

# USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUARIBAS (ESTADO DO PIAUÍ)

Marcos Airton de Sousa Freitas<sup>1</sup>

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho consistiu na elaboração de uma estratégia operacional para o aproveitamento múltiplo das águas da Barragem de Bocaina, principal fonte hídrica superficial da região, sobre diferentes cenários hidrológicos, visando reduzir os crescentes conflitos de uso da água existentes. Esse estudo apresenta uma descrição sucinta do problema e justificativa, mostrando a necessidade do estabelecimento de regras de operação para a Barragem de Bocaina. Para tanto, foi feito um levantamento constando de análise climatológica e de demandas (abastecimento urbano, dessedentação animal e irrigação). Foram aplicados o modelo chuva-vazão CN-3S, modelos estocásticos de geração de vazão (Thomas-Fiering e Matalas) e o modelo de simulação em rede de fluxo MODSIM. Para os diversos cenários pesquisados procurou-se estabelecer estratégias de operação, de modo que se obtivesse uma maior garantia possível, ou seja, uma satisfação de 100% da demanda. Os modelos aplicados mostraram-se eficientes e bastante flexíveis para serem empregados como instrumentos de apoio à tomada de decisão na bacia em estudo.

## ABSTRACT

The main objective of this work consisted of studying an operational strategy for the multiple purpose uses of the Bocaina reservoir, the most important supply source of the region, under different hydrologic loadings, in order to reduce the increasing conflicts among the water users. It presents a description of the problem and justification, showing the necessity of the establishment of operation rules for the Bocaina dam. In such a way, climatologic analysis and estimation of demands have been made (urban and animal supplying and irrigation). The rainfall-runoff model CN-3S, the streamflow generation models Thomas-Fiering and Matalas and the netflow model MODSIM have been applied. For diverse demand levels, operation strategies have been established,

---

<sup>1</sup> Sócio da ABRH – Técnico da Agência Nacional de Águas (ANA); End: Setor Policial Sul, Quadra 3, Lote 5, Bloco B, Brasília – DF. Telefone: (61) 445-5367; E-mail: masfreitas@ana.gov.br

evaluating the risk of failure. The applied models have revealed efficient and sufficiently flexible to be employed as instruments of support to decision-makers.

**Palavras Chave :** usos múltiplos, semi-árido, simulação de reservatórios.

## **INTRODUÇÃO**

O território piauiense está localizado na zona de transição entre a região Norte e a região semi-árida do Nordeste do Brasil. O sudeste do Piauí, onde se encontra a Barragem de Bocaina (Bacia do Rio Guaribas), é a região mais crítica do Estado em termos de disponibilidade hídrica e caracteriza-se por uma extrema irregularidade das chuvas que se concentram, praticamente em três meses do ano.

O Açude Bocaina com capacidade de 106 hm<sup>3</sup> de água foi construído sob a responsabilidade do DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – e executado pelo Batalhão de Engenharia e Construção, com o objetivo, dentre outros aspectos, de regularizar o Rio Guaribas.

A área estimada pelos estudos de viabilidade do Açude Bocaina atingia 2.000 (dois mil) hectares irrigáveis, conforme Projeto Executivo da Barragem Bocaina – Hidroterra S. A. - localizados nos municípios de Bocaina, Sussuapara e Picos, com excelentes condições físicas e químicas para uso intensivo de irrigação, a custo relativamente baixo, considerando que não havia custo com desmatamento, sistematização e assentamento de produtores.

A região é a única do Estado que tradicionalmente cultiva o alho, quase que exclusivamente no leito do rio, sobre os terraços fluviais arenosos, ao lado do canal principal, o que torna muito limitante a expansão da cultura, além de causar problemas à operação ótima do reservatório.

Levantamento sócio-econômico, feito à época desses estudos, identificou que 23% dos produtores priorizam o uso de irrigação. Não obstante esse potencial hidroagrícola e de ocupação existente, as famílias não tem conseguido melhorar os seus níveis de produção, ampliar suas áreas plantadas investindo em equipamentos de irrigação e melhorar seus rendimentos financeiros.

Em consonância com a Lei Federal nº 9.433/97, a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Piauí – SEMAR, estabeleceu como interesse básico, a gestão dos recursos hídricos de domínio do Estado, voltada para a racionalização do uso múltiplo da água. A Lei Nº 5.165, de 17 de agosto de 2000, que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos, prevê como instrumentos básicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Estado do Piauí, os Planos de Recursos Hídricos, a outorga do direito de uso da água, a cobrança pelo uso da água, o

enquadramento dos corpos de água em classes e o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos.

## CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

A Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas situa-se entre os paralelos 06° 50' e 07° 24' de latitude sul e entre os meridianos 40° 18' e 41° 48' de longitude a oeste de Greenwich. O rio Guaribas nasce na Serra das Almas, a 600 m de altitude. Possui os afluentes Cana Brava e Pitombeiras, pela margem direita e Grotão, Riachão e São João, pela margem esquerda. A bacia do rio Guaribas envolve os municípios de Bocaina, Sussuapara, Picos, Pio IX, Monsenhor Hipólito, Alagoinha, Francisco Santos, Santo Antonio de Lisboa, São José do Piauí, São Julião e Fronteiras (Tabela 1).

A temperatura média anual da região é da ordem de 27,3 °C, observando-se as médias elevadas na primavera (setembro/outubro) e as mais baixas, no outono (março/maio). A umidade relativa média anual é de 59,4%. Os maiores índices ocorrem entre março e abril, e os menores entre setembro e outubro. A insolação total média anual é de 2.406,4 horas.

Tabela 1: Características Fisiográficas da Bacia do Rio Guaribas

<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Rio Guaribas</b>
Área de contribuição	Km <sup>2</sup>	8.432,0
Perímetro	Km	528,7
Comprimento do curso d'água principal	Km	209,2
Característica da forma da bacia		
Coeficiente de compactidade (Kc)	-	1,613
Fator de forma (Kf)	-	0,193
Características do sistema de drenagem		
Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km <sup>2</sup>	0,691
Extensão média do escoamento superficial (L)	Km	0,362
Sinuosidade do curso d'água principal	-	1,650
Declividade do curso d'água principal (média simples)	m/Km	2,103

De acordo com a classificação de Köppen a bacia do Rio Guaribas tem clima BSw<sup>h</sup>'- seco, megatérmico e formado sob condições de alta pressão originadas pelos movimentos da atmosfera. Conforme Thornthwaite a região apresenta clima do tipo DdA'a' – semi-árido, megatérmico, com pouquinho ou nenhum excesso de água durante o ano (PDRH Canindé/Piauí, 1999).

