1,205	0,000	0,810	2,598	2,193	1,056	0,453	1,680	3,260	0,000	0,103

O módulo econômico do Aquanet requer ainda que, além da demanda mensal por água ao longo de todo período de simulação, também seja inserida a curva de benefício marginal, associada a cada demanda econômica, por meio do preenchimento de uma tabela contendo seis valores de vazão, com seus respectivos benefícios marginais associados. O cálculo do benefício marginal, para cada uma das quatro demandas envolvidas neste trabalho, foi efetuado utilizando as Equações 9.1 a 9.4. É importante frisar que o limite superior de vazão atendeu ao valor máximo computado para cada uma das demandas. Na Figura 9.4, mostra-se o resultado desse preenchimento feito para a demanda econômica dos irrigantes localizados a montante de Queimado, com a curva referente ao ciclo 2 de produção.

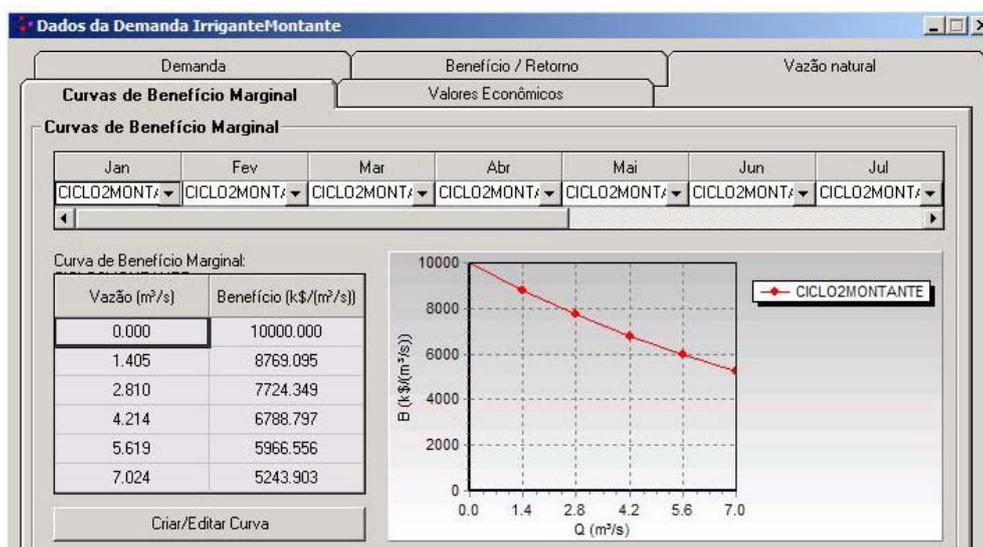


Figura 9.4 – Confeção da Curva de Benefício Marginal no Aquanet

De acordo com Porto *et al.* (2003), o módulo de análise econômica do AquaNet converte a curva de benefício marginal em cinco novos arcos fictícios, os quais são definidos pelos seis pares de pontos ilustrados na Figura 9.4. Esses novos arcos, por sua vez, possuem, da mesma forma que aqueles originalmente criados pelo usuário, uma capacidade mínima e máxima de transporte, bem como um benefício econômico associado.

A capacidade mínima em cada arco é igualada a zero para permitir a passagem de qualquer quantidade de vazão alocada pelo modelo; já a capacidade máxima é calculada por meio da diferença entre dois valores consecutivos de vazão mostrados na Figura 9.4. O valor do benefício de cada arco resulta da integral da função benefício marginal em cada um dos cinco trechos correspondentes, dividido pela capacidade máxima de transporte desses respectivos trechos (Porto *et al.*, 2003). Em caráter exemplificativo, apresenta-se, na Figura 9.5, os resultados do cálculo desses parâmetros econômicos para a mesma curva de benefício marginal referente aos irrigantes de montante do rio Preto.

Demanda Máxima (m³/s)	
Jan	7.024
Fev	7.024
Mar	7.024
Abr	7.024
Mai	7.024
Jun	7.024
Jul	7.024

Benefícios dos links econômicos (k\$/m³/s)							
Links	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	9384.547	9384.547	9384.547	9384.547	9384.547	9384.547	9384.547
2	8246.722	8246.722	8246.722	8246.722	8246.722	8246.722	8246.722
3	7256.573	7256.573	7256.573	7256.573	7256.573	7256.573	7256.573
4	6377.677	6377.677	6377.677	6377.677	6377.677	6377.677	6377.677
5	5605.229	5605.229	5605.229	5605.229	5605.229	5605.229	5605.229

Capacidades máximas dos links econômicos (m³/s)							
Links	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405
2	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405
3	1.404	1.404	1.404	1.404	1.404	1.404	1.404
4	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405
5	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.405

Figura 9.5 – Parâmetros Econômicos Calculados pelo Aquanet

Para que a vazão remanescente (trecho entre o eixo do barramento de Queimado e a restituição da vazão turbinada pelo canal de fuga da usina) fosse representada adequadamente, fixaram-se os limites mínimo e máximo do arco  $Q_{min}$  em 5,0 m³/s. Esse artifício assegura que esse fluxo d'água seja sempre transportado nesse trecho,

independentemente dos valores requeridos pelas outras demandas da rede. Como volume-meta para o reservatório de Queimado, estabeleceu-se o valor de 100% do seu volume útil. Não obstante, para que essa meta não influenciasse a alocação prioritária às demandas econômicas - irrigação e produção de energia -, atribuiu-se o benefício de 1.000 R\$/m<sup>3</sup>/s, valor este menor do que qualquer benefício contabilizado no sistema para esses dois referidos usos.

Por último, no nó *Rio Paracatu*, fixou-se o benefício econômico em 100 R\$/m<sup>3</sup>/s - o mais baixo de todo o sistema – associado a uma demanda igual ao maior registro histórico de vazão resultante de uma série de vazões calculada a partir da soma das afluições a Queimado com a incremental da sub-bacia Médio Preto.

### 9.2.2 Simulação e Resultados do Caso de Estudo

Na presente avaliação, foram considerados dois casos de simulação para o estudo de alocação econômica da bacia do rio Preto. No primeiro deles, à demanda para a irrigação de montante (nó *Irrigante Montante*), foi atribuída a curva de benefício marginal referente ao Ciclo 2 de produção; já para os irrigantes de jusante (nó *Irrigante Jusante*), atribuiu-se a curva do Ciclo 1; em relação à energia elétrica, associou-se a curva de número um – a de maior valor agregado à água. A segunda simulação levou em conta a troca das curvas de irrigação entre suas respectivas demandas, ou seja, curva do ciclo 1 passou aos irrigantes de montante e, a do ciclo 2, aos agricultores de jusante. Quanto à energia elétrica, também se alterou a curva de número um para a de número dois – a que considera a produção de energia somente em Queimado.

Esses dois cenários foram escolhidos para que se pudesse observar a influência dos parâmetros preços das *commodities* agrícolas e sinergia da produção hidrelétrica, relacionados aos dois usos da água em questão, em possíveis cenários práticos de alocação. Em ambos os casos, o foco da análise foi sobre as demandas preponderantes dessa bacia, turbinamento em Queimado e irrigação a montante desse reservatório. No primeiro deles, avaliou-se a hipótese de se ter um cenário agrícola mais favorável aos irrigantes a montante da usina, em contraste com um viés analítico de se considerar a sinergia da produção hidrelétrica em toda a cascata do São Francisco. No segundo, procurou-se estabelecer um

cenário agrícola menos favorável à irrigação para a demanda de montante, em contraste, da mesma forma, com a premissa de que somente a energia gerada em Queimado seria levada em conta para a análise de alocação da água.

Na Tabela 9.3, mostra-se um quadro-resumo contendo a hierarquização das prioridades de alocação feita pelo modelo para os dois casos considerados, aderente às condicionantes econômicas relacionadas a cada um deles.

Tabela 9.3 – Hierarquização das Prioridades Econômicas no AquaNet

<i>Caso 1</i>			<i>Caso 2</i>	
<b>Ordem</b>	<b>Elemento</b>	<b>Benefício (10<sup>3</sup>R\$/m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Benefício (10<sup>3</sup>R\$/m<sup>3</sup>/s)</b>
1	Turbinas	9898,789	IrriganteJusante	9704,285
2	Turbinas	9698,414	IrriganteJusante	9130,346
3	Turbinas	9502,096	IrriganteMontante	8900,890
4	Irrigante Jusante	9455,885	IrriganteJusante	8590,350
5	Irrigante Montante	9384,547	IrriganteJusante	8082,292
6	Turbinas	9309,751	IrriganteJusante	7604,281
7	Turbinas	9121,300	IrriganteMontante	6926,373
8	IrriganteJusante	8416,008	IrriganteMontante	5378,945
9	IrriganteMontante	8246,722	IrriganteMontante	4184,172
10	IrriganteJusante	7484,464	Turbinas	3959,516
11	IrriganteMontante	7256,573	Turbinas	3879,365
12	IrriganteJusante	6660,855	Turbinas	3800,838
13	IrriganteMontante	6377,677	Turbinas	3723,900
14	IrriganteJusante	5927,878	Turbinas	3648,520
15	IrriganteMontante	5605,229	IrriganteMontante	3254,783
16	Queimado	1,000	Queimado	1,000
17	RioParacatu	0,100	RioParacatu	0,100

A versão de simulação escolhida para ambos os casos foi a seqüencial no tempo, contendo todos os anos do registro de aflúncias em Queimado (76 anos). Para tanto, as demandas mensais foram replicadas ao longo de todos esses anos do histórico. De acordo com Porto *et al.* (2003), a simulação é dita contínua porque o modelo executa os cálculos a partir do volume inicial fornecido, até o final do primeiro ano do histórico. No segundo ano, parte-se com os volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior. Esse procedimento é repetido para todos os anos contidos na série histórica. Os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

O volume inicial arbitrado para o reservatório de Queimado foi de 540 hm<sup>3</sup>, ou seja, considerou-se que o reservatório estava completamente cheio quando do início da simulação. A taxa de desconto sobre o capital foi fixada em 12% ao ano. Por fim, adotou-se uma tolerância de 5% às metas de consumo e de volume previamente estabelecidas para o enquadramento dos resultados numéricos da simulação. Na Tabela 9.4, são dispostos os resultados obtidos para as duas modalidades de análise consideradas para a bacia do rio Preto.

### **9.2.3 Análise dos Resultados da Primeira Simulação**

A análise dos resultados relativos à primeira simulação (Tabela 9.4) mostra que, em consonância com as curvas econômicas levantadas nos itens anteriores, houve forte disputa pela água, notadamente em relação aos irrigantes localizados a montante do lago de Queimado e a produção de energia nessa usina. Esses dois usuários apresentaram déficits no atendimento de suas respectivas demandas muito próximos um do outro. Em 24% do tempo, não foi possível atender à demanda estipulada para a irrigação, enquanto que o turbinamento estabelecido para essa usina não foi contemplado em 28% do horizonte simulado. Em contrapartida, em nenhum evento, dentre os 912 meses do histórico, a demanda para os irrigantes de jusante deixou de ser atendida, tendo em vista o fato de eles, além de apresentarem o menor consumo da bacia, terem maior disponibilidade de água advinda do trecho incremental da bacia do Médio Preto.

No que tange aos aspectos econômicos, nota-se que a energia elétrica obteve o maior benefício médio percebido entre as três demandas analisadas nesse primeiro caso. Tal resultado reflete, além de um benefício marginal superior relativo a esse uso da água – advindo das características da primeira curva para a energia elétrica –, um maior volume bruto médio de água fornecido às turbinas (35 m<sup>3</sup>/s), consoante, também, com esta, que é a maior demanda do sistema. Em segundo lugar, ficaram os irrigantes de montante, os quais apresentaram maiores benefícios anuais médios do que os seus semelhantes de jusante, tendo em vista o fato de existir um maior consumo a montante do que a jusante e, além disso, aos irrigantes de montante ter sido atribuída a curva de maior benefício marginal – curva do ciclo 2.

Tabela 9.4 – Resultados Obtidos para a Simulação 1

<b>Demanda</b>	<b>Tempo máximo abaixo da demanda (meses)</b>	<b>Frequência abaixo da demanda (%)</b>	<b>Volume acumulado dos déficits (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão média fornecida (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Valor Presente Líquido (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual médio (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual máximo (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual mínimo (10<sup>3</sup> R\$)</b>
Irrigante Jusante	0	0	0	1,19	1.004.851	120.604	120.604	120.604
Irrigante Montante	7	24,45	1.930	1,88	1.581.261	190.563	267.682	23.633
Turbinas	18	28,40	16.838	34,89	34.056.400	4.019.839	4.819.251	1.938.362
<b>Reservatório</b>	<b>Tempo máximo abaixo do Volume Meta (meses)</b>	<b>Frequência abaixo do Volume Meta (%)</b>	<b>Volume acumulado vertido (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Frequência com que houve vertimento (%)</b>	<b>Tempo máximo de esvaziamento (meses)</b>			
Queimado	142	87,83	5.869	5,92	22			

Tabela 9.5 – Resultados Obtidos para a Simulação 2

<b>Demanda</b>	<b>Tempo máximo abaixo da demanda (meses)</b>	<b>Frequência abaixo da demanda (%)</b>	<b>Volume acumulado dos déficits (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vazão média fornecida (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Valor Presente Líquido (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual médio (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual máximo (10<sup>3</sup> R\$)</b>	<b>Benefício anual mínimo (10<sup>3</sup> R\$)</b>
Irrigante Jusante	0	0	0	1,19	1.087.967	130.580	130.580	130.580
Irrigante Montante	1	4,61	159	2,62	1.894.734	227.234	229.855	217.439
Turbinas	19	28,84	17.947	34,43	13.403.260	1.586.421	1.927.700	691.297
<b>Reservatório</b>	<b>Tempo máximo abaixo do Volume Meta (meses)</b>	<b>Frequência abaixo do Volume Meta (%)</b>	<b>Volume acumulado vertido (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Frequência com que houve vertimento (%)</b>	<b>Tempo máximo de esvaziamento (meses)</b>			
Queimado	142	87,83	5.869	5,92	22			

Em relação à operação de Queimado, o resumo disposto na Tabela 9.4 mostra que não foi possível, na maior parte do tempo, manter o seu reservatório completamente cheio, com sua capacidade máxima de armazenamento, sendo que, em 88% do tempo, ele esteve abaixo da meta previamente estipulada. Todavia, ainda assim, em quase 6% do tempo, foi necessário verter parte da vazão afluyente ao seu reservatório, contabilizando um volume total de vertimento igual a, aproximadamente, 6 hm<sup>3</sup>.

Na Figura 9.7, mostram-se duas curvas de permanência, nas quais se avalia o déficit ao atendimento da demanda da produção de energia elétrica, relativos ao primeiro caso de estudo; na Figura 9.8, comparam-se os déficits na demanda percebidos pelos irrigantes de montante.

Nota-se, da análise das Figuras 9.7 e 9.8, que, em todos os patamares de consumo requeridos por ambas as demandas, em alguns instantes do tempo, não havia disponibilidade de água necessária ao pleno atendimento das mesmas. Todavia, a contraposição dos dois gráficos mostra que o algoritmo do Aquanet buscou, prioritariamente, atender às turbinas, pois a diferença entre o fornecido e o requerido acentua-se mais, em termos relativos, somente a partir da permanência de 65% no tempo, enquanto que, em relação aos irrigantes, verifica-se um déficit importante já a partir dos 15% de permanência.



Figura 9.7 – Déficit na Demanda de Vazões Turbinadas

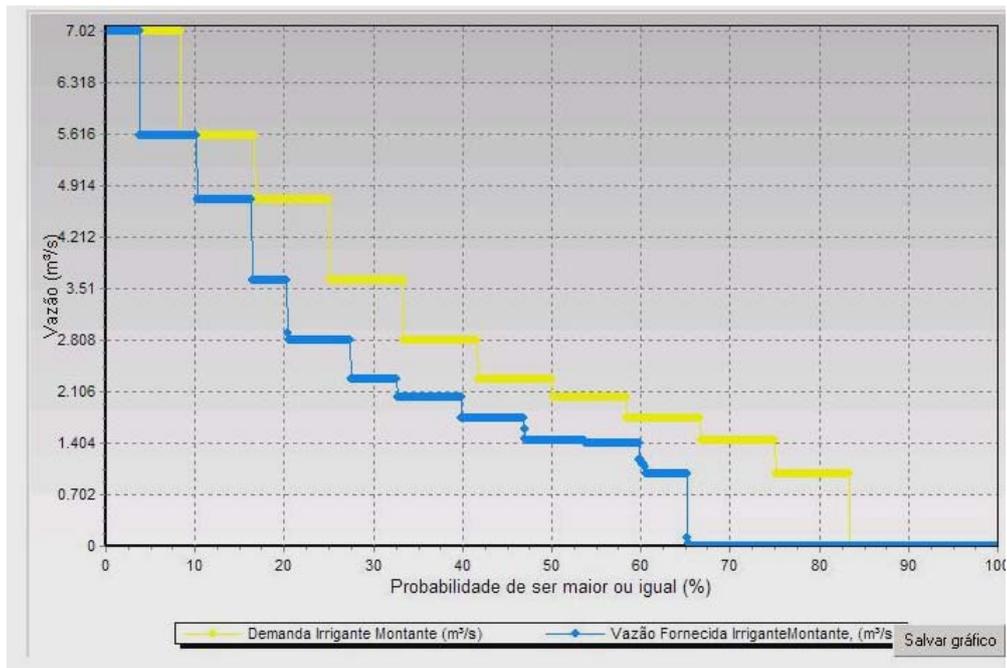


Figura 9.8 – Déficit no Atendimento ao Irrigante de Montante

Esses déficits percebidos pelos irrigantes de montante refletem-se diretamente em seus benefícios econômicos. Tal como disposto na Figura 9.9, embora esses agricultores detenham maiores valores médios do que seus vizinhos de jusante, há, em cerca de 35% do tempo, inversão desses resultados, em razão de os irrigantes a jusante não terem quaisquer problemas em relação ao seu suprimento de água.

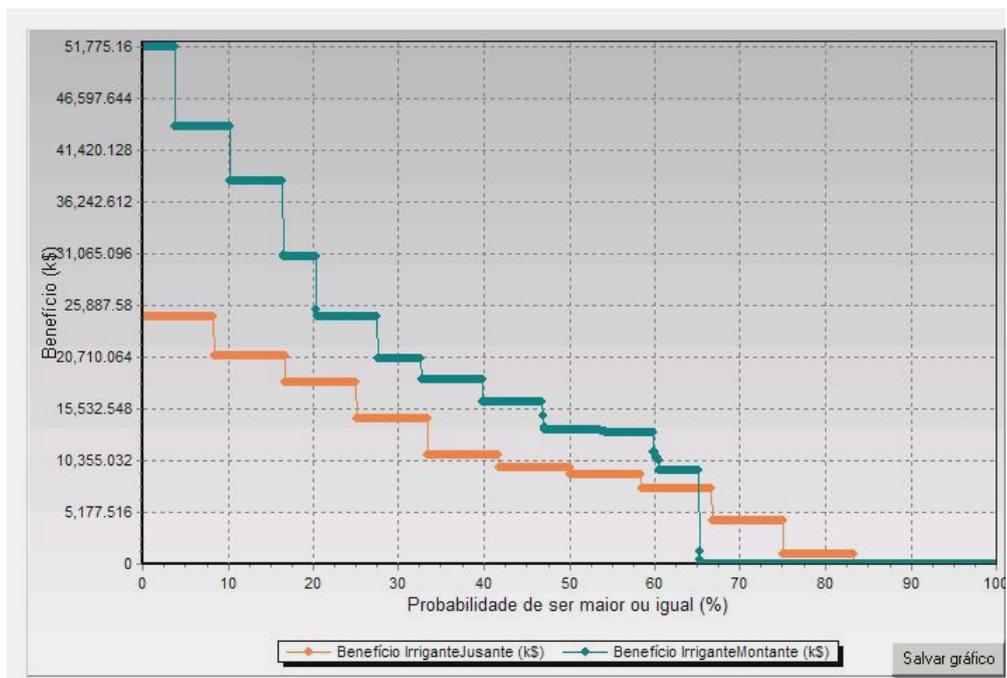


Figura 9.9 – Benefícios Econômicos dos Irrigantes

## 9.2.4 Análise dos Resultados da Segunda Simulação

A segunda simulação teve o intuito de aferir a sensibilidade do modelo a uma mudança no comportamento econômico das demandas estabelecidas nessa mesma configuração do rio Preto. O resumo dos resultados para essa segunda modalidade encontra-se disposto na Tabela 9.5.

A atribuição da segunda curva de energia elétrica à Queimado fez com que o turbinamento nessa usina fosse preterido, nessa segunda vertente da análise, em quase todos os patamares de consumo, à irrigação na bacia do rio Preto (consultar Tabela 9.3). Com efeito, houve apenas um episódio em que o abastecimento aos irrigantes de montante não foi totalmente satisfeito. Todavia, o aumento na frequência de déficits em Queimado não foi muito significativo, passando de 28% para 29%. A explicação para o déficit em Queimado ter se mantido praticamente o mesmo nos dois casos reside no fato de que, na primeira simulação, embora houvesse mais água disponível para o turbinamento, esta também não era ainda suficiente ao pleno atendimento do consumo requerido pela usina. Dessa forma, verifica-se que a mesma proporção de não atendimento manteve-se para este segundo caso. Na Figura 9.10, mostra-se a curva de permanência para o déficit no turbinamento desta segunda simulação.



Figura 9.10 – Déficit na Demanda de Vazões Turbinadas

Em relação às receitas dos irrigantes, aqueles que já detinham os maiores benefícios médios anuais – irrigantes de montante –, tiveram um aumento ainda mais significativo dos seus benefícios presentes, mesmo com a curva do ciclo 1 valorando os seus respectivos consumos hídricos mensais. Embora essa primeira curva detenha benefícios marginais inferiores à do ciclo 2, o fato de não haver racionamento em seus volumes requeridos – os quais são maiores do que os dos irrigantes de jusante –, fez com que a receita líquida dos primeiros crescesse proporcionalmente mais do que as mesmas calculadas para os últimos.

Os resultados, em termos de curva de permanência, do benefício econômico obtido para cada um dos irrigantes, nesta segunda simulação, são apresentados na Figura 9.11. Nota-se que a diferença de patamar entre as duas curvas foi ainda maior nesta segunda rodada, quando se compara com o disposto na Figura 9.9. Ademais, dessa vez, o benefício dos agricultores de montante manteve-se superior ao de jusante em todo período simulado.

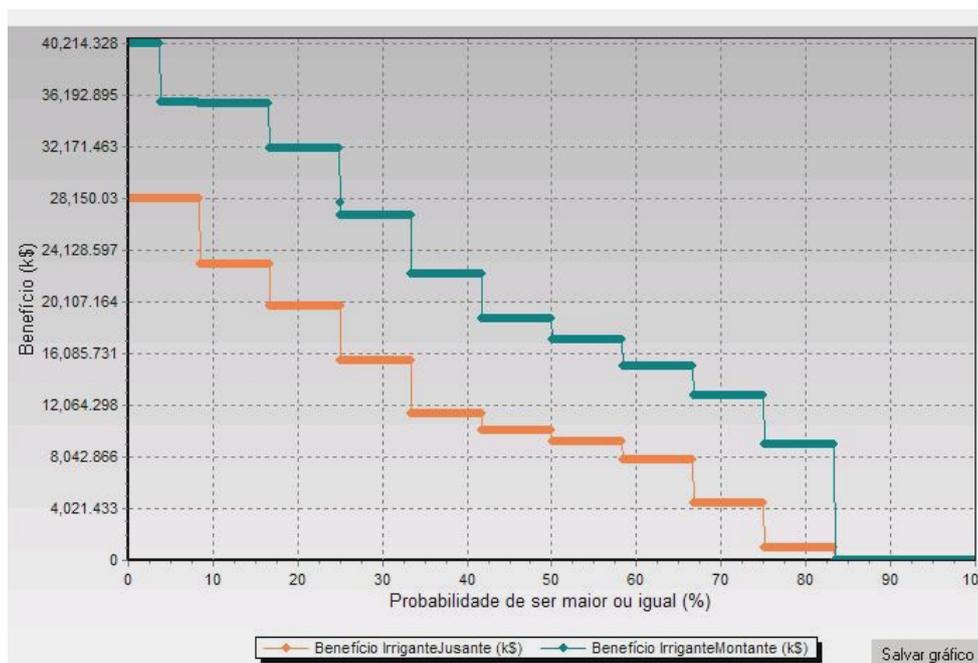


Figura 9.11 - Permanências dos Benefícios Econômicos Auferidos pelos Irrigantes

Em relação aos resultados econômicos para Queimado, esses, em termos de valores absolutos, mantiveram-se superiores ao uso da irrigação. Entretanto, confrontando-se os resultados dispostos nas Tabelas 9.3 e 9.4, infere-se que houve uma queda significativa da renda auferida por essa última modalidade de uso da água. Em termos numéricos, o valor presente líquido dos benefícios advindos do turbinamento caiu 61%. Em relação ao benefício máximo anual, a queda foi ainda maior, totalizando 253%. Não obstante, o

benefício do turbinamento é bastante superior, em termos absolutos, ao da irrigação, devido à magnitude das vazões médias turbinadas. Por fim, com intuito de comparar os benefícios absolutos percebidos pela irrigação e geração de energia elétrica na bacia do rio Preto, dispõe-se, na Figura 9.12, o resultado desses indicadores alcançado nessa segunda simulação.

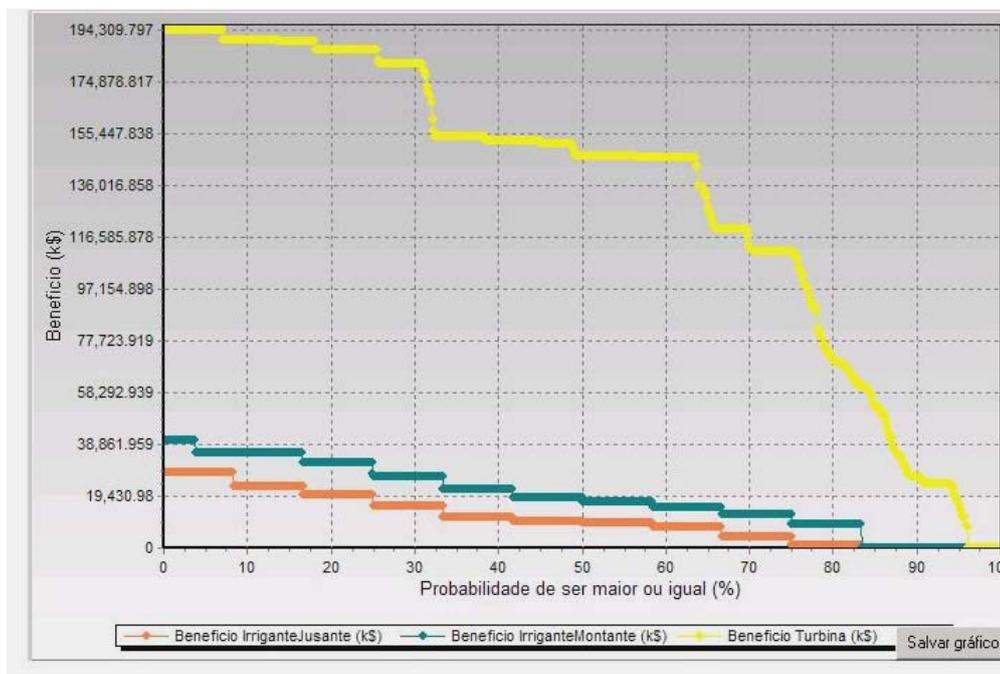


Figura 9.12 - Permanências dos Benefícios Econômicos no Rio Preto

### 9.3 PROCEDIMENTO PARA ALOCAÇÃO DE ÁGUA NO RIO PRETO

Como resultado da análise feita para o caso de estudo da bacia do rio Preto, procurou-se compilar, em um fluxograma esquemático, as principais etapas desenvolvidas no processo analítico ora desenvolvido para alocação de água nessa bacia. Esse fluxograma está disposto na Figura 9.13 e pode servir de apoio a estudos semelhantes, para os quais se tenha em vista a alocação de recursos hídricos calcada em bases econômicas e em critérios racionais.

Frisa-se que cada uma das etapas dispostas nesse fluxograma devem ser melhoradas por meio de estudos específicos e mais especializados, conforme as especificidades de cada disciplina envolvida. O procedimento ora proposto consiste em um fluxograma de caráter mais geral (porém abrangente) em que se ateuve mais à sua consistência e factibilidade, do

que à acurácia dos métodos utilizados. A replicação desse processo para outras regiões é também altamente desejável, e, invariavelmente, implicará em aprimoramento do mesmo em práticas futuras.

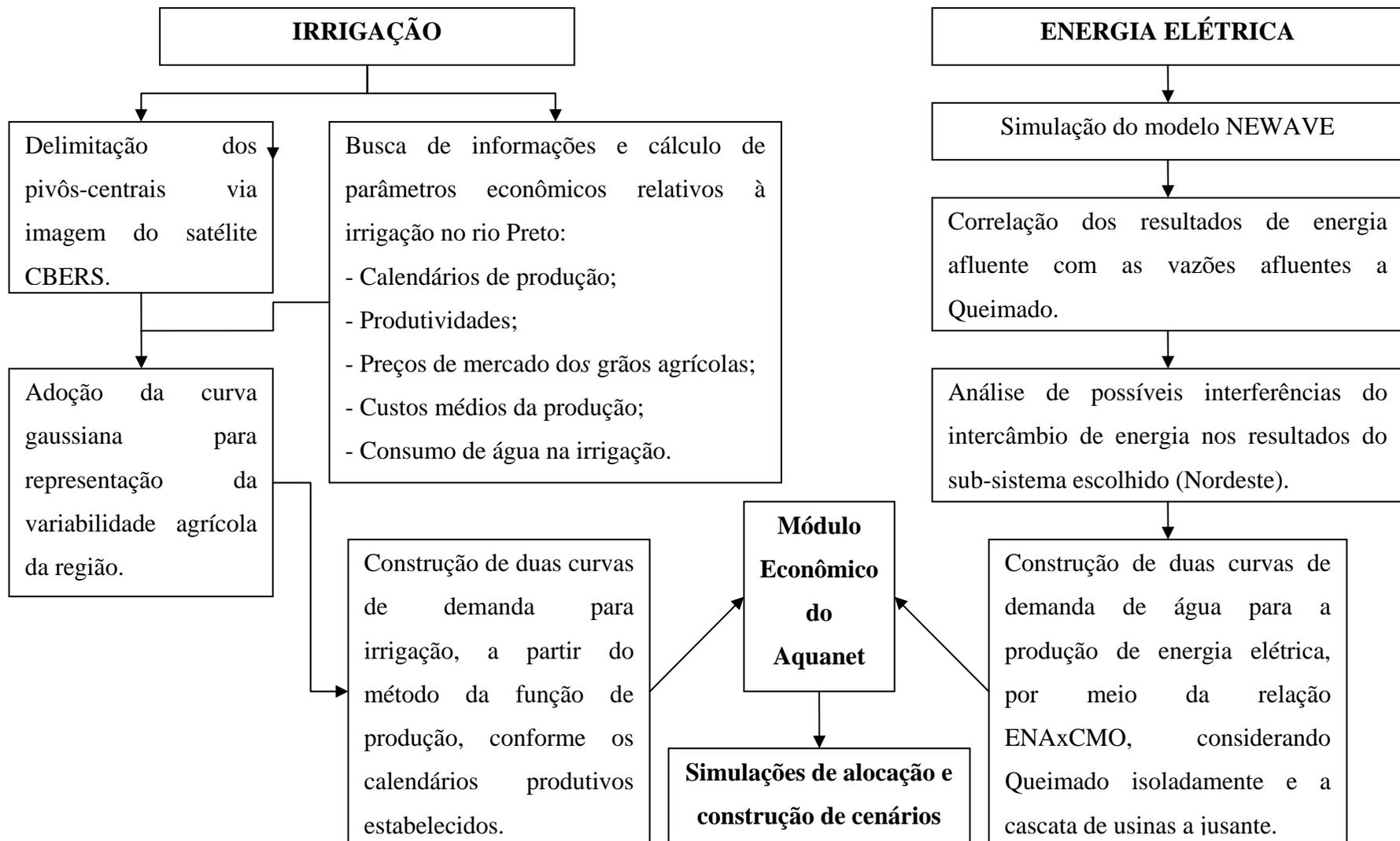


Figura 9.13 – Procedimento para Alocação Econômica da Água no rio Preto

## 10. CONCLUSÕES

A valoração econômica da água, além de ser um mecanismo previsto na legislação brasileira, é um instrumento indispensável à eficácia dos modelos de gestão de recursos hídricos, não só no Brasil, mas como no resto do mundo. Todavia, em face da importância e complexidade envolvida em torno desse recurso natural, desde aspectos relacionados à sua ocorrência estocástica, passando pela diversidade de fatores intervenientes em suas características física, química e biológica, fazem com que a problemática envolvida em torno do seu gerenciamento seja ainda mais desafiadora. Somam-se a esses aspectos, fatores de cunho político e institucional, além da multiplicidade de objetivos em torno de seus múltiplos usos.

Com efeito, um primeiro aspecto importante quando da realização de uma análise econômica aplicada à questão da água diz respeito a uma criteriosa avaliação da realidade econômica em que esta está inserida. Tal avaliação deve perseguir uma completa delimitação das variáveis econômicas envolvidas em cada modalidade de uso da água. A depender dessa realidade, diferentes serão os métodos analíticos adequados à sua valoração – função de produção, valoração contingente, preços hedônicos, entre outros. Destaca-se que, não obstante essa avaliação, a estimativa do valor econômico da água necessariamente recai em nas dimensões ambiental e social associadas à dinâmica dos processos produtivos. Essas duas vertentes, por sua vez, requerem a internalização das externalidades, as quais, por si só, constituem em grandes desafios sob os pontos de vista metodológico e conceitual.

Em relação ao procedimento preconizado nesta dissertação, não foram consideradas quaisquer externalidades para os usos irrigação e produção de energia elétrica. Seria importante que trabalhos futuros incorporassem, em seus objetivos principais, uma análise mais robusta para a aferição do valor do recurso hídrico presente nessas ou em demais atividades econômicas, a qual levantasse os impactos causados no meio ambiente e na sociedade pelas atividades produtivas em que a água seja um dos fatores principais envolvidos.

No que tange especificamente aos procedimentos relacionados à confecção da curva de demanda para o uso irrigação, ressalta-se que outros aspectos metodológicos podem ser aprimorados em futuras análises dessa natureza. O primeiro deles seria o aprofundamento do estudo em relação à realidade agrícola da região analisada, com maior detalhamento dos perfis dos agricultores, da variedade dos produtos cultivados e das técnicas de plantio. Um segundo aspecto residiria em um maior esforço para a obtenção de informações primárias sobre as variáveis econômicas intervenientes ao processo produtivo, notadamente as receitas, investimentos e depreciações.

Conforme a descrição contida no capítulo sete, optou-se pela manipulação de valores médios de mercado oriundos de regiões agrícolas do Distrito Federal, sendo que, para alguns parâmetros, foi necessário buscar informações de outras unidades da federação - como no caso dos preços médio de venda dos grãos cultivados no rio Preto -, em que se utilizaram dados dos Estados de Goiás, Bahia e Paraná, ou de municípios vizinhos - como no caso do cálculo do desvio-padrão da produtividade média das culturas praticadas nessa bacia.

Ainda em relação a aspectos da modelagem econômica da produção agrícola, outra vertente de aprimoramento metodológico seria a de se considerar outras distribuições estatísticas para a caracterização da variabilidade produtiva dos grãos praticados na região de estudo. Há pesquisas e aperfeiçoamentos sendo feitos nessa área, impulsionados, principalmente, pelo mercado de resseguros agrícolas. Considera-se que o método proposto neste trabalho é bastante sensível aos valores de produtividade média avaliados no cômputo da renda do irrigante e, dessa maneira, requerem investigações mais aprofundadas nesse sentido.