A Barragem de Bocaina foi construída para auxiliar as comunidades do município e de locais adjacentes nos períodos de seca. Em virtude da baixa vazão liberada à época dos estudos, os produtores rurais da comunidade Torrões e regiões próximas, situadas cerca de 30 km após a cidade de Picos, praticamente não tinham acesso à água. Verificava-se, claramente, uma situação típica de falta de gerenciamento dos recursos hídricos e conflito entre os vários usuários. Daí a necessidade de se estabelecer regras de operação que atendam aos usos múltiplos.

A Barragem de Bocaina visa a regularização da vazão para fins de uso hidroagrícola, irrigação do vale a jusante, abastecimento das populações e amortecimento de cheias. Foi projetada pela firma Hidroterra S.A. que desenvolveu estudos hidrológicos na bacia hidrográfica da barragem determinando a cheia de projeto do sangradouro e traçando uma curva de frequência de cheias. A cheia centenária é da ordem de 850 m<sup>3</sup>/s e a milenar de cerca de 2190 m<sup>3</sup>/s.

Foram levantados os estudos relacionados à Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas, a saber: Relatório do Projeto Áridas; Plano Diretor da Bacia Hidrográfica dos Rios Canindé/Piauí; Projeto Executivo da Barragem Bocaina – Hidroterra e informações do DHME/SEAB-IR. As informações foram compiladas de modo a proporcionar uma avaliação da atual situação dos recursos hídricos da região. Foram ainda investigados os planos e programas oficiais e não governamentais relacionados ao tema, bem como informações sobre a legislação estadual e federal referentes ao assunto deste estudo.

Foram feitas visitas e consultas aos seguintes órgãos: DNOCS, EMATER, SEAAB-IR, AGESPISA, Projeto WAVES/UFPI, IBAMA, SUDENE e COMDEPI.

## **MODELAGEM CHUVA-VAZÃO**

Fato lamentável é a crônica deficiência de dados fluviométricos na região Nordeste, não permitindo se dispor de séries observadas de vazões afluentes nos pontos de interesse do estudo, capazes de possibilitar o emprego de métodos diretos e estatísticos. Assim, é comum a adoção do procedimento de geração de séries pseudo-históricas mediante modelos chuva-vazão, com parâmetros devidamente calibrados em bacias hidrográficas com características semelhantes.

Na prática, os hidrólogos se deparam, com frequência, com a necessidade de optar pelo uso de um ou outro modelo. Para uma perfeita escolha do modelo dever-se-ia observar, afora, é claro, a disponibilidade do modelo, dois aspectos: (1) o objetivo do uso do modelo e (2) a confiabilidade dos resultados como um todo: dados, modelo, calibração, validação e aplicação. De acordo com TUCCI (1998), o melhor modelo será aquele que o usuário tiver maior sensibilidade sobre os parâmetros e sobre o efeito dos processos no hidrograma de uma bacia.

O modelo escolhido para a geração de séries pseudo-históricas de deflúvios foi o modelo denominado CN-3S (Curva Número 3 Step), com vasta experiência de aplicação na região semi-árida do Nordeste do Brasil. O modelo baseia-se nas relações desenvolvidas pelo U. S. Conservation Service das curvas CN (Curve Number) e é composto de seis parâmetros de calibragem.

Trata-se de um modelo conceitual para a geração de deflúvios que foi desenvolvido por TABORGA & FREITAS (1987) e aplicado a diversos estudos hidrológicos no semi-árido do Piauí, Ceará, Pernambuco e Paraíba (FREITAS & PORTO, 1991). O modelo determinístico chuva-vazão CN-3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation) foi desenvolvido com o objetivo de gerar vazões sintéticas para a simulação de operações de reservatórios. O CN-3S utiliza como dados de entrada, necessário ao cálculo da lâmina de escoamento superficial de um determinado intervalo de tempo, a precipitação pluviométrica do próprio período e as precipitações dos três períodos antecedentes.

O processo de calibração / validação consiste num processo iterativo, onde, com base no conhecimento disponível dos parâmetros do modelo, faz-se uso de algoritmo de busca de máximos embutido no modelo CN-3S. Foram utilizados para calibração dos dados fluviométricos do posto Maria Preta valores representativos médios de evaporação do posto de Picos (Lat. 07° 02' S; Long. 41° 29' W), com um total anual de 2.537,5 mm típico da região (Figura 1).

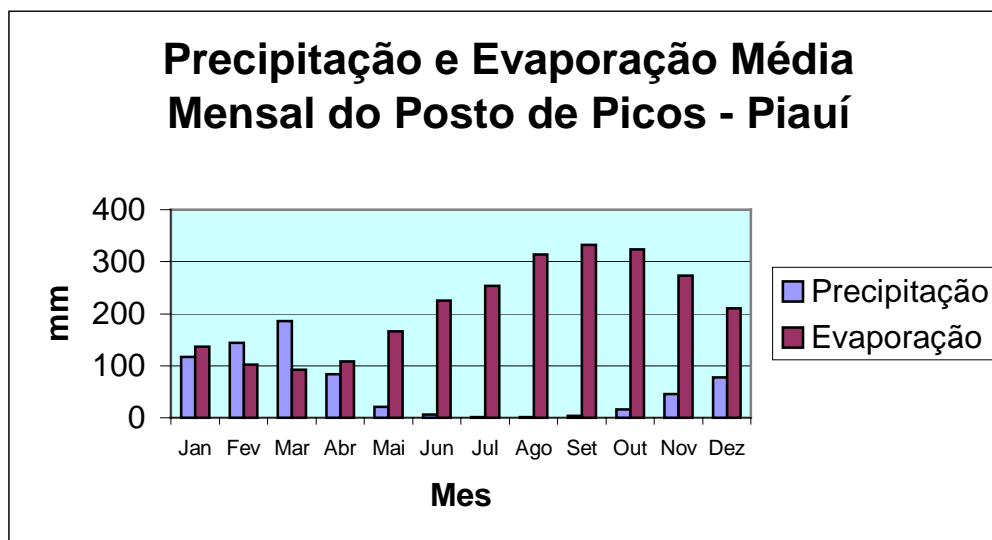


Figura 1: Precipitação e Evaporação Média Mensal do Posto de Picos

O período escolhido para a calibração foi de cinco anos (1967 a 1971), obedecendo a um dos critérios mais importantes quando da seleção de um período para calibração: que o mesmo incluía os maiores picos e as maiores estiagens registradas. Se o modelo for capaz de refletir esses dois