Ademais, outro viés analítico que se propõe para pesquisas futuras seria o de se aplicar distribuições de frequência à série histórica de preços de grãos agrícolas e incorporar essa variável como sendo o principal - ou mais um fator - de grande relevância sobre a renda percebida pelo irrigante em uma determinada região de produção agrícola com forte presença da irrigação.

Em conjunto com um maior aprofundamento da análise relativa às variáveis econômicas, há também um campo vasto de aprimoramento no que concerne ao uso de técnicas de

sensoriamento remoto para a identificação e quantificação de terras agricultáveis. A estratégia de quantificar somente pivôs-centrais, neste trabalho, baseou-se, em larga medida, não só no fato de esta ser a principal técnica de irrigação praticada nessa bacia, mas, também, na maior facilidade com que esses pivôs podem ser delimitadas via o uso de imagens orbitais. Outras terras irrigadas requeririam o uso de técnicas mais sofisticadas de processamento, tanto para a contabilização de suas áreas, quanto para a diferenciação da cobertura vegetal existente.

Sobre a segunda demanda econômica estudada – produção de energia elétrica - as conclusões em relação ao valor da água estão intrinsecamente ligadas às potencialidades e limitações do modelo matemático utilizado no planejamento da operação energética do sistema elétrico brasileiro, o NEWAVE. Uma vantagem da metodologia contida nesse modelo está no fato de o mesmo aferir o custo de utilização da água para a hidroeletricidade a partir do custo de oportunidade da geração termelétrica, a qual detém um mercado de preços estruturado na economia real. Ademais, o algoritmo do NEWAVE detém uma estratégia robusta quanto à consideração da ocorrência estocástica da água, avaliando, de maneira abrangente, o risco envolvido no planejamento da operação hidroenergética, a partir de cenários de afluências futuras (até o horizonte de cinco anos à frente), geradas por meio de séries sintéticas de vazões compatíveis com o histórico de observações disponível.

Todavia, apesar de toda a sofisticação metodológica do NEWAVE, considera-se que o uso dessa ferramenta no processo de alocação proposto neste trabalho implica em algumas limitações importantes, pelo fato de não ser possível avaliar a operação de usinas de forma isolada. A agregação das mesmas em um único reservatório equivalente de energia faz com que os resultados sejam de caráter mais macro-regional, havendo pouca margem para análises de sensibilidade em torno de usinas individualmente, notadamente as com menor potência instalada, como é o caso da UHE Queimado.

Outra questão que dificultou a presente análise relaciona-se ao intercâmbio de energia que há entre os quatro sub-sistemas do SIN. Esse intercâmbio, embora cumpra a relevante função de compensar energeticamente regiões que estejam com maiores deficiências em seu suprimento de energia, por outro lado, pode alterar significativamente a sinalização econômica perseguida pelo tipo de procedimento empregado nesta dissertação. Tal constatação vem

do fato da baixa correlação que se detectou entre o custo marginal de operação e a vazão afluente nos resultados da simulação relacionados ao sub-sistema Norte, por exemplo, pelo fato de esta ser uma região genuinamente exportadora de energia.

Em contrapartida, o emprego de modelos computacionais que contemplem a avaliação da operação individual de cada usina hidrelétrica seria bastante desejável em trabalhos futuros. Outra vertente analítica importante seria a de, eventualmente, desconsiderar-se o intercâmbio entre sub-sistemas, visando a ter sinalizações econômicas mais adequadas entre o custo de utilização da água em função do estoque hídrico disponível, em consonância com a realidade hidrológica de cada macro região hidrográfica.

Por fim, a análise de alocação feita no Aquanet mostrou que os resultados da simulação econômica obtida para as duas modalidades de uso da água em questão devem ser avaliados com cautela, por conta da grande sensibilidade desse procedimento frente aos seus parâmetros e critérios de partida. Conclui-se, portanto, que o procedimento analítico ora construído é dinâmico no tempo e, dessa maneira, deve ser continuamente atualizado, não só em relação à sua metodologia propriamente dita – pesquisa de novas distribuições estatísticas para a produtividade agrícola, levantamento de curvas econômicas que considerem a operação de usinas de forma individualizada -, mas, também, quanto à oscilação de preços de mercado das *commodities* envolvidas nesses dois usos, notadamente, grãos agrícolas, petróleo e carvão.

Não obstante, esse processo decisório sofre influência direta das decisões políticas nas áreas agrícola e energética, as quais são fortemente influenciadas pelos respectivos planejamentos setoriais governamentais. O plantio de culturas de maior valor agregado, como frutas ou legumes, elevam sobremaneira a renda líquida específica por metro cúbico de água captado do manancial hídrico e, por conseguinte, o valor da água para irrigação. Por outro lado, a opção de construção de mais centrais termelétricas, em detrimento de usinas hidráulicas, aumenta o custo de oportunidade da utilização da água estocada nos reservatórios hidrelétricos e, como consequência, o valor da água para a produção de eletricidade.

Em tempos de publicações, no noticiário nacional e internacional, relacionadas à crise no abastecimento de alimentos e ao aumento da participação de termelétricas na matriz energética do Brasil, análises dessa natureza tendem a ser cada vez mais úteis ao conjunto de ações que visem a promover a racionalização no uso da água, assim como sua preservação, para esta e futuras gerações. Nesse contexto, destaca-se a importância do desenvolvimento de instrumentos analíticos calcados em alguma racionalidade para servirem como ferramentas de auxílio aos processos de gestão de recursos hídricos sob a tutela de colegiados e órgãos legalmente constituídos para tais finalidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2008). *Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb*. Agência Nacional de Águas. Disponível em <[www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)>. Acesso em julho de 2008.
- Azevedo, J.A.A., Silva, D.B., Andrade, J.M.V., Andrade, L.M. (2001). “Tensiometria Aplicada no Manejo da Irrigação por Pivô-Central na Cultura do Trigo”. *Comunicado Técnico*. N. 39. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- Azevedo, L.G.T.; Porto, R.L.L. e Zahed Filho, K. (2002). “Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo”. In: Porto, R.L.L. (Organizador). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 165-237.
- Baltar, A.M. (2001). *Sistema de Apoio à Decisão para Avaliação Econômica da Alocação de Recursos Hídricos: Aplicação à Barragem do Rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.
- Barros, M.T.L. (2002). “A Programação Dinâmica Aplicada à Engenharia de Recursos Hídricos”. In: Porto, R.L.L. (Organizador). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 15-41.
- Bernardo, S. (1995). *Manual de Irrigação*. Editora da Universidade Federal de Viçosa, 6ª Edição, Viçosa, Minas Gerais, 657 p.
- Bravo, J.M., Collischonn, W. e Pilar, J.V. (2005). “Otimização da Operação de Reservatórios: Estado-da-Arte”. In: *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, Brasil.
- CEMIG (2008). *Histórico de Vazões turbinadas na UHE Queimado*. Contato estabelecido com técnicos dessa instituição via correio eletrônico.
- CONAB (2008). *Central de informações agropecuárias da Companhia Nacional de Abastecimento*. Disponível em <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em julho de 2008.
- Cordeiro Netto, O.M., Baltar, A.M. e Pimentel, C.E.B. (2000). “Critérios de Outorga de Uso para Água de Irrigação: o Caso da Bacia do Rio Preto no Distrito Federal”. *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, Brasília, Brasil.

- Draper, A.J., Jenkins, M.W., Kirby, K.W., Lund, J.R. e Howitt, R.E. (2003). “Economic-Engineering Optimization for California Water Management”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (3), 155-164.
- ELETROBRÁS (2008). *Sistema de Informações sobre o Potencial Hidrelétrico Brasileiro – SIPOT*. ELETROBRÁS. Acesso em setembro de 2008.
- EMATER (2008). *Custos de Produção de Grãos no Distrito Federal*. Disponível em <www.emater.df.gov.br >. Acesso em junho de 2008.
- FGV (2003). “Estudos Econômicos Específicos de Apoio à Implantação da Cobrança para os Setores Agropecuário, Industrial e Hidrelétrico”. *Relatório Técnico - Produto 4 – Versão Final*. Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável. Fundação Getúlio Vargas. 50p.
- Graham, L.P., Labadie, J.W., Hutchison, I.P.G. e Ferguson, K.A. (1986). “Allocation of Augmented Water Supply Under a Priority Water Rights System”. *Water Resources Research*, 22(7), 1083-1094.
- Griffin, R.C. (1998) “The Fundamental Principles of Cost-Benefit Analysis”. *Water Resources Research*, 34 (8), 2063-2071.
- Guerra, A.F. e Jacomazzi, M.A. (2001a). “Método do Tanque Classe A para Irrigação Suplementar da Cultura de Trigo no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 58. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- Guerra, A.F. e Jacomazzi, M.A. (2001b). “Método do Tanque Classe A para Irrigação Suplementar da Cultura de Milho no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 59. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- Guerra, A.F., Rodrigues, G.C., Nazareno, R.B. (2002). “Uso do Tanque Classe A para Irrigação do Feijão Pérola no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n.84. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 4p.
- Guerra, A.F., Rocha, O.C., Rodrigues, G.C., Souza, P.I.M. (2005). “Método do Tanque Classe A para Irrigação da Soja, Cultivar Sambaíba, no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 120. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 3p.
- Heinz, I., Pulido-Velazquez, M., Lund, J.R. e Andreu, J. (2007). “Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive”. *Water Resources Management*, 21, 1103-1125.
- IBGE (2007). *Sítio Institucional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em julho de 2008.

- Just, R.E. e Weninger, Q. (1999). “Are Crop Yields Normally Distributed?” *American Journal of Agricultural Economics*, 81 (2), 287-304.
- Kelman, J. e Kelman, R. (2001). “Alocação de Água para a Produção Econômica em Região Semi-Árida”. In: Magrini, A. e dos Santos, M. A. (Editores). *Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas*. Editora da COPPE/UFRJ e Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, Rio de Janeiro, Brasil.
- Kelman, J. e Ramos, M. (2005). “Custo, Valor e Preço da Água Utilizada na Agricultura”. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 2 (2), 39-48, Santiago, Chile.
- Ker, A.P. e Coble, K. (2003). “Modeling Conditional Yield Densities”. *American Journal of Agricultural Economics*, 85 (2), 291-304.
- Lanna, A.E.L. (2002). “Introdução”. In: Porto, R.L.L. (Organizador). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 15-41.
- Labadie, J.W. (2004). “Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(2), 93-111.
- Labadie, J. W e Larson, R. (2007). *MODSIM 8.1: River Basin Management Decision Support System. User Manual and Documentation*. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Fort Collins, E.U.A.
- Marques, G.F., Lund, J.R., Leu, M.R., Jenkins, M., Howitt, R., Harter, T., Hatchett, S., Ruud, N. e Burke, S. (2006). “Economically Driven Simulation of Regional Water Systems: Friant-Kern, California”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132 (6), 468-479.
- Moreira, A.R.B., Seroa da Motta, R. e Rocha, K. (2003). “A Expansão do Setor Elétrico Brasileiro de Energia Elétrica: Falta de Mercado ou de Planejamento.” *Notas Técnicas*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de Janeiro, Brasil. 17p.
- Mueller, C. C. (2007). *Os Economistas e as Relações entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente*. Editora Universidade de Brasília/Finatec, Brasília, Brasil. 562 p.
- ONS (2004). *Evaporações Líquidas nas Usinas Hidrelétricas*. Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rio de Janeiro, Brasil. 61p. Disponível em <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>.
- ONS (2008a). *Sítio Institucional do Operador Nacional do Sistema Elétrico*. Disponível em <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>. Acesso em abril de 2008.

- ONS (2008b). *Relatório Mensal de Previsão de Vazões e Geração de Cenários de Afluências*. Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rio de Janeiro, Brasil. 58p. Disponível em <www.ons.org.br>. Acesso em novembro de 2008.
- Pereira, M.V.F. e Pinto, L.M.V.G. (1985). “Stochastic Optimization of a Multireservoir Hydroelectric System: A Decomposition Approach”. *Water Resources Research*, 21 (6), 779-792.
- Pereira, M.V.F. (1989). “Optimal Stochastic Operations Scheduling of Large Hydroelectric Systems”. *Electrical Power and Energy Systems*, 11 (3),161-169.
- Pereira, M.V.F., Campodónico, N. e Kelman, R. (1998). “Long-term Hydro Scheduling Based on Stochastic Models”. *Conference on Electrical Power Systems Operation and Management (EPSOM'98)*, Zurich, Switzerland. 22p.
- Pindyck, R. S. e Rubinfeld, D. L. (2002). *Microeconomia*. Prentice-Hall, 5ª edição, São Paulo.
- Porto, M. e Lobato, F. (2004). “Mechanisms of Water Management: Economics Instruments and Voluntary Adherence Mechanisms”. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 1 (2), 131-146, Santiago, Chile.
- Porto, R.L.L., Mello Junior, A.V., Roberto, A.N. e Palos, J.C. (2005). “Aquanet: Arquitetura, Estrutura e Ferramentas”. In: *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, Brasil.
- Porto, R.L.L., Roberto, A.N., Schardong, A., Mello Júnior, A.V., Teixeira, C.A., Oliveira, C.P.M., Castro, H.L., Lisboa Neto, H., Palos, J.C.F., Zahed Filho, K., Porto, M., Carvalho, M.A. e Marcellini, S.S. (2003). “Sistema de suporte à decisão para análise de sistemas de recursos hídricos”. In: Vieira da Silva, R.C. (Editor). *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 6*. Editora da ABRH, Porto Alegre, Brasil, 93-240.
- SEINFRA (2006). *Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal*. Secretaria de Infra-Estrutura e Obras do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- Sano, E.E., Lima, J.E.F.W., Silva, E.M. e Oliveira, E.C. (2005). “Estimativa da Variação na Demanda de Água para Irrigação por Pivô-Central no Distrito Federal entre 1992 e 2002.” *Engenharia Agrícola*, 25 (2), 508-515, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- SEAPA (1996). *Inventário de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu*. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.

- Seroa da Motta, R. (1998). *Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais*. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Brasília, Brasil.
- Tilmant, A. e Kelman, R. (2007). “A Stochastic Approach to Analyze Trade-Offs and Risks Associated with Large-Scale Water Resources Systems.” *Water Resources Research*, 43, W06425, 11p.
- Wurbs, R.A. (1996). “Reservoir-System Simulation and Optimization Models.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(4), 455-472.
- Yeh, W. (1985). “Reservoir Management and Operation Models: A State-of-the-Art Review.” *Water Resources Research*, 21 (12), 1797-1818.
- Young, R.A. (1996). *Measuring Economics Benefits for Water Investments and Policies*. World Bank Technical Paper No. 338. The World Bank, Washington D.C., U.S.A.

## APÊNDICES

Apêndice A – Custos de Produção do Milho de Sequeiro (Modificado de EMATER, 2008).

Descrição	Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$/ha)	Valor Total (R\$/ha)
<b>Insumos</b>				
Adubo mineral (08-28-18 + Micros)	0,40	t	670,00	268,00
Adubo Mineral (Uréia)	0,15	t	1.277,67	153,32
Agrotóxicos	8,43	l-kg	52,03	438,61
Sacaria para grãos	120,00	ud	0,50	60,00
Sementes de milho	20,00	kg	6,50	130,00
<b>Serviços</b>				
Adubação (Mecânica de cobertura)	1,00	h/m	70,00	70,00
Colheita Mecânica	1,00	h/m	100,00	100,00
Braçagem + Outros	2,00	d/h	25,00	50,00
Plantio (Mecânico)	1,00	h/m	70,00	70,00
Preparo do solo (grade aradora)	1,50	h/m	70,00	105,00
Preparo do solo (grade niveladora)	1,00	h/m	70,00	70,00
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>				1.088,26
<b>SERVIÇOS</b>				465,00
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>				15,53
<b>TOTAL</b>				<b>1.568,79</b>

Nota: h/m corresponde a horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Apêndice B – Custos de Produção do Milho Irrigado (Modificado de EMATER, 2008).

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$/ha)</b>	<b>Valor Total (R\$/ha)</b>
<b>Insumos</b>				
Adubo mineral (08-28-18 + Micros)	0,40	t	670,00	268,00
Adubo Mineral (Uréia)	0,15	t	1.277,67	153,32
Agrotóxicos	8,43	l-kg	52,03	438,61
Sacaria para grãos	120,00	ud	0,50	60,00
Sementes de milho	20,00	kg	6,50	130,00
Energia elétrica p/ irrigação	531	KWh	0,18	96,00
<b>Serviços</b>				
Adubação (Mecânica de cobertura)	1,00	h/m	70,00	70,00
Colheita Mecânica	1,00	h/m	100,00	100,00
Braçagem + Outros	2,00	d/h	25,00	50,00
Irrigação (Asperção)	1	d/h	25,00	25,00
Plantio (Mecânico)	1,00	h/m	70,00	70,00
Preparo do solo (grade aradora)	1,50	h/m	70,00	105,00
Preparo do solo (grade niveladora)	1,00	h/m	70,00	70,00
<b>Depreciação</b>				
Pivô-Central	1/3	R\$	565,84	188,61
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>				1.145,93
<b>SERVIÇOS</b>				490,00
<b>DEPRECIÇÃO</b>				188,61
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>				15,53
<b>TOTAL</b>				<b>1.877,99</b>

Nota: h/m corresponde a horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Apêndice C – Custos de Produção da Soja de Sequeiro (Modificado de EMATER, 2008).

Descrição				Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$/ha)	Valor Total (R\$/ha)
<b>Insumos</b>							
Adubo mineral	(08-20-18 +			0,45	t	1.106,00	497,70
Micros)							
Agrotóxicos				14,22	l-kg	37,21	529,14
Inoculante p/ soja				1,00	dose	3,20	3,20
Sementes de soja				60,00	kg	2,60	156,00
<b>Serviços</b>							
Sementes (Tratamento)				0,20	d/h	25,00	5,00
Colheita Mecânica				1,00	h/m	100,00	100,00
Braçagem + Outros				1,00	d/h	25,00	25,00
Plantio (Mecânico)				1,00	h/m	70,00	70,00
Preparo do solo (gradagem)				2,00	h/m	70,00	140,00
Preparo do solo (grade niveladora)				1,00	h/m	70,00	70,00
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>							1.186,04
<b>SERVIÇOS</b>							410,00
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>							29,02
<b>TOTAL</b>							<b>1.625,06</b>

Nota: h/m corresponde a horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Apêndice D – Custos de Produção da Soja Irrigada (Modificado de EMATER, 2008).

Descrição				Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$/ha)	Valor Total (R\$/ha)
<b>Insumos</b>							
Adubo mineral (08-20-18 + Micros)			0,45	t	1.106,00	497,70	
Agrotóxicos			14,22	l-kg	37,21	529,14	
Inoculante p/ soja			1,00	dose	3,20	3,20	
Sementes de soja			60,00	kg	2,60	156,00	
Energia elétrica p/ irrigação			685,00	KWh	0,18	123,00	
<b>Serviços</b>							
Sementes (Tratamento)			0,20	d/h	25,00	5,00	
Colheita Mecânica			1,00	h/m	100,00	100,00	
Braçagem + Outros			1,00	d/h	25,00	25,00	
Irrigação (Asperção)			1	d/h	25,00	25,00	
Plantio (Mecânico)			1,00	h/m	70,00	70,00	
Preparo do solo (gradagem)			2,00	h/m	70,00	140,00	
Preparo do solo (grade niveladora)			1,00	h/m	70,00	70,00	
<b>Depreciação</b>							
Pivô-Central			1/3	R\$	565,84	188,61	
<b>SUB-TOTAL (INSUMOS)</b>							1.186,04
<b>SERVIÇOS</b>							410,00
<b>DEPRECIÇÃO</b>							188,61
<b>CUSTOS (Und. Comercialização)</b>							29,02
<b>TOTAL</b>							<b>1.961,93</b>

Nota: h/m corresponde a horas/homem, e d/h significa dias/homem.

Apêndice E – Custos de Produção do Trigo de Sequeiro (Modificado de CONAB, 2007).

<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>(R\$/ha)</b>	<b>(R\$/t)</b>	<b>(R\$/sc)</b>
<b>I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA</b>			
1 - Operação com avião	0,00	0,00	0,00
2 - Operação com máquinas	95,59	38,24	2,29
3 - Aluguel de máquinas	3,55	1,42	0,09
4 - Mão-de-obra temporária	6,08	2,43	0,15
5 - Mão-de-obra fixa	8,00	3,20	0,19
6 - Sementes	153,75	61,50	3,69
7 - Fertilizantes	294,16	117,66	7,06
8 - Defensivos	186,73	74,69	4,48
<b>TOTAL DAS DESPESAS DA LAVOURA (A)</b>	<b>747,86</b>	<b>299,14</b>	<b>17,95</b>
<b>II - OUTRAS DESPESAS</b>			
1 - Assistência Técnica	14,96	5,98	0,36
2 - Seguro da Produção	52,35	20,94	1,26
3 - Transporte externo	61,67	24,67	1,48
4 - Recepção/limpeza/secagem/armazenagem 30 dias	27,10	10,84	0,65
Total das Outras Despesas (B)	156,08	62,43	3,75
<b>III - DESPESAS FINANCEIRAS</b>			
1 - Juros	25,53	10,21	0,61
Total das Despesas Financeiras (C)	25,53	10,21	0,61
<b>CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)</b>	<b>929,47</b>	<b>371,78</b>	<b>22,31</b>
<b>IV - DEPRECIACIONES</b>			
1 - Depreciação de benfeitorias/instalações	6,09	2,44	0,15
2 - Depreciação de implementos	27,05	10,82	0,65
3 - Depreciação de máquinas	53,14	21,26	1,28
Total de Depreciações (E)	86,28	34,52	2,08
<b>V - OUTROS CUSTOS FIXOS</b>			
1 - Manutenção periódica de máquinas	17,71	7,08	0,43
2 - Encargos sociais	4,72	1,89	0,11
3 - Seguro do capital fixo	4,77	1,91	0,11
Total de Outros Custos Fixos (F)	27,20	10,88	0,65
Custo Fixo (E+F = G)	113,48	45,40	2,73
<b>CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)</b>	<b>1.042,95</b>	<b>417,18</b>	<b>25,04</b>
<b>VI - RENDA DE FATORES</b>			
1 - Remuneração esperada sobre capital fixo	58,32	23,33	1,40
2 - Terra	241,50	96,60	5,80
Total de Renda de Fatores (I)	299,82	119,93	7,20
<b>CUSTO TOTAL (H+I = J)</b>	<b>1.342,77</b>	<b>537,11</b>	<b>32,24</b>

Apêndice F – Custos de Produção do Trigo Irrigado (modificado de CONAB, 2007).

<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>(R\$/ha)</b>	<b>(R\$/t)</b>	<b>(R\$/sc)</b>
<b>I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA</b>			
1 - Operação com avião	0,00	0,00	0,00
2 - Operação com máquinas	95,59	38,24	2,29
3 - Aluguel de máquinas	3,55	1,42	0,09
4 - Mão-de-obra temporária	6,08	2,43	0,15
5 - Mão-de-obra fixa	8,00	3,20	0,19
6 - Sementes	153,75	61,50	3,69
7 - Fertilizantes	294,16	117,66	7,06
8 - Defensivos	186,73	74,69	4,48
9 - Energia Elétrica p/Irrigação	310,04	124,16-	7,45
10 - Irrigação (Asperção)	25,00	10,00	0,60
<b>TOTAL DAS DESPESAS DA LAVOURA (A)</b>	<b>1.082,86</b>	<b>433,32</b>	<b>25,99</b>
<b>II - OUTRAS DESPESAS</b>			
1 - Assistência Técnica	14,96	5,98	0,36
2 - Seguro da Produção	52,35	20,94	1,26
3 - Transporte externo	61,67	24,67	1,48
4 - Recepção/limpeza/secagem/armazenagem 30 dias	27,10	10,84	0,65
Total das Outras Despesas (B)	156,08	62,43	3,75
<b>III - DESPESAS FINANCEIRAS</b>			
1 - Juros	25,53	10,21	0,61
Total das Despesas Financeiras (C)	25,53	10,21	0,61
<b>CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)</b>	<b>929,47</b>	<b>371,78</b>	<b>22,31</b>
<b>IV - DEPRECIACÕES</b>			
1 - Depreciação de benfeitorias/instalações	6,09	2,44	0,15
2 - Depreciação de implementos	27,05	10,82	0,65
3 - Depreciação de máquinas	241,75	96,70	5,81
Total de Depreciações (E)	328,03	131,22	7,89
<b>V - OUTROS CUSTOS FIXOS</b>			
1 - Manutenção periódica de máquinas	17,71	7,08	0,43
2 - Encargos sociais	4,72	1,89	0,11
3 - Seguro do capital fixo	4,77	1,91	0,11
Total de Outros Custos Fixos (F)	27,20	10,88	0,65
Custo Fixo (E+F = G)	113,48	45,40	2,73
<b>CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)</b>	<b>1.042,95</b>	<b>417,18</b>	<b>25,04</b>
<b>VI - RENDA DE FATORES</b>			
1 - Remuneração esperada sobre capital fixo	58,32	23,33	1,40
2 - Terra	241,50	96,60	5,80
Total de Renda de Fatores (I)	299,82	119,93	7,20
<b>CUSTO TOTAL (H+I = J)</b>	<b>1.866,42</b>	<b>746,57</b>	<b>44,79</b>

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
<b>1931</b>	1	41,07	0	0	0,01	0	0	17,88	18,42	10,58	12,29	15,95	31,17	12,28
	2	41,07	0	0	0	0	0	17,88	18,42	10,58	12,29	15,95	31,17	12,28
	3	41,07	0	0	0	0	0	17,88	18,42	10,58	12,29	15,95	31,17	12,28
<b>1933</b>	1	49,42	116,21	231,73	205,34	251,68	288,44	260,82	278,6	300,62	288,09	346,73	299,12	243,07
	2	49,42	116,21	231,73	205,34	251,68	288,44	260,82	278,6	300,62	288,09	346,73	299,12	243,07
	3	49,42	116,21	231,73	205,34	251,68	288,44	260,82	278,6	300,62	288,09	346,73	299,12	243,07
<b>1934</b>	1	234,21	349,76	495,53	491,17	605,31	650,83	726,46	840	840	840,06	1144,18	892,76	675,86
	2	234,21	349,76	495,53	491,17	605,31	650,83	726,46	840	840	840,06	1144,18	892,76	675,86
	3	234,21	349,76	495,53	491,17	605,31	650,83	726,46	840	840	840,06	1144,18	892,76	675,86
<b>1935</b>	1	250,87	148,51	148,49	79,6	103,36	122,62	155	81,42	92,99	6,66	74,4	103,94	113,99
	2	250,87	148,51	148,49	79,6	103,36	122,62	155	81,42	92,99	6,66	74,4	103,94	113,99
	3	250,87	148,51	148,49	79,6	103,36	122,62	155	81,42	92,99	6,66	74,4	103,94	113,99
<b>1936</b>	1	182,73	368,47	250,84	251,05	228,82	229,74	270,57	204,22	207,22	203,44	248,46	224,7	239,19
	2	182,73	368,47	250,84	251,05	228,82	229,74	270,57	204,22	207,22	203,44	248,46	224,7	239,19
	3	182,73	368,47	250,84	251,05	228,82	229,74	270,57	204,22	207,22	203,44	248,46	224,7	239,19
<b>1937</b>	1	81,8	206,8	255,9	225,28	227,54	253,83	292,08	296,48	317,98	251,01	132,36	105,63	220,56
	2	81,8	206,8	255,9	225,28	227,54	253,83	292,08	296,48	317,98	251,01	132,36	105,63	220,56
	3	81,8	206,8	255,9	225,28	227,54	253,83	292,08	296,48	317,98	251,01	132,36	105,63	220,56
<b>1938</b>	1	61,67	118,11	204,28	219,42	180,25	168,51	152,75	147,99	155,24	185,63	205,72	176,15	164,64
	2	61,67	118,11	204,28	219,42	180,25	168,51	152,75	147,99	155,24	183,04	205,72	176,15	164,43
	3	61,67	118,11	204,28	219,42	180,25	168,51	152,75	147,99	155,24	183,04	205,72	176,15	164,43
<b>1939</b>	1	136,53	148,51	268,06	318,57	292,92	313,47	339,33	355,85	360,96	378,56	249,3	253,34	284,62
	2	136,53	148,51	268,06	318,57	292,92	313,47	339,33	355,85	360,96	378,56	249,3	253,34	284,62
	3	136,53	148,51	268,06	318,57	292,92	313,47	339,33	355,85	360,96	378,56	249,3	253,34	284,62
<b>1940</b>	1	167,61	20,26	6,62	67,35	93,37	146,51	155,49	153,93	170,49	198,07	135,98	156,54	122,69
	2	167,61	20,26	6,62	67,35	93,37	146,51	155,49	153,93	170,49	198,07	135,98	156,54	122,69
	3	167,61	20,26	6,62	67,35	93,37	146,51	155,49	153,93	170,49	198,07	135,98	156,54	122,69
<b>1941</b>	1	224,7	284,98	346,29	263,28	260,54	297,01	322,78	238,56	262,2	242,43	202,82	180,78	260,53
	2	224,7	284,98	346,29	263,28	260,54	297,01	322,78	238,56	262,2	242,43	202,82	180,78	260,53
	3	224,7	284,98	346,29	263,28	260,54	297,01	322,78	238,56	262,2	242,43	202,82	180,78	260,53
<b>1942</b>	1	144,99	125,62	59,18	36,95	0,01	57,5	71,72	84,68	99,01	88,71	94	64,49	77,24

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	144,99	125,62	59,18	36,95	0,01	57,5	71,72	84,68	99,01	88,71	94	63,87	77,19
	3	144,99	125,62	59,18	36,95	0,01	57,5	71,72	84,68	99,01	88,71	94	63,87	77,19
<b>1943</b>	1	3,93	0,01	0,01	67,34	118,86	108,31	110,83	97,5	92,99	88,71	67,18	67,81	68,62
	2	3,93	0,01	0	67,34	118,86	108,31	110,83	97,5	92,99	88,71	67,18	67,81	68,62
	3	3,93	0,01	0	67,34	118,86	108,31	110,83	97,5	92,99	88,71	67,18	67,81	68,62
<b>1944</b>	1	234,21	231,16	191,79	253,83	293,24	313,47	322,78	379,94	397,66	598,67	499,7	534,23	354,22
	2	234,21	231,16	191,79	253,83	293,24	313,47	322,78	379,94	397,66	598,67	499,7	534,23	354,22
	3	234,21	231,16	191,79	253,83	293,24	313,47	322,78	379,94	397,66	598,67	499,7	534,23	354,22
<b>1945</b>	1	840	147,4	156,64	59,19	84,8	106,12	102,39	134,09	141,14	176,81	135,4	78	180,16
	2	840	147,4	156,64	59,19	84,8	106,12	102,39	134,09	141,14	176,81	135,4	78	180,16
	3	840	147,4	156,64	59,19	84,8	106,12	102,39	134,09	141,14	176,81	135,4	78	180,16
<b>1946</b>	1	0	0	0	0	38,8	42,92	17,88	33,72	49,26	58,2	87,47	132,87	38,43
	2	0	0	0	0	38,8	42,92	17,88	33,72	49,26	58,2	87,47	132,87	38,43
	3	0	0	0	0	38,8	42,92	17,88	33,72	49,26	58,2	87,47	132,87	38,43
<b>1947</b>	1	222,1	123,46	0,01	0,01	0,01	48,49	60,65	42,87	20,99	21,72	25,68	1,87	47,32
	2	222,1	123,46	0	0	0,01	48,49	60,65	42,87	20,99	21,72	25,68	1,87	47,32
	3	222,1	123,46	0	0	0,01	48,49	60,65	42,87	20,99	21,72	25,68	1,87	47,32
<b>1948</b>	1	61,67	9,42	0	0,01	104,3	120,97	135,17	92,97	121,25	143,64	139,3	63,58	82,69
	2	61,67	9,42	0	0,01	104,3	120,97	135,17	92,97	121,25	143,64	139,3	63,58	82,69
	3	61,67	9,42	0	0,01	104,3	120,97	135,17	92,97	121,25	143,64	139,3	63,58	82,69
<b>1949</b>	1	144,21	18,4	124,01	120,98	167,98	189,15	207,73	223,81	204,17	269,34	233,43	305,5	184,06
	2	144,21	18,4	124,01	120,98	167,98	189,15	207,73	223,81	204,17	269,34	233,43	305,5	184,06
	3	144,21	18,4	124,01	120,98	167,98	189,15	207,73	223,81	204,17	269,34	233,43	305,5	184,06
<b>1950</b>	1	320,54	166,26	198,92	195,52	228,82	298	337,97	330,5	360,96	286,56	214,54	196,6	261,27
	2	320,54	166,26	198,92	195,52	228,82	298	337,97	330,5	360,96	286,56	214,54	196,6	261,27
	3	320,54	166,26	198,92	195,52	228,82	298	337,97	330,5	360,96	286,56	214,54	196,6	261,27
<b>1951</b>	1	132,92	39,45	34,04	0,01	90,71	124,78	153,92	180,62	201,29	182,87	255,17	318,68	142,87
	2	132,92	39,45	34,04	0,01	90,71	124,78	153,92	174,12	192,62	182,87	255,17	318,68	141,61
	3	132,92	39,45	0	0,01	90,71	124,78	153,92	174,12	192,62	182,87	255,17	318,68	138,77
<b>1952</b>	1	840	839,99	253,83	204,44	313,47	313,47	322,78	379,94	358,92	351,78	346,2	383,17	409
	2	840	839,99	209,62	204,44	313,47	313,47	322,78	379,94	358,92	351,78	346,2	383,17	405,31
	3	840	839,99	199,2	204,44	313,47	313,47	322,78	379,94	358,92	351,78	346,2	383,17	404,45
<b>1953</b>	1	840	840	840	840,01	1083,42	965,93	1040,88	2039,64	1289,85	840,04	839,99	595,14	1004,58