fenômenos de forma fidedigna, poderá representar qualquer outra situação registrada. O período de 1972 a 1976 foi usado para a validação do modelo. Os parâmetros obtidos, empregados na geração de vazão no rio Guaribas, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros do modelo CN-3S calibrados para a bacia do posto Maria Preta (34450000)

Período/ Parâmetro	CNI	ALFA	BETA	K0	K1	K2
1967-1971	23.700	0.200	0.003	0.940	0.010	0.330

CNI = coeficiente relacionado ao complexo solo-vegetação

ALFA = parâmetro relacionado à interceptação e infiltração

BETA = parâmetro de ajuste relacionado à chuva antecedente

K0 = = parâmetro de ajuste relacionado à chuva antecedente

K1 = taxa de alimentação do lençol freático

K2 = taxa de depleção do lençol freático

## MODELOS DE GERAÇÃO DE VAZÃO

Dentre os diversos modelos do programa denominado SAGE (Stochastic AbflussGenerierungsmodell), desenvolvido por FREITAS (1995), na Universidade de Hannover, Alemanha, dois deles apresentaram ótimos resultados na geração de vazões sintéticas afluentes à Barragem de Bocaina: Modelo PAR (Thomas/Fiering) com modificação de Clarke e o Modelo PAR (Thomas/Fiering) com transformação de Matalas.

Com os modelos citados foram geradas 1000 (mil) séries de vazão, com 50 anos de extensão cada, as quais foram empregadas numa simulação Monte-Carlo. Os valores dos principais parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria, coeficiente de correlação, etc.) foram razoavelmente preservados. As Figuras 2 a 4 apresentam, a título de exemplificação, o resultado dessa simulação empregando o Modelo Thomas-Fiering com modificação de Clarke, mostrando os valores da média, desvio padrão e coeficiente de correlação lag-1, respectivamente.

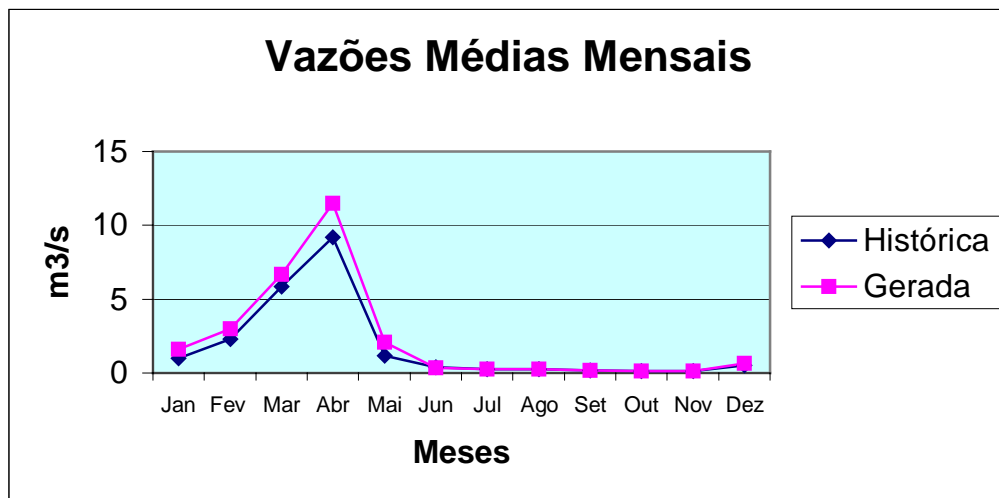


Figura 2: Parâmetros estatísticos de séries geradas e histórica (vazão média);  $r = 0,996653$ .

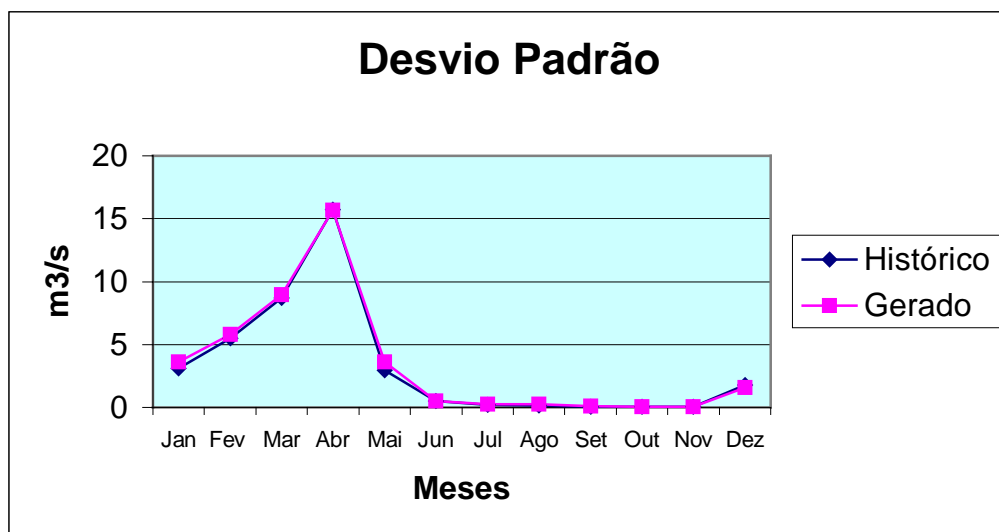


Figura 3: Parâmetros estatísticos de séries geradas e histórica (desvio padrão);  $r = 0,998822$ .