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	840	840	840	840,01	1083,42	965,93	1040,88	2039,64	1289,85	840,04	839,99	595,14	1004,58
	3	840	840	840	840,01	1083,42	965,93	1040,88	2039,64	1289,85	840,04	839,99	595,14	1004,58
<b>1954</b>	1	326,59	346,35	565,12	539,76	304,38	266,82	431,72	533,29	575,09	561,75	627,17	609,92	474
	2	326,59	346,35	565,12	539,76	304,38	266,82	431,72	533,29	575,09	561,75	627,17	609,92	474
	3	326,59	346,35	565,12	539,76	304,38	266,82	431,72	533,29	575,09	561,75	627,17	609,92	474
<b>1955</b>	1	840	840	840	956,49	1240,73	896,36	840	945,46	945,44	1155,03	1052,28	871,19	951,92
	2	840	840	840	956,49	1240,73	896,36	840	945,46	945,44	1155,03	1052,28	871,19	951,92
	3	840	840	840	956,49	1240,73	896,36	840	945,46	945,44	1155,03	1052,28	871,19	951,92
<b>1956</b>	1	328,07	840	840,01	840	494,4	370,85	354,55	216,71	274,41	360,96	346,73	289,9	463,05
	2	328,07	840	840,01	840	494,4	370,85	354,55	216,71	274,41	350,78	346,73	289,9	462,2
	3	328,07	840	840,01	840	494,4	370,84	354,55	216,71	274,41	350,78	346,73	289,9	462,2
<b>1957</b>	1	116	64,29	42,5	0,01	0,01	41,41	6,23	1,07	1	1,05	0,42	0	22,83
	2	116	64,29	42,5	0	0,01	41,41	6,23	1,07	1	1,05	0,42	0	22,83
	3	116	64,29	42,5	0	0,01	41,41	6,23	1,07	1	1,05	0,42	0	22,83
<b>1958</b>	1	141,94	0,01	97,2	92,8	91,33	78,59	108,71	92,97	72,48	76,96	89,44	142,48	90,41
	2	141,94	0	97,2	92,8	91,33	78,59	108,71	92,97	72,48	76,96	89,44	142,48	90,41
	3	141,94	0	97,2	92,8	91,33	78,59	108,71	92,97	72,48	76,96	89,44	142,48	90,41
<b>1959</b>	1	68,11	146,87	172,26	166,72	189,96	213,74	252	229,97	230,37	262,99	249,14	383,17	213,77
	2	68,11	146,87	172,26	166,72	189,96	213,74	252	226,98	230,37	253,83	249,14	383,17	212,76
	3	68,11	146,87	172,26	166,72	189,96	213,74	252	226,98	230,37	253,83	249,14	383,17	212,76
<b>1960</b>	1	328,07	206,8	156,64	140,55	199,32	222,24	209,84	179,86	197,12	239,43	191,77	176,15	203,98
	2	328,07	206,8	156,64	140,55	199,32	222,24	209,84	179,86	197,12	239,43	191,77	176,15	203,98
	3	328,07	206,8	156,64	140,55	199,32	222,24	209,84	179,86	197,12	239,43	191,77	176,15	203,98
<b>1961</b>	1	0	0	0	0,01	0	57,11	87,12	107,11	83,33	108,91	77,98	173,37	57,91
	2	0	0	0	0	0	57,11	87,12	107,11	83,33	108,91	77,98	173,37	57,91
	3	0	0	0	0	0	57,11	87,12	107,11	83,33	108,91	77,98	173,37	57,91
<b>1962</b>	1	268,21	155,74	171,11	202,52	255,79	286,73	337,99	310,41	300,62	236,34	249,15	183,68	246,52
	2	268,21	155,74	171,11	202,52	255,79	286,73	337,99	304,63	300,62	226,98	249,15	183,68	245,26
	3	268,21	155,74	171,11	202,52	255,79	286,73	337,99	304,63	300,62	226,98	249,15	183,68	245,26
<b>1963</b>	1	30,29	23,34	110,78	198,43	292,92	313,47	339,33	304,63	340,67	292,01	255,46	526,77	252,34
	2	30,29	23,34	110,78	198,43	292,92	313,47	339,33	304,63	340,67	292,01	255,46	526,77	252,34
	3	30,29	23,34	110,78	198,43	292,92	313,47	339,33	304,63	340,67	292,01	255,46	526,77	252,34
<b>1964</b>	1	840	147,4	308,98	381,17	494,4	648,22	503,1	489,13	504,94	474,74	396,91	388,74	464,81

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	840	147,4	308,98	381,17	494,4	648,22	503,1	489,13	504,94	474,74	396,91	388,74	464,81
	3	840	147,4	308,98	381,17	494,4	648,22	503,1	489,13	504,94	474,74	396,91	388,74	464,81
<b>1965</b>	1	117,09	8,97	0,01	0,01	3,02	43,07	25,14	14,21	24,56	2,39	0	0	19,87
	2	117,09	8,96	0	0	0	43,07	25,14	14,21	24,56	2,39	0	0	19,62
	3	117,09	6,87	0	0	0	43,07	25,14	14,21	24,56	2,39	0	0	19,44
<b>1966</b>	1	0	0	0	0	0,01	64,1	78,92	81,42	58,4	58,13	6	15	30,17
	2	0	0	0	0	0,01	64,1	78,92	81,42	58,4	58,13	6	15	30,17
	3	0	0	0	0	0,01	64,1	78,92	81,42	58,4	58,13	6	15	30,17
<b>1967</b>	1	6,25	0	0	0,01	81,24	100,14	115,92	107,11	99,54	145,47	121,07	96,2	72,75
	2	6,25	0	0	0,01	81,24	100,14	115,92	107,11	99,54	137,55	121,07	96,2	72,09
	3	6,25	0	0	0,01	81,24	100,14	115,92	107,11	99,54	137,55	121,07	96,2	72,09
<b>1968</b>	1	135,94	206,29	200,26	242,29	293,24	313,47	306,39	280,67	340,15	363,75	346,73	289,9	276,59
	2	135,94	206,29	200,26	242,29	293,24	313,47	306,39	280,67	340,15	363,75	346,73	289,9	276,59
	3	135,94	206,29	200,26	242,29	293,24	313,47	306,39	280,67	340,15	363,75	346,73	289,9	276,59
<b>1969</b>	1	448,95	371,49	495,53	539,76	735,73	579,13	585,39	715,88	730,54	682,42	252,22	322,81	538,32
	2	448,95	371,49	495,53	539,76	735,73	579,13	585,39	715,88	730,54	682,42	248,65	322,81	538,02
	3	448,95	371,49	495,53	539,76	735,73	579,13	585,39	715,88	730,54	682,42	248,65	322,81	538,02
<b>1970</b>	1	108,91	109,94	114,07	173,33	192,03	193,7	144,02	195,29	180,63	146,1	165,51	241,4	163,74
	2	108,91	109,94	114,07	173,33	192,03	193,7	144,02	195,29	180,63	146,1	165,51	241,4	163,74
	3	108,91	109,94	114,07	173,33	192,03	193,7	144,02	195,29	180,63	146,1	165,51	241,4	163,74
<b>1971</b>	1	401,27	840	840	932,76	840	840	840	834,34	840	581,22	564,57	324,14	723,19
	2	401,27	840	840	932,76	840	840	840	834,34	840	581,22	561,56	324,14	722,94
	3	401,27	840	840	932,76	840	840	840	834,34	840	581,22	561,56	324,14	722,94
<b>1972</b>	1	268,32	169,05	144,95	167,95	253,83	256,62	196,25	152,79	133,93	22,56	29,24	42,6	153,17
	2	268,32	169,05	144,95	167,95	253,83	256,62	196,25	152,79	133,93	22,56	29,24	42,6	153,17
	3	268,32	169,05	144,95	167,95	253,83	256,62	196,25	152,79	133,93	22,56	29,24	42,6	153,17
<b>1973</b>	1	0	0	16,26	0	0	74,25	65,36	57,69	55,75	23,12	0,42	0	24,4
	2	0	0	16,26	0	0	74,25	65,36	57,69	55,75	23,12	0,42	0	24,4
	3	0	0	16,26	0	0	74,25	65,36	57,69	55,75	23,12	0,42	0	24,4
<b>1974</b>	1	0	0	0	0	0,01	31,63	50,11	51,46	58,94	85,66	113,66	131,67	43,59
	2	0	0	0	0	0,01	31,63	50,11	51,46	58,94	85,66	113,66	131,67	43,59
	3	0	0	0	0	0,01	31,63	50,11	51,46	58,94	85,66	113,66	131,67	43,59
<b>1975</b>	1	191,65	252,62	355,68	318,57	374,66	428,45	353,7	358,32	360,96	248,08	201,39	179,36	301,95

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	191,65	252,62	355,68	318,57	374,66	428,45	353,7	358,32	360,96	248,08	201,39	179,36	301,95
	3	191,65	252,62	355,68	318,57	374,66	428,45	353,7	358,32	360,96	248,08	201,39	179,36	301,95
<b>1976</b>	1	198,37	199,18	213,31	198,43	189,85	139,82	136,69	41,15	41,53	21,93	0	0	115,02
	2	198,37	199,18	213,31	198,43	189,85	139,82	129,99	41,15	41,53	21,93	0	0	114,46
	3	198,37	199,18	213,31	198,43	189,85	139,82	129,99	41,15	41,53	21,93	0	0	114,46
<b>1977</b>	1	0	0	77,42	24,81	91,33	100,14	125,25	107,11	121,25	98,45	85,62	43,94	72,94
	2	0	0	77,42	24,81	91,33	100,14	125,25	107,11	121,25	98,45	85,62	43,94	72,94
	3	0	0	77,42	24,81	91,33	100,14	125,25	107,11	121,25	98,45	85,62	43,94	72,94
<b>1978</b>	1	3,46	116,21	0,01	137,55	133,87	122,62	78,92	71,91	73,01	126,69	87,14	70,15	85,13
	2	3,46	116,21	0,01	137,55	133,87	122,62	78,92	71,91	73,01	126,69	87,14	70,15	85,13
	3	3,46	116,21	0,01	137,55	133,87	122,62	78,92	71,91	73,01	126,69	87,14	70,15	85,13
<b>1979</b>	1	51,4	0,01	0,01	50,35	0,01	78,7	60,34	26,34	15,18	4,73	0	0	23,92
	2	51,4	0	0	50,35	0,01	78,7	60,34	26,34	15,18	4,73	0	0	23,92
	3	51,4	0	0	50,35	0,01	78,7	60,34	26,34	15,18	4,73	0	0	23,92
<b>1980</b>	1	0	0	0	0	0	46,83	19,9	8,01	5,13	9,21	4,97	0	7,84
	2	0	0	0	0	0	46,83	19,9	8,01	5,13	9,21	4,97	0	7,84
	3	0	0	0	0	0	46,83	19,9	8,01	5,13	9,21	4,97	0	7,84
<b>1981</b>	1	0	0	133,92	67,34	109,76	112,55	130,55	108,87	130,4	85,66	0	0	73,25
	2	0	0	133,92	67,34	109,76	112,55	130,55	108,87	130,4	85,66	0	0	73,25
	3	0	0	133,92	67,34	109,76	112,55	130,55	108,87	130,4	85,66	0	0	73,25
<b>1982</b>	1	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	1,07	1	0	0	0	0,18
	2	0	0	0	0	0	0	0	1,07	1	0	0	0	0,17
	3	0	0	0	0	0	0	0	1,07	1	0	0	0	0,17
<b>1983</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>1984</b>	1	0	0	156,79	47,02	0	92,54	108	37,57	35,78	42,88	54,21	26,66	50,12
	2	0	0	156,79	47,02	0	92,54	108	37,57	35,78	42,88	54,21	26,66	50,12
	3	0	0	156,79	47,02	0	92,54	108	37,57	35,78	42,88	54,21	26,66	50,12
<b>1985</b>	1	0	0	0	0	0	57,58	71,72	53,19	59,84	88,61	96,7	148,3	47,99
	2	0	0	0	0	0	57,58	71,72	53,19	59,84	88,61	96,7	148,3	47,99
	3	0	0	0	0	0	57,58	71,72	53,19	59,84	88,61	96,7	148,3	47,99
<b>1986</b>	1	144,21	170,02	239,58	252,99	211,97	257,65	250,78	147,99	166,02	223,98	249,15	224,05	211,53

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	144,21	170,02	239,58	252,99	211,97	257,65	250,78	147,99	166,02	223,98	249,15	224,05	211,53
	3	144,21	170,02	239,58	252,99	211,97	257,65	250,78	147,99	166,02	223,98	249,15	224,05	211,53
<b>1987</b>	1	167,94	171,97	246,51	167,32	53,93	77,54	90,79	96,1	101,7	97,62	95,65	43,94	117,58
	2	167,94	171,97	246,51	167,32	53,93	77,54	90,79	96,1	101,7	97,62	94	43,94	117,45
	3	167,94	171,97	246,51	167,32	53,93	77,54	90,79	96,1	101,7	97,62	92,79	43,94	117,35
<b>1988</b>	1	144,37	146,87	96,69	84,14	0	58,71	87,12	92,97	101,1	114,99	122,36	166,96	101,36
	2	144,37	146,87	96,69	84,14	0	58,71	87,12	92,97	101,1	114,99	122,36	166,96	101,36
	3	144,37	146,87	96,69	84,14	0	58,71	87,12	92,97	101,1	114,99	122,36	166,96	101,36
<b>1989</b>	1	137,41	127,87	130,36	168,3	178,01	213,74	179,36	71,23	55,75	77,47	68,44	0	117,33
	2	137,41	127,87	130,36	168,3	178,01	213,74	175,53	71,23	55,75	77,47	68,44	0	117,01
	3	137,41	127,87	130,36	168,3	178,01	213,74	175,53	71,23	55,75	77,47	68,44	0	117,01
<b>1990</b>	1	0	0	120,36	106,88	0	120,86	65,36	30,56	24,56	5,15	29,24	123,34	52,19
	2	0	0	120,36	106,88	0	120,86	65,36	30,56	24,56	5,15	29,24	123,34	52,19
	3	0	0	120,36	106,88	0	120,86	65,36	30,56	24,56	5,15	29,24	123,34	52,19
<b>1991</b>	1	147,06	31,09	58,15	0,01	20,72	46,83	71,72	51,47	72,08	48,79	100,51	103,33	62,65
	2	147,06	31,09	0	0	0	46,83	71,72	51,47	72,08	48,79	100,51	103,33	56,07
	3	147,06	31,09	0	0	0	46,83	71,72	51,47	72,08	48,11	100,51	103,33	56,02
<b>1992</b>	1	81,38	0,01	0,01	0,01	0	0	27,05	9,21	5,13	0,53	0	0	10,28
	2	81,38	0	0	0	0	0	27,05	9,21	5,13	0,53	0	0	10,28
	3	81,38	0	0	0	0	0	27,05	9,21	5,13	0,53	0	0	10,28
<b>1993</b>	1	0	0	0	0	0	53,67	65,36	48,09	41,53	5,15	68,44	61,43	28,64
	2	0	0	0	0	0	53,67	65,36	48,09	41,53	5,15	68,44	61,43	28,64
	3	0	0	0	0	0	53,67	65,36	48,09	41,53	5,15	68,44	61,43	28,64
<b>1994</b>	1	30,2	29,95	0	0	0	58,73	42,67	50,88	72,08	97,62	77,98	95,95	46,34
	2	30,2	29,95	0	0	0	58,73	42,67	50,88	72,08	97,62	77,98	95,95	46,34
	3	30,2	29,95	0	0	0	58,73	42,67	50,88	72,08	97,62	77,98	95,95	46,34
<b>1995</b>	1	107,76	2,91	27,43	0	55,79	100,14	78,92	106,51	120,66	74,09	121,07	131,22	77,21
	2	107,76	2,91	27,43	0	55,79	100,14	78,92	106,51	120,66	74,09	121,07	131,22	77,21
	3	107,76	2,91	27,43	0	55,79	100,14	78,92	106,51	120,66	74,09	121,07	131,22	77,21
<b>1996</b>	1	110,25	219,8	184,54	175,76	220,77	240,26	219,62	216,71	185,68	143,67	68,56	95,95	173,46
	2	110,25	219,8	184,54	175,76	220,77	240,26	219,62	216,71	185,68	143,67	68,56	95,95	173,46
	3	110,25	219,8	184,54	175,76	220,77	240,26	219,62	216,71	185,68	143,67	68,56	95,95	173,46
<b>1997</b>	1	0	0	0	0,01	45,55	0	18,48	9,21	17,9	4,16	0	0	7,94

APÊNDICE G – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Sudeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	0	0	0	0,01	45,55	0	18,48	9,21	17,9	4,16	0	0	7,94
	3	0	0	0	0,01	45,55	0	18,48	9,21	17,9	4,16	0	0	7,94
<b>1998</b>	1	13,19	0	0	0	0	105,46	134,08	52,12	55,75	5,15	29,24	44,03	36,59
	2	13,19	0	0	0	0	105,46	134,08	52,12	55,75	5,15	29,24	43,94	36,58
	3	13,19	0	0	0	0	105,46	134,08	52,12	55,75	5,15	29,24	43,94	36,58
<b>1999</b>	1	13,05	62,73	0	146,12	173,28	174,39	117,98	161,34	168,66	217,86	204,16	203,62	136,93
	2	13,05	62,73	0	146,12	173,28	174,39	117,98	161,34	168,66	217,86	204,16	203,62	136,93
	3	13,05	62,73	0	146,12	173,28	174,39	117,98	161,34	168,66	217,86	204,16	203,62	136,93
<b>2000</b>	1	211,81	99,58	74,06	137,7	191,79	229,26	206,25	167,41	85,83	141,33	113,66	85,23	145,33
	2	211,81	99,58	74,06	137,7	191,79	229,26	206,25	167,41	85,83	141,33	113,66	85,23	145,33
	3	211,81	99,58	74,06	137,7	191,79	229,26	206,25	167,41	85,83	141,33	113,66	85,23	145,33
<b>2001</b>	1	147,06	165,34	236,77	266,27	263,81	260,53	261,07	272,39	268,18	174,67	204,42	173,19	224,47
	2	147,06	165,34	236,77	266,27	263,81	260,53	261,07	272,39	268,18	174,67	204,42	173,19	224,47
	3	147,06	165,34	236,77	266,27	263,81	260,53	261,07	272,39	268,18	174,67	204,42	173,19	224,47
<b>2002</b>	1	23,26	4,93	75,37	166,72	135,07	195,54	206,77	172,29	165,17	180,85	158,88	170,49	137,95
	2	23,26	4,93	75,37	166,72	135,07	195,54	206,21	172,29	165,17	180,85	158,88	170,49	137,9
	3	23,26	4,93	75,37	166,72	135,07	195,54	206,21	172,29	165,17	180,85	158,88	170,49	137,9
<b>2003</b>	1	81,81	74,9	130,36	109,22	164,98	184,69	206,77	226,58	257,05	303,6	269,24	243,5	187,72
	2	81,81	74,9	130,36	109,22	164,98	184,69	206,21	226,58	257,05	289,28	269,23	243,5	186,48
	3	81,81	74,9	130,36	109,22	164,98	184,69	206,21	226,58	257,05	289,28	269,23	243,5	186,48
<b>2004</b>	1	273,4	121,02	108	79,6	51,52	73,18	49,64	81,42	99,54	98,45	85,62	117,03	103,2
	2	273,4	121,02	108	79,6	51,52	73,18	49,64	81,42	99,54	98,45	85,62	117,03	103,2
	3	273,4	121,02	108	79,6	51,52	73,18	49,64	81,42	99,54	98,45	85,62	117,03	103,2
<b>2005</b>	1	63,62	94,14	108,94	112,9	79,15	87,29	115,92	107,11	85,83	55,26	42,43	0	79,38
	2	63,62	94,14	108,94	112,9	79,15	87,29	115,92	107,11	85,83	55,26	42,43	0	79,38
	3	63,62	94,14	108,94	112,9	79,15	87,29	115,92	107,11	85,83	55,26	42,43	0	79,38
<b>2006</b>	1	101,97	148,44	131,17	61,57	91,33	151,66	157,76	154,11	154,3	117,19	113,86	44,03	118,95
	2	101,97	148,44	0	0	91,33	151,66	157,76	154,11	154,3	117,19	113,86	44,03	102,89
	3	101,97	148,44	0	0	91,33	151,66	157,76	154,11	154,3	117,19	113,86	43,94	102,88

APÊNDICE H – Energia Natural Afluente ao Sub-Sistema Sudeste – ENA Sudeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1931</b>	54363	82905	84285	60736	40800	30934	24817	19871	21924	22822	24344	36297	42008
<b>1933</b>	60557	47613	37433	32257	23075	18280	16194	13735	13249	16333	17453	33749	27494
<b>1934</b>	43333	34223	32577	24936	17658	13518	11435	9579	11312	12423	12804	31934	21311
<b>1935</b>	50959	67367	57105	50872	32502	25074	19213	19270	17848	34104	25415	30564	35858
<b>1936</b>	35385	27586	51281	34962	23392	17168	14338	13539	16680	13675	17660	32873	24878
<b>1937</b>	60963	41064	37177	32903	26108	22294	15854	13532	11696	21108	34352	52014	30755
<b>1938</b>	51317	42495	37677	28864	24240	19922	17957	15664	13886	17736	21395	38875	27502
<b>1939</b>	54908	54531	31600	26837	23472	19263	15887	12879	11806	13389	24200	35831	27050
<b>1940</b>	51550	71486	64619	35301	27522	20272	16039	13276	11806	13761	28616	32820	32256
<b>1941</b>	46160	35976	32987	31545	17636	15844	15164	14621	16934	20770	26108	39390	26095
<b>1942</b>	42829	48607	59464	42276	28334	28283	22339	15753	16029	17716	24690	39671	32166
<b>1943</b>	76766	70200	65836	39194	25254	22892	17951	14848	14119	22347	30671	37579	36471
<b>1944</b>	32693	44708	48708	30272	21136	16376	13806	11424	9980	11057	20533	25876	23881
<b>1945</b>	37870	67458	58530	57657	32734	25144	24149	15841	13603	16866	28848	57115	36318
<b>1946</b>	77202	59661	67013	43013	29073	25184	26135	17526	14465	19051	21524	27606	35621
<b>1947</b>	48849	57910	89426	54828	32831	25174	21964	19267	23417	24053	23522	42911	38679
<b>1948</b>	50712	54565	56985	38435	23541	21181	16495	16434	13177	15096	21984	45513	31177
<b>1949</b>	46770	67987	49706	34155	25484	20497	16362	13529	11753	14254	20275	32662	29453
<b>1950</b>	39761	61969	53332	37541	26002	19737	16894	13046	11285	17340	29320	41802	30669
<b>1951</b>	52272	63763	62035	43704	26664	22032	18242	15288	12912	14951	15648	24601	31009
<b>1952</b>	31598	47361	73820	39379	23891	21818	16653	13481	13559	15758	23501	27361	29015
<b>1953</b>	23673	24143	29936	32854	19917	16579	13072	11145	12260	17748	21633	32399	21280
<b>1954</b>	27546	41897	27217	22900	29378	22508	15075	11339	9824	11161	15152	23282	21440
<b>1955</b>	34432	25777	27136	27088	15751	17412	14679	11014	10926	11506	18276	34470	20706
<b>1956</b>	35750	23701	35566	24642	28315	31267	20341	23118	16040	14168	21628	42476	26418
<b>1957</b>	55050	58933	59976	53873	32382	24324	27443	24431	31037	21867	26912	40259	38041
<b>1958</b>	37371	54554	45204	37766	30674	27946	21684	16356	19988	20672	23561	28704	30373
<b>1959</b>	58866	47592	49060	36703	23637	19458	15630	14869	12187	14168	21868	25911	28329
<b>1960</b>	46853	56508	60352	38099	28703	23138	19472	17231	13602	15894	25738	40699	32191
<b>1961</b>	69850	73476	75076	47575	38226	26586	20555	16776	14950	14228	21867	25526	37058

APÊNDICE H – Energia Natural Afluente ao Sub-Sistema Sudeste – ENA Sudeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1962</b>	43120	57546	57241	34023	25263	21915	17076	14919	15822	24440	25377	50637	32282
<b>1963</b>	63859	56185	38962	26697	19563	16970	14466	12616	11164	12909	20410	16073	25823
<b>1964</b>	35874	58327	35122	26122	20593	16203	15096	12971	10521	16908	23997	37180	25743
<b>1965</b>	60134	74888	80432	49435	43676	29722	27086	20974	16688	29487	33601	51746	43156
<b>1966</b>	70266	75308	69825	44918	33305	25049	20752	17117	17036	22499	34329	41080	39290
<b>1967</b>	64604	69186	58755	40138	27408	25779	20704	16504	15574	14956	26120	40061	34982
<b>1968</b>	51052	44651	49862	29218	21884	17910	15116	14717	13457	16559	20349	37085	27655
<b>1969</b>	29617	35410	31235	21829	16474	17735	13520	10969	9166	18455	37435	37476	23277
<b>1970</b>	53021	54855	55616	31683	23343	19772	19103	13913	18925	21237	23376	24067	29909
<b>1971</b>	29547	19378	23815	20156	17419	18954	17396	12866	12289	18218	24603	44338	21582
<b>1972</b>	39517	56196	50654	35490	22779	19054	21417	18889	18328	41398	42114	46226	34339
<b>1973</b>	52073	52168	45513	46957	29920	24720	22673	17905	18464	25324	33873	42329	34326
<b>1974</b>	60045	43484	59743	53373	32692	28565	23219	18212	16494	19492	21090	34936	34279
<b>1975</b>	49373	45874	34166	32563	22152	17854	17656	14275	11869	22247	30289	43250	28464
<b>1976</b>	39392	45712	46153	36209	27931	32192	25493	25380	29139	30190	39562	57884	36270
<b>1977</b>	70453	68519	37710	42675	28019	24998	19447	15290	18399	18331	27264	49131	35020
<b>1978</b>	66453	44807	51342	33460	26961	26116	23373	18179	19163	18033	29595	44816	33525
<b>1979</b>	62701	85171	53456	37769	32875	25288	21856	21070	26974	24854	32071	41866	38829
<b>1980</b>	73088	87931	59376	50001	33645	27280	25939	20512	22146	21260	26480	52482	41678
<b>1981</b>	69152	45632	40580	37630	26272	24450	18840	16844	13897	25606	46139	61900	35579
<b>1982</b>	80431	68655	81231	59238	37621	38187	37464	26134	21722	32084	37571	59466	48317
<b>1983</b>	95161	114275	90796	71798	59455	79627	48468	32552	44862	50258	52856	70674	67565
<b>1984</b>	62120	45492	37391	40033	33163	23052	19413	19919	22162	20529	21898	42693	32322
<b>1985</b>	69325	67452	68325	49721	35227	26849	22547	18928	18239	17419	23057	30818	37326
<b>1986</b>	51087	47237	44705	30830	29704	21842	18542	21787	16911	15436	16700	40148	29578
<b>1987</b>	51038	56932	44822	38913	38444	33439	23470	17867	18336	20479	28411	47028	34932
<b>1988</b>	44886	54819	59610	41408	34149	31147	20786	17301	15046	19935	25180	32249	33043
<b>1989</b>	55842	58675	51777	34358	26840	22846	20745	25080	25965	19905	26742	60916	35808
<b>1990</b>	77632	39343	40946	33148	28600	22476	23976	21707	25522	26185	23853	24469	32321
<b>1991</b>	45706	62799	64623	65613	38281	28557	24106	19213	16721	25863	22156	34330	37331

APÊNDICE H – Energia Natural Afluente ao Sub-Sistema Sudeste – ENA Sudeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1992</b>	57593	82518	53058	48228	48776	33644	25563	21897	27393	33227	44875	52536	44109
<b>1994</b>	61750	49124	57825	41089	30604	27807	23685	18446	14770	15622	23203	35062	33249
<b>1995</b>	50564	81067	50029	45138	33229	24164	23204	16440	15164	25265	24372	32599	35103
<b>1996</b>	52871	39065	51663	34541	25223	20140	17613	15522	20524	21506	35106	44364	31512
<b>1997</b>	89762	70921	54556	42380	31035	38372	27465	20775	19884	24541	32853	49518	41839
<b>1998</b>	41669	51779	53225	43850	33897	25975	20388	22236	23001	33219	28094	38521	34655
<b>1999</b>	56577	48941	56885	32731	24996	23495	21775	15359	16324	13430	19172	29847	29961
<b>2000</b>	52939	64711	58967	36107	23790	20702	19205	18468	29546	18300	28206	43517	34538
<b>2001</b>	38656	38455	35844	27068	21731	19717	16789	14347	15195	21538	25162	38815	26110
<b>2002</b>	60408	67590	46560	29830	27695	20257	17667	16016	17010	12874	22032	33963	30992
<b>2003</b>	57523	59219	46232	40432	25704	21981	18858	15075	14572	15241	20837	32770	30704
<b>2004</b>	44771	67732	59478	45634	36148	32612	26983	18762	14741	21307	25475	39089	36061
<b>2005</b>	64727	56681	53815	35708	30010	27299	20808	16590	19264	22899	28178	55044	35919
<b>2006</b>	44859	46717	56284	47780	27887	22498	19871	16933	18084	25381	28065	55189	34129

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
<b>1931</b>	1	40,99	5,3	0	0	0	0,01	17,88	18,41	10,57	13,66	15,96	35,61	13,2
	2	40,99	0,01	0	0	0	0,01	17,88	17,69	10,57	13,66	15,96	35,61	12,7
	3	40,99	0,01	0	0	0	0,01	17,88	17,69	10,36	13,66	15,96	31,18	12,31
<b>1933</b>	1	40,23	90,22	210,55	191,33	238,63	288,43	260,82	278,6	303,85	288,09	298,84	258,73	229,03
	2	40,23	90,22	210,55	191,33	238,63	277,5	260,82	278,6	303,85	287,83	298,84	258,73	228,09
	3	40,23	90,22	210,55	191,33	238,63	277,5	260,82	278,6	303,85	272,44	298,84	258,73	226,81
<b>1934</b>	1	119,91	291,7	488,8	465,8	557,1	600,09	657,65	732,74	739,5	840,06	1122,38	848,7	622,04
	2	119,91	291,7	488,8	465,8	557,1	600,09	657,65	732,74	739,5	840,06	1122,38	848,7	622,04
	3	119,91	291,7	488,8	465,8	557,1	600,09	657,65	732,74	739,5	840,06	1122,38	848,7	622,04
<b>1935</b>	1	250,88	148,5	124,87	68,07	86,67	109,89	154,99	80,16	81,71	12,75	74,4	103,95	108,07
	2	250,88	109,05	124,87	68,07	86,67	109,89	130,87	77,38	80,65	12,75	74,4	103,95	102,45
	3	250,88	109,05	124,87	68,07	86,67	109,89	130,87	77,38	79,37	8,53	74,4	103,94	101,99
<b>1936</b>	1	188,56	371,4	230,85	232,63	213,7	229,73	270,56	204,21	207,23	429,05	248,47	204,43	252,57
	2	182,74	368,47	230,85	232,63	213,7	219,07	261,28	197,02	207,23	203,45	248,47	204,43	230,78
	3	182,73	368,47	230,85	232,63	213,7	219,07	261,28	197,02	207,23	203,45	248,47	204,43	230,78
<b>1937</b>	1	81,8	138,2	232,93	208,71	207,14	253,82	292,07	296,48	317,98	251,01	122,28	88,94	207,61
	2	81,8	138,2	232,93	208,71	207,14	225,7	261,04	291,5	311,29	251	122,28	88,94	201,71
	3	81,8	138,2	232,93	208,71	207,14	225,7	261,04	291,5	311,29	247,87	122,28	88,94	201,45
<b>1938</b>	1	14,75	83,8	182,36	204,27	170,94	168,5	152,74	147,99	155,23	185,63	205,72	172,12	153,67
	2	14,75	83,8	182,36	204,27	170,94	168,5	140,16	137,32	155,23	183,04	205,72	172,12	151,52
	3	14,75	83,8	182,36	204,27	170,94	154,53	140,16	137,32	144,7	170,57	205,72	172,12	148,44
<b>1939</b>	1	102,75	109,05	177,45	299,88	275,76	313,46	339,32	355,85	360,96	358,63	249,3	253,34	266,31
	2	102,75	109,05	177,45	299,88	275,76	306,27	334,79	324,68	356,85	358,63	249,3	253,34	262,4
	3	102,75	109,05	177,45	299,88	275,76	306,27	334,79	324,68	356,85	358,63	249,3	253,34	262,4
<b>1940</b>	1	429,05	28,97	6,62	0	95,6	131,22	155,48	153,92	170,48	198,06	122,04	134,25	135,48
	2	167,62	20,27	6,62	0	93,38	131,22	131,1	138,74	170,48	198,06	122,04	134,25	109,48
	3	167,62	20,26	6,62	0	93,37	131,22	131,1	138,74	152,67	191,48	122,04	134,25	107,45
<b>1941</b>	1	127,77	203,64	311,7	0	243,04	297	322,77	238,55	262,19	242,42	181,97	164,79	216,32
	2	127,77	203,64	311,7	0	243,04	286,08	296,24	207,64	228,39	205,4	181,97	164,79	204,72
	3	127,77	203,64	311,7	0	243,04	286,08	296,24	207,64	228,39	205,4	181,97	164,79	204,72
<b>1942</b>	1	118,61	109,12	59,18	63,49	67,45	57,49	71,71	84,54	99	76,13	93,99	64,5	80,43

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	118,61	109,12	59,18	36,95	0,01	57,49	67,95	81,32	99	76,13	93,99	64,5	72,02
	3	118,61	109,12	59,18	36,95	0,01	57,49	67,95	81,32	95,8	74,07	85,9	63,87	70,86
<b>1943</b>	1	1,35	0	0	0	103,3	94,98	110,57	90,07	81,71	88,7	67,17	67,8	58,8
	2	1,35	0	0	0	103,3	94,98	95,09	83,2	80,65	88,7	67,17	43,77	54,85
	3	1,35	0	0	0	103,3	94,98	95,09	83,2	79,37	74,07	57,78	43,77	52,74
<b>1944</b>	1	119,91	0	0	0,01	275,93	313,46	322,77	379,93	397,66	505,76	454,01	449,32	268,23
	2	119,91	0	0	0,01	275,93	306,27	296,24	337,16	341,86	505,76	435,04	449,32	255,62
	3	119,91	0	0	0,01	275,93	306,27	296,24	337,16	341,86	505,76	435,04	449,32	255,62
<b>1945</b>	1	199,15	5,02	0	0	0	0	100,6	127,28	131,9	167	135,39	77,99	78,69
	2	199,15	5,02	0	0	0	0	75,06	108,39	113,02	167	36,3	3,48	58,95
	3	199,15	5,02	0	0	0	0	75,06	108,39	113,02	146,18	30,86	0	56,47
<b>1946</b>	1	0	0	0	0	38,8	42,91	17,88	33,71	49,25	58,19	87,46	132,87	38,42
	2	0	0	0	0	38,8	42,91	17,88	33,45	49,25	58,19	87,46	132,86	38,4
	3	0	0	0	0	38,8	40,98	17,88	33,45	46,4	54,52	82,82	122,79	36,47
<b>1947</b>	1	201,27	123,45	0,01	0	0	48,48	60,46	42,6	21	21,77	25,67	1,86	45,55
	2	201,27	107,26	0,01	0	0	48,48	57,15	41,52	21	21,77	25,67	0	43,68
	3	201,27	107,26	0,01	0	0	45,19	57,15	41,52	21	21,77	17,68	0	42,74
<b>1948</b>	1	14,94	0	0	0	104,3	120,96	135,16	92,69	121,24	143,63	139,3	63,57	77,98
	2	14,94	0	0	0	104,3	110,89	123,97	88,8	114,06	143,63	139,3	62,36	75,19
	3	14,75	0	0	0	104,3	110,89	123,97	88,8	114,06	127,58	126,43	62,36	72,76
<b>1949</b>	1	0	0	0	0	138,54	189,14	207,72	223,81	204,17	269,34	203,09	267,12	141,91
	2	0	0	0	0	138,54	155	181,78	185,5	170,34	235,08	203,09	267,12	128,04
	3	0	0	0	0	138,54	155	181,78	185,5	170,34	235,08	203,09	267,12	128,04
<b>1950</b>	1	320,53	166,25	198,91	195,51	228,81	297,99	337,96	330,5	360,96	286,57	214,54	180,63	259,93
	2	309,55	166,25	198,91	192,78	228,81	287,83	333,48	327,21	356,85	286,57	214,54	180,63	256,95
	3	309,55	148,71	181,08	179,8	213,7	287,83	333,48	327,21	356,85	286,57	214,54	180,63	251,66
<b>1951</b>	1	122,54	58,46	44,34	0,01	90,71	124,77	153,91	180,62	201,29	182,87	255,16	280,23	141,24
	2	122,54	39,46	35,88	0,01	90,71	111,62	131,43	159,69	188,18	182,86	240,67	280,23	131,94
	3	122,54	39,45	35,87	0,01	90,71	111,62	131,43	159,69	188,18	169,53	240,67	280,23	130,83
<b>1952</b>	1	840	503,03	253,82	204,43	313,46	313,46	322,77	379,93	358,92	351,77	346,19	365,85	379,47
	2	840	485,84	209,62	204,43	285,72	306,27	296,24	337,16	319,7	306,07	293,82	334,87	351,64
	3	840	485,84	180,94	189,31	285,72	306,27	296,24	337,16	319,7	306,07	293,82	334,87	347,99
<b>1953</b>	1	385,52	840	840	682,01	951,06	841,94	963,8	1916,35	1192,52	840,04	840	595,14	907,37