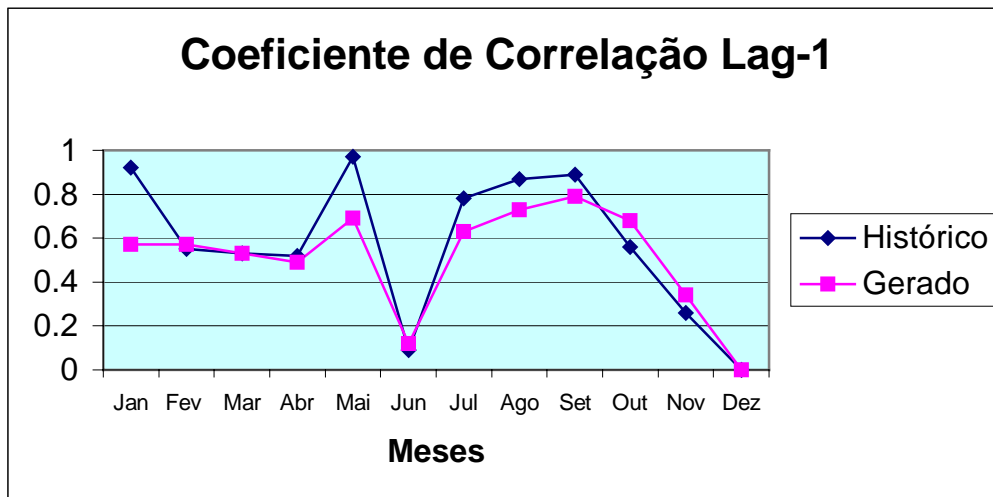


Figura 4: Parâmetros estatísticos de séries geradas e histórica (coef. de correlação mensal lag-1).

## SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO BOCAINA

A atual complexidade dos problemas relacionados à gestão de recursos hídricos requer o emprego de instrumentos e técnicas capazes de auxiliar na tomada de decisão, em especial em períodos de escassez. Dentre essas técnicas duas merecem destaque: a simulação matemática e a modelagem em rede de fluxo (AZEVEDO et al., 1997).

O modelo de rede de fluxo MODSIM foi desenvolvido por LABADIE (1987 e 1988), na Universidade do Colorado, nos Estados Unidos. Nesse estudo foram utilizadas duas versões, a saber, MODSIMP32 e ModSimLS, as quais incorporam interface gráfica, em ambiente Windows, desenvolvida na Universidade de São Paulo – USP, pelo Prof. Dr. Rubem La Laina Porto.

Na simulação da operação do reservatório, o processo foi iniciado considerando o volume acumulado médio da barragem. Forma, então, feitas várias simulações para definição de volumes regularizados, associados a diversas garantias ou riscos.

### Estimativa das demandas

Para o abastecimento humano foram considerados os levantamentos feitos no Estudo de Diagnóstico, realizado pelo PROÁGUA, na região de Picos, bem como as previsões de abastecimento das comunidades próximas através da futura Adutora de Bocaina. A projeção da população foi feita empregando-se o crescimento geométrico, posto se tratar de cidades de pequeno porte, e realizado a partir dos censos de 1996 e 2000, do IBGE.



Considerando as taxas *per capita* preconizadas pelo Manual Operativo do PROÁGUA (120 l/hab/dia para municípios com população inferior a 4.000 habitantes e índice de abastecimento de 100%), e adotando um fator de perda de 25% referente à distribuição. Para os povoados, com dados apenas do ano de 1996, foi empregada uma taxa de crescimento de 2.0%, o que condizente com o Manual Operativo do PROÁGUA, que preconiza uma taxa variando de 1.1 a 2.1%. A demanda total estimada para o abastecimento variou de 0,033 m<sup>3</sup>/s no ano 2000 até 0,053 m<sup>3</sup>/s no ano 2020.

Para a projeção da população animal foi empregada a variação anual avaliada pelos censos agropecuários de 1985-1997, realizado pelo IBGE e Supervisão Estadual de Pesquisas Agropecuárias. Empregou-se a equação relativa ao crescimento aritmético. Para o cálculo da demanda foi utilizado o conceito de BEDA - demanda equivalente para a demanda d'água (demanda per capita animal estipulada em 50 litros / BEDA / dia). A demanda animal projetada para a região variou de 0,032 m<sup>3</sup>/s em 2000 até o valor de 0,034 m<sup>3</sup>/s no ano 2020.

Em relação à irrigação, uso maior de água na bacia, foram feitas simulações para diversas áreas de atendimento, a partir do potencial de área estimada para o vale a jusante, prevendo as demandas mensais a partir de percentuais da demanda anual, proporcionais aos déficits mensais determinados com base em balanço hídrico na área. Quanto ao risco de falha, o mesmo foi calculado com base no número de falhas no período de interesse dividido pelo número de intervalos de tempo do referido período, ou seja, do período simulado. A falha é adotada quando a demanda não é atendida.

A demanda para irrigação foi calculada como sendo a diferença entre a necessidade hídrica da cultura típica da região e a precipitação sobre a área cultivada. A estimativa da quantidade de água requerida por uma determinada cultura é calculada através da estimativa da demanda máxima de uma cultura referencial (Tabela 3). Empregou-se o método de Hargreaves-Samani, para o cálculo da evapotranspiração de referência E<sub>to</sub>, devido à disponibilidade dos dados. Para isso, as informações referentes ao posto de Picos foram utilizadas.

Tabela 3: Evapotranspiração potencial e necessidade de água

MÊS	Tm (°C)	n (h/dia)	N (h/dia)	Ra (mm/dia)	Rs (mm/dia)	Eto (mm/dia)	Etm (mm/mês)	Prec. 75%	Nec. Cultura (mm/mês)
Jan	26.6	6.2	12.4	16.1	8.05	4.82	127.080	68.3	58.78
Fev	26.2	5.5	12.4	16.1	7.60	4.51	107.326	72.5	34.83
Mar	25.7	6.3	12.1	15.5	7.91	4.64	122.339	96.2	26.14
Abr	26.0	7.2	11.8	14.4	7.99	4.72	120.462	26.2	94.26
Mai	25.9	7.2	11.6	13.1	7.34	4.33	114.052	0.0	114.05
Jun	25.9	8.6	11.5	12.4	7.74	4.56	116.327	0.0	116.33
Jul	26.1	8.6	11.6	12.7	7.88	4.67	123.037	0.0	123.04
Ago	27.3	9.5	11.8	13.7	8.94	5.44	143.353	0.0	143.35
Set	28.9	10.8	12.0	14.9	10.43	6.57	167.598	0.0	167.60
Out	29.6	9.5	12.3	15.8	10.05	6.43	169.405	0.0	169.40
Nov	29.4	8.3	12.6	16.0	9.27	5.90	150.551	0.0	150.55
Dez	28.2	7.5	12.7	16.0	8.72	5.42	142.692	20.1	122.59