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	385,52	840	840	682,01	951,06	841,94	963,8	1916,35	1192,52	840,04	840	595,14	907,37
	3	385,52	840	840	682,01	951,06	841,94	963,8	1916,35	1192,52	840,04	840	595,14	907,37
<b>1954</b>	1	297,33	298,02	550,54	507,61	296,51	275,79	429,05	544,68	622,39	571,29	627,18	543,85	463,69
	2	297,33	298,02	550,54	507,61	296,51	266,83	428,34	544,68	622,39	571,29	627,18	514,58	460,44
	3	297,33	298,02	550,54	507,61	296,51	266,83	428,34	533,3	622,39	571,29	627,18	514,58	459,49
<b>1955</b>	1	840	578,2	840	864,88	1104,27	857,78	840	925,5	943,38	1155,03	1052,28	840	903,44
	2	840	578,2	840	864,88	1104,27	857,78	840	925,5	943,38	1155,03	1052,28	840	903,44
	3	840	578,2	840	864,88	1104,27	857,78	840	925,5	943,38	1155,02	1052,28	840	903,44
<b>1956</b>	1	328,06	705	748,31	686,29	468,45	370,84	354,54	227,48	274,41	492,29	346,73	241,01	436,95
	2	307,9	705	748,31	686,29	468,45	361,41	350,64	224,65	274,41	362,35	346,73	241,01	423,1
	3	307,9	705	748,31	686,29	468,45	361,41	350,64	224,65	274,41	362,35	346,73	241,01	423,1
<b>1957</b>	1	51,66	0	0	0	0	0	6,23	1,69	1,49	1,04	0,44	0	5,21
	2	51,66	0	0	0	0	0	6,23	1,08	1,49	1,04	0,44	0	5,16
	3	51,66	0	0	0	0	0	6,23	1,07	1,01	1,04	0,44	0	5,12
<b>1958</b>	1	141,93	0	0	92,8	88,08	71,71	108,7	92,69	71,27	76,95	89,45	142,47	81,34
	2	116,06	0	0	92,8	88,08	71,71	93,76	88,8	71,27	76,95	89,45	142,47	77,61
	3	116,06	0	0	92,8	88,08	71,71	93,76	88,8	71,24	76,95	89,45	141,35	77,52
<b>1959</b>	1	68,11	141,25	156,11	150,03	184,19	213,73	252	229,98	237,99	263	249,15	365,85	209,28
	2	68,11	141,25	156,11	150,03	184,19	212,41	252	229,98	237,99	262,99	249,15	365,85	209,17
	3	68,11	141,25	156,11	150,03	184,19	212,41	252	229,98	237,99	262,99	249,15	365,85	209,17
<b>1960</b>	1	328,07	206,79	0	0	176,96	222,23	209,83	179,86	197,12	239,42	189,04	172,12	176,79
	2	328,07	138,2	0	0	176,96	188,06	183,08	165,47	176,08	213,65	189,04	172,12	160,9
	3	328,07	138,2	0	0	176,96	188,06	183,08	165,47	176,08	213,65	181,79	162,71	159,51
<b>1961</b>	1	0	0	0	0,01	21,45	57,1	87,11	106,12	83,32	109,95	81,92	173,37	60,03
	2	0	0	0	0,01	0,01	57,1	81,83	100,77	82,03	109,95	81,92	173,36	57,25
	3	0	0	0	0,01	0,01	53,68	81,83	100,77	82,03	109,95	81,92	164,42	56,22
<b>1962</b>	1	268,22	155,73	171,1	202,51	245,6	286,72	337,99	310,41	303,84	236,35	249,16	168,38	244,67
	2	268,22	131,77	163,19	202,51	245,6	279,59	333,5	304,63	303,84	236,35	249,16	168,38	240,56
	3	268,22	131,77	163,19	187,35	245,6	279,59	333,5	304,63	303,84	236,35	249,16	168,38	239,3
<b>1963</b>	1	27,54	0	102,2	180,52	275,76	313,46	339,32	304,63	340,67	308,05	492,29	526,77	267,6
	2	27,54	0	102,2	180,52	275,76	306,27	334,79	304,63	340,67	308,05	284,09	526,77	249,27
	3	27,54	0	102,2	180,52	275,76	306,27	334,79	304,63	340,67	308,05	284,09	526,77	249,27
<b>1964</b>	1	840	147,39	188,6	356,69	468,45	558,2	469,93	481,11	488,32	453,49	348,4	329,85	427,53

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	840	147,39	188,6	356,69	468,45	558,2	469,93	481,11	488,32	403,88	332,72	329,85	422,09
	3	840	5,02	188,6	356,69	468,45	558,2	469,93	481,11	488,32	403,88	332,72	329,85	410,23
<b>1965</b>	1	117,08	8,97	0	0	3,02	43,06	25,13	14,38	28,6	4,3	0	0	20,38
	2	107,08	8,97	0	0	0,01	43,06	24,85	14,22	28,6	4,3	0	0	19,26
	3	98,08	6,87	0	0	0,01	43,06	24,85	14,22	28,6	4,3	0	0	18,33
<b>1966</b>	1	18,83	0	0	0	36,7	64,09	78,91	80,16	58,39	63,38	26,78	44,04	39,27
	2	0,01	0	0	0	0,01	64,09	74,53	77,38	58,39	63,38	26,78	44,04	34,05
	3	0,01	0	0	0	0,01	60,49	74,53	77,38	55,69	63,38	26,78	44,04	33,52
<b>1967</b>	1	6,25	7,35	0	0	85,59	100,13	115,91	106,12	99,53	145,47	121,07	97,13	73,71
	2	6,25	5,06	0	0	81,25	91,91	107,08	100,77	96,52	137,55	121,07	96,21	70,31
	3	6,25	5,05	0	0	81,24	91,91	107,08	100,77	96,52	129,11	117,89	96,21	69,34
<b>1968</b>	1	101,29	206,28	200,25	0	275,93	313,46	306,38	280,67	340,15	363,74	298,84	241,01	244
	2	101,29	152,56	22,27	0	275,93	306,27	270,22	237,41	293,11	310,76	291,79	241,01	208,55
	3	101,29	152,56	22,27	0	275,93	306,27	270,22	237,41	293,11	310,76	291,79	241,01	208,55
<b>1969</b>	1	380,23	353,69	488,8	507,61	697,16	568,07	577,93	615,33	680,83	682,42	252,22	282,1	507,2
	2	380,23	353,69	488,8	507,61	697,16	568,07	577,93	615,33	680,83	682,42	248,65	282,1	506,9
	3	380,23	353,69	429,05	503,03	697,16	568,07	577,93	615,33	680,83	682,42	248,65	282,1	501,54
<b>1970</b>	1	64,72	29,51	0	158	176,42	193,69	144,02	195,29	180,62	135,35	151,04	241,4	139,17
	2	64,72	29,51	0	158	176,42	179,02	131,88	184,47	177,45	135,35	151,04	220,43	134,03
	3	64,72	29,51	0	158	176,42	179,02	131,88	184,47	170,4	126,97	138,76	220,43	131,72
<b>1971</b>	1	531,94	840	840	863,49	840	840	840	834,35	840,01	840	705	324,13	761,58
	2	531,94	840	840	863,49	840	840	840	834,35	840,01	840	705	287,83	758,55
	3	531,94	840	840	863,49	779,64	840	840	834,34	840,01	840	705	284,41	753,24
<b>1972</b>	1	249,95	169,04	144,94	155,88	241,69	256,61	196,25	152,79	133,94	26,72	50,04	74,9	154,4
	2	249,95	149,26	128,66	155,88	241,69	253,14	195,95	152,79	133,94	26,72	50,04	70,16	150,68
	3	249,95	149,26	128,66	155,88	241,69	253,14	195,95	152,79	133,93	23,09	50,04	70,16	150,38
<b>1973</b>	1	42,35	32,59	84,42	0	52,4	74,24	65,35	57,69	59,2	26,57	1,68	0	41,37
	2	0,01	0,01	16,26	0	0,01	74,24	63,44	57,68	59,2	26,57	1,68	0	24,93
	3	0,01	0,01	16,26	0	0,01	69,31	63,44	56,09	58,2	23,12	0,44	0	23,91
<b>1974</b>	1	22,45	58,8	0,01	0	0,01	31,63	49,63	51,12	58,93	85,65	113,65	131,66	50,29
	2	0,01	0,01	0,01	0	0,01	31,63	47,52	49,86	58,93	85,65	113,65	131,66	43,24
	3	0,01	0,01	0,01	0	0,01	31,63	47,52	49,86	56,97	76,55	110,6	127,55	41,73
<b>1975</b>	1	191,65	252,61	344,63	299,88	359,39	428,44	353,69	358,33	381,86	470,73	201,39	168,28	317,57

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	191,65	234,58	344,63	299,88	359,39	420,57	353,69	358,33	381,86	259,73	201,39	168,28	297,83
	3	191,65	234,58	344,63	299,88	359,39	420,57	353,69	358,33	381,86	259,73	201,39	168,28	297,83
<b>1976</b>	1	287,83	429,05	429,05	429,05	429,05	139,83	136,7	44,32	46,55	22,5	16,8	23,55	202,86
	2	198,38	199,19	213,31	198,44	189,86	139,83	136,7	44,32	46,55	22,5	16,8	23,55	119,12
	3	198,38	199,19	213,31	198,43	189,86	139,83	136,7	44	45,78	21,93	16,8	13,94	118,18
<b>1977</b>	1	0,01	0	77,42	47,35	88,08	91,91	125,24	106,12	118,87	98,44	88,11	76,4	76,49
	2	0,01	0	77,42	24,82	88,08	91,91	116,62	100,77	118,87	98,44	88,11	76,4	73,45
	3	0,01	0	77,42	24,81	88,08	91,91	116,62	100,77	114,06	96,21	88,11	66,43	72,04
<b>1978</b>	1	2,38	90,23	0	0	120,01	109,89	78,91	69,47	71,54	126,68	87,13	70,16	68,87
	2	2,38	90,23	0	0	120,01	109,89	74,53	67,17	71,54	126,68	87,13	70,16	68,31
	3	2,38	90,23	0	0	120,01	109,89	74,53	67,17	71,43	108,68	82,88	70,16	66,45
<b>1979</b>	1	10,47	0	0	0	0,01	78,69	60,14	26,01	15,17	5,25	0	0	16,31
	2	10,47	0	0	0	0,01	78,69	56,83	26,01	15,17	5,25	0	0	16,04
	3	10,47	0	0	0	0,01	70,86	56,83	26,01	13,55	5,25	0	0	15,25
<b>1980</b>	1	0	0	0	0	0,01	46,82	19,2	8	5,12	9,2	11,07	0	8,29
	2	0	0	0	0	0,01	46,82	19,2	7,44	5,12	9,2	11,07	0	8,24
	3	0	0	0	0	0,01	45,19	19,2	7,44	5,05	8,37	11,07	0	8,03
<b>1981</b>	1	0	0	0	0	103,22	112,54	130,54	108,86	130,35	85,65	0	0	55,93
	2	0	0	0	0	103,22	99,4	116,66	100,45	117,11	85,65	0	0	51,87
	3	0	0	0	0	103,22	99,4	116,66	100,45	117,11	76,55	0	0	51,12
<b>1982</b>	1	0	0	0	0	0	0	0,01	1,69	1,49	0,08	0	0	0,27
	2	0	0	0	0	0	0	0,01	1,08	1,49	0,08	0	0	0,22
	3	0	0	0	0	0	0	0,01	1,07	1,01	0,08	0	0	0,18
<b>1983</b>	1	0	0	0	0	0	0	0,01	0,92	1,49	0,08	0	0	0,21
	2	0	0	0	0	0	0	0,01	0,92	1,49	0,08	0	0	0,21
	3	0	0	0	0	0	0	0,01	0,92	0,79	0,08	0	0	0,15
<b>1984</b>	1	0	0	156,79	0	52,4	92,53	107,99	41,75	37,53	42,89	54,2	29,29	51,28
	2	0	0	156,79	0	0,01	86,46	100,05	40,79	37,53	42,89	54,2	29,29	45,67
	3	0	0	156,79	0	0,01	86,46	100,05	40,79	35,79	42,89	51,48	29,29	45,3
<b>1985</b>	1	0,85	0	0	0	0,01	57,46	71,71	51,7	56,84	88,6	96,69	148,29	47,68
	2	0,01	0	0	0	0,01	57,46	67,95	51,16	56,84	88,6	96,69	131,51	45,85
	3	0,01	0	0	0	0,01	57,46	67,95	51,16	56,84	73,98	86,29	131,51	43,77
<b>1986</b>	1	0,54	0	0	232,71	185,85	257,64	250,77	147,99	166,01	223,97	249,14	224,05	161,55

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	0,54	0	0	232,71	185,85	230,66	244,03	137,32	166,01	220,28	249,14	224,05	157,55
	3	0,54	0	0	232,71	185,85	230,66	244,03	137,32	149,19	220,28	230,41	224,05	154,59
<b>1987</b>	1	204,43	184,77	246,51	153,24	55,25	77,53	90,79	96,1	118,79	429,05	470,73	76,4	183,63
	2	167,95	184,77	246,51	153,24	53,94	77,53	90,79	96,1	118,79	287,83	470,73	66,43	167,88
	3	167,94	184,77	246,51	153,24	53,94	72,42	90,79	96,1	118,79	287,83	470,73	66,43	167,46
<b>1988</b>	1	84,69	141,25	95,41	84,15	45,45	58,72	87,11	92,69	101,09	114,99	122,36	160,66	99,05
	2	84,69	141,25	95,41	84,15	0,01	58,72	81,83	88,8	101,09	114,99	122,36	160,66	94,5
	3	84,69	141,25	95,41	84,14	0,01	58,72	81,83	88,8	98,6	112,24	119,16	160,66	93,79
<b>1989</b>	1	137,41	127,87	130,37	154,8	169,36	213,74	179,37	70,17	59,2	81,98	73,25	0	116,46
	2	137,41	127,87	130,37	154,8	169,36	213,74	179,37	70,17	59,2	81,98	73,25	0	116,46
	3	137,41	127,87	130,36	154,8	169,36	213,74	179,37	70,17	58,2	81,98	68,45	0	115,98
<b>1990</b>	1	0	0	0,01	106,88	90,9	120,85	65,35	33,69	28,6	21,43	50,04	123,35	53,42
	2	0	0	0,01	106,88	0,01	120,85	63,44	32,91	28,6	21,43	50,04	123,35	45,63
	3	0	0	0,01	106,88	0,01	110,92	63,44	32,91	26,77	15,54	43,85	123,35	43,64
<b>1991</b>	1	147,06	31,09	58,15	0,01	20,72	46,82	71,71	51,12	70,87	51,49	100,5	103,33	62,74
	2	147,06	31,09	0,01	0,01	0,01	46,82	67,95	51,12	70,87	51,49	100,5	103,33	55,85
	3	147,06	31,09	0,01	0,01	0,01	45,19	67,95	49,87	70,85	51,49	93,36	103,33	55,02
<b>1992</b>	1	81,37	0	0	0	2,4	17,2	27,04	9,73	5,12	1,06	0	0	11,99
	2	81,37	0	0	0	0,01	0,01	25,94	9,22	5,12	1,06	0	0	10,23
	3	79,44	0	0	0	0,01	0,01	25,94	9,21	5,05	1,06	0	0	10,06
<b>1993</b>	1	0	0	0	47,35	59,99	53,68	65,36	48,08	46,55	21,43	73,25	76,72	41,03
	2	0	0	0	0,01	0,01	53,68	63,44	48,08	45,78	21,43	73,25	63,71	30,78
	3	0	0	0	0,01	0,01	53,68	63,44	47,67	45,78	15,54	68,45	63,71	29,86
<b>1994</b>	1	27,45	48,54	34,92	0	52,4	58,72	42,66	50,88	70,87	95,46	81,92	96,72	55,05
	2	27,45	29,96	0,01	0	0,01	58,72	42,43	49,43	70,87	95,46	81,92	95,96	46,02
	3	27,45	29,95	0,01	0	0,01	58,72	42,43	49,43	70,85	95,46	81,92	95,96	46,02
<b>1995</b>	1	117,39	5,3	48,03	43,47	64,23	91,91	78,91	106,18	120,65	77,2	121,07	131,21	83,8
	2	107,77	2,92	27,44	0,01	55,79	91,91	74,53	102,14	120,65	77,2	121,07	129	75,87
	3	107,76	2,91	27,43	0,01	55,79	91,91	74,53	102,14	115,46	77,2	121,07	129	75,43
<b>1996</b>	1	95,96	219,89	184,54	175,76	220,77	240,27	221,21	227,48	192,38	152,73	73,38	96,72	175,09
	2	95,96	219,81	184,54	175,76	220,77	240,27	221,21	224,65	192,38	152,73	73,38	95,96	174,78
	3	95,96	219,8	184,54	175,76	220,77	240,27	221,21	224,65	192,38	143,67	70,16	95,96	173,76
<b>1997</b>	1	0	2,75	0	0	47,07	19,35	18,68	9,73	17,91	4,92	8,56	0	10,75

APÊNDICE I – Custo Marginal de Operação para o Sub-Sistema Nordeste (R\$/MWh).