Fato lamentável é a falta de informações quanto ao crescimento da área irrigada na região. De acordo com o IBGE, entretanto, verificou-se um aumento durante as décadas de 70 e 80 um aumento da utilização das terras no Estado do Piauí, da ordem de 1,512% ao ano, correspondente à projeção denominada A. Segundo a FAO (2000), no Brasil, as áreas irrigadas tiveram uma taxa de crescimento de 7% a.a. na década de 70, de 5% a.a. na década de 80, mas apenas de 1,2 % a.a. entre os anos de 1990 e 1998. O projeto WAVES, fruto de uma cooperação Brasil-Alemanha, com áreas de estudo nos estados do Piauí e Ceará, empregou dois cenários possíveis de crescimento para a área irrigada, quais sejam, de 2,5% a.a. e 3,8% a.a. (DÖLL & HAUSCHILD, 2001).

Aos atuais 307,95 hectares foram previstas várias taxas de crescimento da área irrigada, a saber: 1,512% a.a. para a projeção A até um crescimento bastante otimista de crescimento da ordem de 20% a.a., correspondente à projeção G, o que corresponderia no ano 2020 a uma área irrigada, na região, da ordem de 12.000 hectares, equivalente a metade da área total irrigada, no ano de 1998, em todo o Estado do Piauí, de cerca de 24.300 hectares, conforme dados do IBGE e SRH/MMA (CHRISTOFIDIS, 1997 e 2001). Na Tabela 4 são apresentadas as demandas estimadas referentes à Projeção C, com crescimento da área irrigada de 5% a.a. na região.

Tabela 4: Demandas estimadas em m<sup>3</sup>/s para a Projeção C.

ANO: 2000												
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abast. Humano	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Abast. Animal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Irrigação	0.07	0.04	0.03	0.11	0.13	0.14	0.14	0.16	0.20	0.19	0.18	0.14
TOTAL	0.11	0.09	0.07	0.16	0.18	0.18	0.19	0.21	0.24	0.24	0.22	0.19
ANO: 2005												
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abast. Humano	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Abast. Animal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Irrigação	0.09	0.06	0.04	0.15	0.17	0.18	0.18	0.21	0.25	0.25	0.23	0.18
TOTAL	0.14	0.11	0.09	0.20	0.22	0.23	0.23	0.26	0.30	0.30	0.28	0.23
ANO: 2010												
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abast. Humano	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Abast. Animal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Irrigação	0.11	0.07	0.05	0.19	0.21	0.23	0.23	0.27	0.31	0.32	0.29	0.23
TOTAL	0.16	0.13	0.10	0.24	0.27	0.28	0.28	0.32	0.37	0.37	0.35	0.28
ANO: 2015												
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abast. Humano	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Abast. Animal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Irrigação	0.14	0.09	0.06	0.24	0.27	0.29	0.29	0.34	0.40	0.40	0.37	0.29
TOTAL	0.20	0.15	0.12	0.30	0.33	0.35	0.35	0.40	0.46	0.47	0.43	0.35
ANO: 2020												
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Abast. Humano	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Abast. Animal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Irrigação	0.18	0.12	0.08	0.30	0.35	0.37	0.38	0.44	0.51	0.52	0.47	0.37
TOTAL	0.25	0.18	0.15	0.37	0.42	0.43	0.44	0.50	0.58	0.58	0.54	0.44

## **Simulação da Operação do Reservatório Bocaina**

Os estudos de operação do reservatório são, via de regra, divididos em duas partes: uma operação estratégica e uma operação tática. No primeiro caso, as regras operativas estratégicas são determinadas pelas análises de toda a série histórica de observações hidrológicas e que, em consequência, indicam diretrizes de operação de longo prazo. Por outro lado, os operadores do reservatório, necessitam tomar decisões no início, por exemplo, de um período de irrigação e nem sempre as diretrizes estratégicas são as mais adequadas. Isto ocorre principalmente diante de situações excepcionais quando o volume no reservatório está muito baixo no início da estação ou quando se deseja analisar as consequências de secas muito críticas. Nesta situação é necessário fazer uma operação tática do reservatório, que cobriria o período de aproximadamente um ou dois anos, a partir do mês em curso.

A análise estratégica de operação do reservatório se destina à determinação do volume útil, ou seja, do nível de armazenamento no reservatório a partir do qual se recomenda uma redução da oferta de águas, com o objetivo de aumentar os níveis de garantia associados com ofertas posteriores. Este aumento na segurança estaria, então, associado ao nível de satisfação da demanda inferior à demanda total a ser determinada para os diversos usos.

Com os dados de disponibilidade de água (vazão afluyente e volume no reservatório) e das diversas projeções de demandas (abastecimento humano, animal e irrigação) foram realizadas simulações usando um programa de simulação da operação de reservatório, escrito em linguagem Delphi, baseado na equação do balanço hídrico, para a determinação da falha de atendimento às demandas, utilizando-se as 1000 séries sintéticas de vazão geradas.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 5, constata-se que caso ocorram as projeções de demandas de A até D, tem-se atendimento integral às demandas, ou seja, uma garantia de 100% de atendimento, o que representa uma garantia de atendimento até o ano 2010.

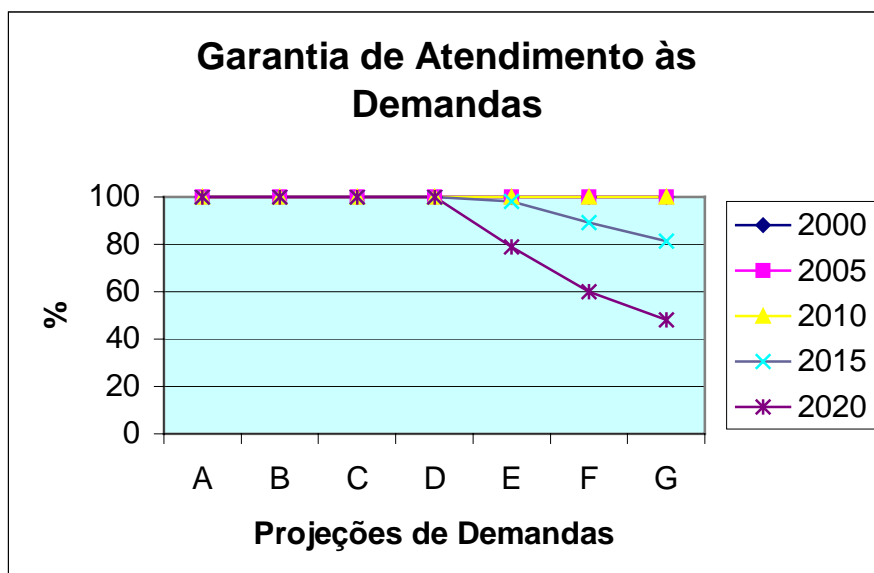


Figura 5: Garantia de Atendimento às Demandas para diferentes cenários projetados

Verifica-se ainda que, mesmo ocorrendo um crescimento substancial da área irrigada (Projeção G) haverá uma garantia de atendimento até o ano 2010. Para essa projeção, tem-se, entretanto, para o ano 2015, uma garantia de 82% e para o ano 2020, uma garantia de apenas 48%.

Para a projeção de crescimento correspondente à demanda E, observa-se dos resultados da simulação, que haverá uma garantia de atendimento para o ano 2015 de 98% e uma garantia de atendimento para o ano 2020 da ordem de 79%. Analogamente, para a projeção de crescimento da demanda F, observa-se dos resultados da simulação, que haverá uma garantia de atendimento para o ano 2015 de 90% e uma garantia de atendimento para o ano 2020 da ordem de 60%.

Observa-se que, por meio da simulação, é possível obter diretrizes gerenciais mensais para a Barragem de Bocaina, ou seja, gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas do sistema. Além disso, é possível avaliar soluções de compromisso (trade-offs) entre usos conflitantes durante períodos de disponibilidade deficiente de água.

As perdas por evaporação foram estimadas a partir das taxas observadas na região. O reservatório foi simulado com um volume máximo de 106 hm<sup>3</sup> e um volume mínimo de 10 hm<sup>3</sup>, sendo considerado com volume inicial 50% de seu volume máximo, ou seja, 53 hm<sup>3</sup>.

No estudo foi desenvolvida ainda uma análise sobre o volume que deveria ter no reservatório, no início de cada período de irrigação (maior demanda), para garantir condições adequadas de abastecimento de água ao longo do ano, sendo os resultados agrupados em diferentes tipos de anos hidrológicos (ano muito seco, seco, médio, úmido e muito úmido). Esta operação, denominada de tática, procura determinar a melhor forma de operar o reservatório na próxima época de demandas, a partir da disponibilidade hídrica no reservatório no final do período chuvoso.

Visando a determinação das curvas de operação do reservatório Bocaina foram empregados os denominados “anos típicos”, ou seja, anos aos quais estão associadas probabilidades de excedência, conforme mostrado na Tabela 5. Foram, então, feitas simulações para os diversos cenários descritos anteriormente, atentando, em especial para os “anos típicos” *muito seco* e *seco*, e para um horizonte de simulação de 01 ano.

Tabela 5: Anos Típicos Utilizados na Operação do Reservatório Bocaina

Ano	Vazão Anual (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Ordenada	Classificação
1963	23.848	1.088	
1964	126.073	<b>1.262</b>	<b>Muito Seco=1982</b>
1965	19.409	1.741	
<b>1966</b>	<b>62.144</b>	1.741	
1967	53.049	1.784	
<b>1968</b>	<b>23.108</b>	<b>1.828</b>	<b>Seco=1977</b>
1969	12.794	2.002	
1970	1.741	2.263	
1971	12.751	3.743	
1972	1.784	3.830	
1973	3.830	<b>9.966</b>	<b>Médio=1975</b>
1974	55.486	12.751	
<b>1975</b>	<b>9.966</b>	12.794	
1976	1.741	13.491	
<b>1977</b>	<b>1.828</b>	19.409	
1978	3.743	<b>23.108</b>	<b>Úmido=1968</b>
1979	2.002	23.848	
1980	2.263	53.049	
1981	13.491	55.486	
<b>1982</b>	<b>1.262</b>	<b>62.144</b>	<b>Muito Úmido=1966</b>
1983	1.088	126.073	

### Planejamento Tático para o Ano 2002

Para a operação do Reservatório de Bocaina no ano de 2002 são apresentadas duas grandes alternativas. A primeira, caso o período de doze meses (Abril de 2002 a Março de 2003) seja um

ano considerado **muito seco** (vazões afluentes semelhantes ao período de Abril de 1982 a Março de 1983). A segunda alternativa caso o período de doze meses (Abril de 2002 a Março de 2003) seja um ano considerado **seco** (vazões afluentes iguais as do período de Abril de 1977 a Março de 1978).

Em cada uma dessas situações futuras, foram consideradas também diversas opções de uso da água. Para o abastecimento humano, irrigação e abastecimento animal foram consideradas as condições previstas para 2005, como sendo a condição atual. O Reservatório de Bocaina dispunha em Abril de 2002 um volume de aproximadamente 63,0 hm<sup>3</sup> de água.

## **PLANEJAMENTO PARA O ANO 2002**

1) **Período Muito Seco** (igual ao período de Abril de 1982 a Março de 1983): a) Abastecimento Humano, Irrigação e Abastecimento Animal; b) Abastecimento Humano, Irrigação, Vazão Ecológica (1,0 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; c) Abastecimento Humano, Irrigação, Vazão Ecológica (0,5 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; d) Irrigação, Vazão Ecológica (0,5 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; e) Irrigação, Vazão Ecológica (1,0 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal.