Ano	Pat	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
	2	0	0,01	0	0	45,56	0,01	18,49	9,22	17,91	4,92	8,56	0	8,72
	3	0	0,01	0	0	45,55	0,01	18,48	9,22	17,91	4,92	8,56	0	8,72
<b>1998</b>	1	66,14	52,31	58,91	63,36	74,32	105,45	134,08	52,13	59,2	21,43	50,04	76,4	67,81
	2	13,2	0,01	0,01	0,01	0,01	105,45	126,7	52,13	59,2	21,43	50,04	66,43	41,22
	3	13,19	0,01	0,01	0,01	0,01	97,85	126,7	52,13	58,2	15,54	43,85	66,43	39,49
<b>1999</b>	1	64,34	98,29	89,37	146,12	173,28	174,38	117,98	170,91	180,65	470,73	204,17	184,28	172,87
	2	13,06	62,74	80,65	146,12	173,28	174,38	117,54	170,91	180,65	233,67	204,17	184,28	145,12
	3	13,06	62,74	0,01	146,12	173,28	168,5	117,54	170,91	180,65	233,67	204,17	184,28	137,91
<b>2000</b>	1	185,89	98,6	68,34	124,24	178,68	229,25	206,24	167,41	85,83	203,55	111,09	85,23	145,36
	2	185,89	98,6	68,34	124,24	178,68	222,89	201,75	164,48	85,82	188,15	111,09	85,23	142,93
	3	185,89	98,6	68,34	124,24	178,68	222,89	201,75	164,48	84,98	144,2	111,09	85,23	139,2
<b>2001</b>	1	131,72	165,33	236,77	429,05	429,05	260,54	261,4	279,31	300,17	470,73	470,73	173,19	300,67
	2	131,72	165,33	236,77	266,28	263,82	260,54	261,4	279,31	276,37	188,15	220,72	173,19	226,97
	3	131,72	165,33	236,77	266,27	263,82	260,54	261,4	279,31	276,37	174,67	220,72	173,19	225,84
<b>2002</b>	1	12,42	7,45	77,42	150,03	135,08	195,53	206,78	172,29	165,17	180,85	492,29	429,05	185,36
	2	12,42	4,93	75,37	150,03	135,08	185,15	206,78	160,39	165,17	180,85	188,15	429,05	157,78
	3	12,42	4,93	75,37	150,03	135,08	185,15	206,78	160,39	165,17	180,85	158,88	429,05	155,34
<b>2003</b>	1	81,81	77,18	130,37	103,79	156,96	184,68	206,78	227,79	257,05	492,29	492,29	492,29	241,94
	2	81,81	74,91	130,37	103,79	156,96	184,68	206,78	227,79	257,05	305,31	269,24	243,5	186,85
	3	81,81	74,9	130,36	103,79	156,96	178,88	206,78	227,79	257,05	305,31	269,24	243,5	186,36
<b>2004</b>	1	287,83	121,01	72,36	68,07	47,07	73,17	49,63	81,41	99,53	98,44	88,11	121,72	100,69
	2	273,41	109,64	72,36	68,07	47,07	73,17	47,52	77,38	99,53	98,44	88,11	121,72	98,03
	3	273,41	109,64	72,36	68,07	47,07	68,26	47,52	77,38	96,52	96,21	88,11	121,72	97,19
<b>2005</b>	1	63,62	94,13	106,73	101,43	80,77	87,28	115,91	106,12	85,83	73,66	56,58	23,55	82,97
	2	63,62	91,69	106,73	101,43	79,16	87,28	107,08	100,77	85,82	73,66	56,58	13,94	80,65
	3	63,62	91,69	106,73	101,43	79,15	87,28	107,08	100,77	84,98	68,28	52,43	13,94	79,78
<b>2006</b>	1	96,35	143,97	131,17	61,57	88,08	137,65	157,75	154,11	154,29	117,18	113,85	76,4	119,36
	2	96,35	143,97	0,01	0,01	88,08	137,65	157,7	152,04	154,29	117,18	111,73	66,43	102,12
	3	96,35	143,97	0,01	0,01	88,08	137,65	157,7	152,04	143,21	112,58	110,97	66,43	100,75

APÊNDICE J – Energia Natural Afluyente ao Sub-Sistema Nordeste – ENA Nordeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1931</b>	14198	13141	18868	20907	14302	7195	5569	4834	4247	4022	5895	6301	9957
<b>1933</b>	14901	16818	10254	8549	5965	4064	3776	3280	2762	3242	5510	9927	7421
<b>1934</b>	17809	13986	8220	5170	5407	3648	3081	2785	3035	3007	2929	4816	6158
<b>1935</b>	12781	16782	17153	13491	12460	6126	4762	3772	3175	3134	3661	6920	8685
<b>1936</b>	8414	8017	12097	8873	6584	4042	3351	2869	2587	2911	4472	7899	6010
<b>1937</b>	13381	16583	13562	9772	7273	4475	3749	3146	2738	2703	6573	13862	8151
<b>1938</b>	17906	13375	11666	7308	5091	4238	3494	3066	2867	2707	4041	8843	7050
<b>1939</b>	15046	17052	15616	6482	4796	3798	3288	3115	2870	3726	3172	5030	6999
<b>1940</b>	9338	14411	19938	14497	6253	4474	3586	3215	2634	2833	5807	12243	8269
<b>1941</b>	14281	14095	14614	14617	9252	5115	4280	3875	3094	3310	4942	7127	8217
<b>1942</b>	13882	14075	15254	10893	7058	4692	3932	3432	3122	4005	6659	16783	8649
<b>1943</b>	18890	26629	25096	16163	9018	6373	5358	4560	3926	4048	6561	16578	11933
<b>1944</b>	18790	15109	15004	11697	7839	5280	4459	3893	3362	2969	5055	12074	8794
<b>1945</b>	18554	20891	23900	22988	26032	13223	8012	6455	5249	5707	9626	17288	14827
<b>1946</b>	21034	30765	13984	16333	11290	7532	6103	5277	4502	4579	6194	11341	11578
<b>1947</b>	11030	14758	17976	23047	14118	7209	5838	4927	4730	4421	9528	13878	10955
<b>1948</b>	18319	13804	16551	12606	6810	5610	4938	4185	3673	3808	4409	15973	9224
<b>1949</b>	22713	27767	37313	23030	10789	7941	6525	5505	4720	4384	8685	9550	14077
<b>1950</b>	13729	13441	10743	11685	8265	5286	4566	3973	3293	3755	6116	12191	8087
<b>1951</b>	12867	12129	14066	14438	8143	5635	4510	3847	3329	3056	2882	4534	7453
<b>1952</b>	9706	13391	17577	20616	10667	5958	4837	3975	3512	3457	4873	11045	9134
<b>1953</b>	11717	5353	7775	11177	6164	3980	3359	2941	2620	3207	4496	9454	6020
<b>1954</b>	13984	8229	9145	7826	4421	3735	2976	2653	2195	1976	2901	10383	5869
<b>1955</b>	7940	12181	6743	7692	4681	3227	2764	2411	2070	1992	5978	10106	5649
<b>1956</b>	15768	7726	13171	8768	5180	4953	4144	3232	2746	2500	4296	11677	7013
<b>1957</b>	18052	21096	23166	24804	18855	8841	6294	5056	4192	4555	4239	12274	12619
<b>1958</b>	11768	15433	11059	9568	7528	5155	4329	4330	3377	4415	5854	5030	7321
<b>1959</b>	11041	11347	10152	8781	4209	3434	3114	2768	2487	2529	4825	7853	6045
<b>1960</b>	10547	17347	27020	21455	8015	5585	4344	3657	3045	2718	3305	11775	9901
<b>1961</b>	16781	22524	19083	11038	6981	5294	4288	3597	3021	2624	3141	4512	8574
<b>1962</b>	10264	15798	13195	10131	6054	4455	3766	3111	2504	3253	5569	8754	7238
<b>1963</b>	16141	19353	11213	5199	4346	3350	2959	2690	2381	2132	2696	4072	6378

APÊNDICE J – Energia Natural Afluyente ao Sub-Sistema Nordeste – ENA Nordeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1964</b>	12624	24163	17390	8872	5267	3646	3125	2885	2297	2674	7931	12581	8621
<b>1965</b>	15283	14700	15877	17976	9112	5647	4550	3895	3220	3984	7741	12050	9503
<b>1966</b>	12351	17903	19434	14389	7966	5775	4671	4101	3533	3513	5388	7728	8896
<b>1967</b>	14821	13724	12959	13126	8225	4649	3950	3416	2938	2701	4644	12315	8122
<b>1968</b>	16105	14634	20575	16153	7382	5008	4338	3920	3737	3766	5646	13000	9522
<b>1969</b>	9896	12430	13382	8034	5197	3911	3422	3033	2569	2657	6674	15211	7201
<b>1970</b>	18490	18757	15105	7996	6109	4405	3910	3405	3180	4660	8654	8833	8625
<b>1971</b>	5285	4484	5318	5191	3837	2820	2635	2274	2270	3248	7611	18126	5258
<b>1972</b>	15692	8467	9982	8887	5883	3842	3363	3177	2617	3881	5699	12027	6960
<b>1973</b>	13539	11170	10961	13743	6645	4443	3781	3071	2523	3859	9408	13128	8023
<b>1974</b>	13725	10803	12710	18238	10286	5429	4210	3716	3278	3256	5687	7526	8239
<b>1975</b>	12663	12206	8444	7472	6349	3799	3806	2984	2465	2874	6878	8376	6526
<b>1976</b>	6173	6029	6370	5460	3164	3066	2453	2284	2678	4508	6511	13707	5200
<b>1977</b>	15205	18122	7060	6806	6102	4120	3528	2867	2707	3589	4186	8423	6893
<b>1978</b>	16929	16557	20546	12569	8524	6836	4680	4473	3617	4453	6168	11209	9713
<b>1979</b>	18679	29219	46263	23469	11406	8310	6767	5886	5847	6023	9576	9916	15113
<b>1980</b>	18671	30848	32700	13982	10929	7143	6598	5624	5000	5324	6754	13811	13115
<b>1981</b>	17470	15451	14692	18992	8929	6246	5083	4539	4200	5387	12745	18114	10988
<b>1982</b>	21319	23348	22243	20870	12373	8065	6341	5356	4896	5023	5054	5512	11700
<b>1983</b>	14544	22732	28112	21226	13946	8058	6279	5693	4481	5852	11186	17553	13305
<b>1984</b>	19167	9654	8414	12400	6293	4346	3838	3451	4158	4392	5447	11232	7733
<b>1985</b>	18727	24752	21983	21965	9880	6121	4883	4385	4200	5410	6864	11320	11707
<b>1986</b>	18701	22655	15491	7591	5622	4205	3897	3834	3625	3209	3642	5640	8176
<b>1987</b>	9598	7962	8144	9085	5539	3672	3363	2696	2639	2980	4388	10625	5891
<b>1988</b>	16141	10810	13556	10338	6424	3853	3276	3278	3139	3225	5095	8106	7270
<b>1989</b>	11195	7803	9401	5939	4155	3230	3181	2959	2770	3007	5410	19767	6568
<b>1990</b>	27718	12508	9638	6594	4207	3310	3428	3144	3174	3499	4322	5001	7212
<b>1991</b>	10334	15683	14325	15610	7749	4717	3784	3446	3220	4096	6132	9609	8225
<b>1992</b>	15360	30396	39119	13242	8631	5688	4594	4209	4248	5665	12736	16383	13356
<b>1993</b>	17791	13783	12491	7935	5700	4355	3802	3655	3260	3810	3973	5890	7204
<b>1994</b>	15124	14573	14984	15299	6863	4928	4192	3423	3418	2709	3141	9214	8156
<b>1995</b>	8995	8998	9318	8440	5572	4258	3320	2932	2342	2785	5174	9742	5990

APÊNDICE J – Energia Natural Afluyente ao Sub-Sistema Nordeste – ENA Nordeste (MWmédios).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1996</b>	13819	7085	6506	5741	4021	3151	2642	2092	2043	2473	5139	10202	5410
<b>1997</b>	17776	14937	13840	13652	7927	5289	4066	3662	3224	3343	3895	9324	8411
<b>1998</b>	10463	9881	9543	4840	3623	2876	2507	2306	2055	2110	5883	9765	5488
<b>1999</b>	9335	5667	11759	7634	3924	2788	2384	2086	2338	1877	4841	10248	5407
<b>2000</b>	13185	15124	13560	11076	5526	3708	2925	3001	2778	2467	5360	11476	7515
<b>2001</b>	10315	5356	5355	4025	2636	2553	2069	1921	2032	2322	3617	6494	4058
<b>2002</b>	16450	14610	10668	6907	3316	2687	2555	2007	1600	2082	2840	5379	5925
<b>2003</b>	12307	13180	8016	7898	4147	3009	2643	2262	2063	1523	2508	4817	5365
<b>2004</b>	9785	14878	20164	15952	8506	4505	3900	3027	2641	2597	3196	5400	7879
<b>2005</b>	11840	14910	14566	12387	6692	4404	3544	2944	2881	2730	4083	13041	7835
<b>2006</b>	12968	6989	10602	13306	7025	3914	3241	3031	2912	3938	8496	12072	7374

APÊNDICE K – Série de Vazões Naturais em Queimado (m<sup>3</sup>/s) (ONS, 2008).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	50	115	153	48	42	39	37	34	31	40	58	53
1932	116	69	51	39	34	29	26	23	27	42	61	46
1933	90	31	90	43	27	28	25	24	22	34	77	81
1934	41	51	38	39	28	23	21	19	21	21	32	75
1935	64	93	119	91	41	40	37	38	32	46	76	94
1936	51	94	89	60	37	34	32	30	26	31	46	65
1937	63	60	57	57	38	29	25	24	21	44	59	83
1938	39	46	72	25	24	24	21	19	17	27	36	117
1939	84	89	49	38	32	33	31	25	31	34	44	39
1940	157	146	105	52	47	43	41	39	41	48	77	95
1941	80	42	87	79	34	33	38	29	36	54	58	82
1942	99	126	51	70	40	38	35	31	52	34	90	182
1943	206	95	193	94	66	64	59	52	47	63	126	132
1944	57	122	100	65	46	47	39	35	31	40	52	161
1945	148	141	229	177	72	71	68	62	58	90	107	144
1946	146	85	122	65	62	49	48	40	38	36	52	62
1947	92	86	151	68	42	40	38	47	40	70	111	142
1948	62	65	135	52	44	44	40	34	35	41	67	234
1949	103	145	68	112	74	53	50	45	40	55	69	69
1950	82	79	96	54	35	34	31	28	31	44	41	61
1951	54	38	98	40	32	26	24	22	21	24	25	53
1952	48	46	93	35	21	22	21	20	24	22	67	85
1953	52	70	97	73	32	33	32	30	35	35	68	166
1954	82	122	73	47	46	42	37	33	30	24	68	94
1955	143	70	58	88	37	38	35	32	29	59	64	100
1956	52	81	87	40	52	37	32	28	26	40	89	139
1957	162	176	190	126	74	60	52	45	40	41	51	96
1958	74	107	75	88	59	49	45	38	35	40	33	53
1959	119	61	68	47	37	33	29	23	19	28	69	53
1960	67	62	89	54	44	36	30	25	21	22	43	68
1961	99	87	68	45	45	35	30	25	20	20	21	50
1962	70	95	89	49	42	33	29	24	23	37	44	121
1963	86	87	52	45	37	32	27	23	18	25	32	33
1964	104	87	62	47	41	28	31	25	26	36	61	54
1965	91	67	89	126	35	39	37	25	22	33	51	49
1966	94	126	77	63	52	42	36	30	25	31	37	65
1967	58	67	79	61	45	36	30	24	21	19	40	73
1968	45	102	85	60	44	37	32	28	25	24	46	65
1969	42	64	67	41	35	27	23	19	16	22	75	109
1970	138	79	100	67	50	41	36	31	31	39	50	42
1971	32	30	34	27	20	16	14	12	11	27	58	130
1972	53	50	50	59	38	31	27	22	18	27	72	96
1973	67	57	76	62	41	35	30	25	22	49	97	81
1974	62	46	117	101	70	54	44	39	30	34	32	38
1975	68	45	36	73	41	33	28	22	18	22	34	26

APÊNDICE K – Série de Vazões Naturais em Queimado (m<sup>3</sup>/s) (ONS, 2008).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>1976</b>	29	40	52	37	28	22	18	15	15	15	36	87
<b>1977</b>	98	91	55	61	45	37	30	24	21	24	26	53
<b>1978</b>	109	90	117	111	70	62	50	41	34	39	41	71
<b>1979</b>	183	204	134	111	79	68	58	49	45	42	58	57
<b>1980</b>	142	201	112	114	83	68	58	49	45	36	48	84
<b>1981</b>	94	64	84	105	66	55	44	37	30	43	100	90
<b>1982</b>	174	113	170	133	94	78	64	56	49	49	43	52
<b>1983</b>	146	164	130	103	80	66	56	46	32	39	82	93
<b>1984</b>	80	65	65	105	57	46	38	35	37	35	29	46
<b>1985</b>	71	58	93	80	56	44	39	33	29	34	44	70
<b>1986</b>	107	79	64	48	42	33	29	26	22	25	20	28
<b>1987</b>	34	46	58	47	47	36	26	21	18	20	32	83
<b>1988</b>	74	93	105	86	63	50	42	36	29	37	48	68
<b>1989</b>	71	71	70	46	35	32	26	22	20	22	70	207
<b>1990</b>	83	54	49	37	37	30	28	23	23	34	33	33
<b>1991</b>	43	74	118	109	67	54	44	34	28	31	59	157
<b>1992</b>	214	294	120	103	80	63	54	47	44	49	100	105
<b>1993</b>	84	121	83	81	56	47	38	32	28	27	27	57
<b>1994</b>	77	51	151	86	63	52	45	36	29	23	38	69
<b>1995</b>	74	74	55	65	50	36	30	23	19	20	47	71
<b>1996</b>	51	39	55	40	41	28	23	21	18	23	34	37
<b>1997</b>	52	40	58	74	52	42	34	28	24	23	31	47
<b>1998</b>	38	56	42	33	27	23	19	15	12	17	54	73
<b>1999</b>	52	38	71	36	29	24	21	17	15	18	27	53
<b>2000</b>	64	72	90	56	42	34	29	22	25	17	35	72
<b>2001</b>	52	36	55	35	27	22	17	14	13	16	45	46
<b>2002</b>	61	62	48	41	29	24	20	15	14	9	18	37
<b>2003</b>	52	41	54	57	37	27	21	19	19	15	21	25
<b>2004</b>	78	167	126	115	76	59	47	43	37	35	38	55
<b>2005</b>	53	82	129	79	59	45	42	35	30	22	44	112
<b>2006</b>	72	67	97	94	62	50	44	36	33	48	54	81