2) **Período Seco** (igual ao período de Abril de 1977 a Março de 1978): a) Abastecimento Humano, Irrigação e Abastecimento Animal; b) Abastecimento Humano, Irrigação, Vazão Ecológica (1,0 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; c) Abastecimento Humano, Irrigação, Vazão Ecológica (0,5 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; d) Irrigação, Vazão Ecológica (0,5 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal; e) Irrigação, Vazão Ecológica (1,0 m<sup>3</sup>/s) e Abastecimento Animal

A Figura 6 apresenta o deplecionamento do Reservatório Bocaina, caso o período Abril/2002 a Março/2003 seja **muito seco** e na Figura 7 o deplecionamento do Reservatório Bocaina, caso o período Abril/2002 a Março/2003 seja **seco**. Em ambos os casos as demandas foram atendidas integralmente.

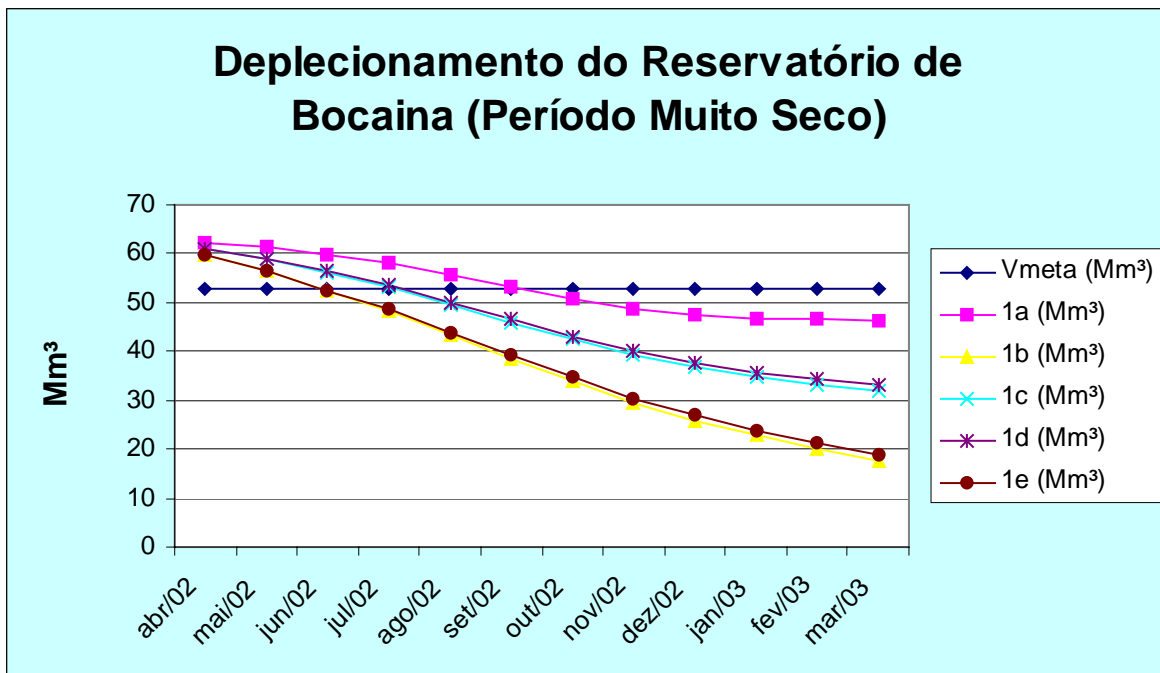


Figura 6: Deplecionamento do Reservatório Bocaina, caso o período Abril/2002 a Março/2003 seja **muito seco**.

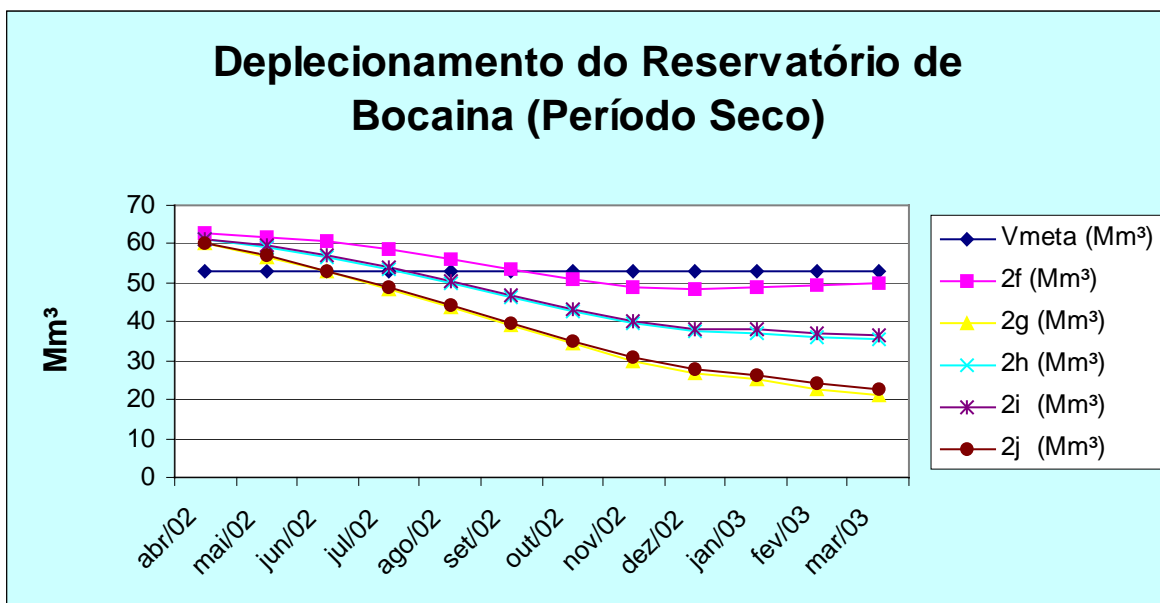


Figura 7: Deplecionamento do Reservatório Bocaina, caso o período Abril/2002 a Março/2003 seja **seco**.

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do estudo efetivado pode-se constatar a sub-utilização da Barragem do Bocaina (106 hm<sup>3</sup>), atualmente empregada para contenção de cheias, regularização de vazão, irrigação e dessedentação animal, a qual vem sendo operada pelo DNOCS.



Dos resultados obtidos constata-se que há água suficiente no Reservatório Bocaina para atendimento às demandas atuais, mesmo em períodos de estiagem na região (anos muito secos). Verificou-se ainda que com o crescimento das demandas existirão inevitavelmente conflitos entre os usos concorrentes por volta do ano 2010, desde que mantidos os crescimentos atuais de demanda. Portanto, os conflitos existentes na localidade, eram decorrentes quase que exclusivamente de uma má gestão do reservatório, os quais foram minimizados a partir das discussões e seminários realizados na região, visando uma maior conscientização dos usuários de água da bacia hidrográfica do Rio Guaribas. As ferramentas aqui desenvolvidas servirão, portanto, de auxílio a uma operação mais segura e confiável da barragem, bem como para a outorga de direito de uso da água a ser implantada na bacia.

Consoante aos aspectos hidrológicos comprovou-se a enorme dificuldade relacionada à disponibilidade de informações na bacia formada pela Barragem Bocaina. É imperioso, portanto, um planejamento na bacia no que tange a implementação de um sistema de coleta, tratamento e armazenamento de informações, associado a um programa criterioso de monitoramento (quantitativo e qualitativo), bem como cadastramento dos usuários de água para uma estimativa mais acurada das demandas existentes.

Dada a marcada assimetria, típica dos rios intermitentes da região, verifica-se que o reservatório opera durante vários anos com vazões baixas e somente consegue armazenar grandes volumes de água durante os anos úmidos. Uma estratégia de operação adequada a essa situação deve ser a destinação de uma parte razoável desse volume armazenado para reserva estratégica, visando reduzir sobremaneira as perdas agrícolas decorrentes de uma escassez de água nos períodos secos.

Na operação do sistema utilizando-se o modelo MODSIM algumas hipóteses e considerações foram necessárias: i) devido à carência de informações e confiabilidade dos dados da região, empregou-se na operação do reservatório um período de 21 anos consecutivos de vazão obtidos pelo modelo chuva-vazão CN-3S; ii) tendo em vista a falta de dados na interação água superficial e subterrânea e posto que na região prevalece o embasamento cristalino, ignoraram-se os retornos através do aquífero; iii) as perdas por infiltração no reservatório foram consideradas nulas; iv) os usuários nas margens do rio Guaribas a jusante foram determinados segundo cadastramento feito pela Secretaria de Agricultura do Estado do Piauí, em 1993, considerando uma demanda contínua mensal e adotando-se prioridades inferiores às do abastecimento humano e animal; v) foram consideradas diversas hipóteses de crescimento da área irrigada na região.

Para os diversos cenários pesquisados procurou-se estabelecer estratégias de operação, do modo que se obtivesse um maior garantia possível, ou seja, uma satisfação de 100% da demanda. Nos casos em que essa situação não foi possível, procurou-se, então, atender integralmente as

demandas para abastecimento humano, dessedentação animal e a irrigação com culturas permanentes.

Um dos resultados mais expressivos desse estudo diz respeito a demonstração dos benefícios oriundos da construção da Barragem do Bocaina no tocante ao aumento da disponibilidade e confiabilidade hídrica. Esses estudos podem contribuir para uma melhor eficiência de operação do reservatório, diminuindo assim os desperdícios decorrentes de uma má gestão e assegurar um nível de satisfação mínimo de demandas notadamente nos anos de secas.

Os modelos CN-3S (modelo chuva-vazão), os modelos de geração estocástica de vazão (Thomas-Fiering e Matalas), assim como o MODSIM mostraram-se eficientes e bastante flexíveis para serem empregados como instrumentos de apoio à tomada de decisão na bacia em estudo. O modelo MODSIM foi utilizado para a determinação de regras de operação, tanto estratégica quanto tática frente a inúmeros cenários de uso da água na região.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AZEVEDO, L. G. T. , PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.** – Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo, In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos, R. L. L. PORTO (org.), Ed. Da Universidade UFRGS / ABRH, Porto Alegre, 1997.
- CRISTOFIDIS, D.,** -- Situação das Áreas Irrigadas – Métodos e Equipamentos de Irrigação – Brasil – Anais do Ciclo de Palestra da Secretaria de Recursos Hídricos – SRH/MMA, 1997.
- CRISTOFIDIS, D.,** -- Os Recursos Hídricos e a Prática da Irrigação no Brasil e no Mundo, Revista ITEM/ABID, nº 49, 8-13, 2001.
- DÖLL, P.; HAUSCHILD, M.** – Model-based scenarios of water use in two semi-arid Brazilian states, submetido ao Regional Environmental Change, may 2001.
- FAO** – Irrigation in Latin America and the Caribbean in Figures, Water Reports 20, Rome, Italy, 2000.
- FREITAS, M.A.S. & A.S. PORTO** -- Considerações Sobre um Modelo Determinístico Chuva-Vazão Aplicado às Bacias do Semi-Árido Nordeste, Revista Tecnologia - UNIFOR, vol. 11, 45-49, 1990.
- FREITAS, M. A. S.** -- Stochastische Abflussgenerierung in intermittierenden semiariden Gebieten (Nordost-Brasilien), Abschlussarbeit, Weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen - Wasser und Umwelt, Universität Hannover, Deutschland, 1995.
- LABADIE, J. W.** – Otimização da Operação de Projetos Hidroagrícolas, Ministério da Irrigação, PROINE, Colorado State University, Brasília, 1987.

**LABADIE, J. W.** - Program MODSIM: River Basin Network Flow Model for the Microcomputer, Department of Civil Engineering, Colorado State University, 1988.

**Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Canindé/Piauí**, no Estado do Piauí, Relatório de Andamento N° 08, Tomo I – Diagnóstico, vols. 08-10, FAHMA Planejamento e Engenharia Agrícola Ltda, fev. 1999.

**PORTO, R. L. L.** – ModSimP32 – Modelo de Simulação de Bacias Hidrográficas, Manual de Operação, 2001.

**TABORGA, J. & M.A.S. FREITAS** -- Simulação da Lâmina de Escoamento Mensal, III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, vol. 2, 558-570, Salvador, Bahia, 1987.

**TUCCI, C. E. M.** – Modelos Hidrológicos, Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1998.

**Nota:** As opiniões apresentadas neste artigo são de responsabilidade do seu autor, não significando, em nenhuma hipótese, postura ou atitude da Agência Nacional de Águas – ANA, para a qual o mesmo trabalha.