



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
(UFPI)
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste
(TROPEN)
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA)
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(MDMA)**

**METODOLOGIA PARA OUTORGA DE USO DAS ÁGUAS RESERVADAS
EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS APLICADA À BACIA DO CANINDÉ-PI**

JOSÉLIA DE CARVALHO LEÃO

**TERESINA
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)

Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (TROPEN)

Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)

Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (MDMA)

JOSÉLIA DE CARVALHO LEÃO

**METODOLOGIA PARA OUTORGA DE USO DAS ÁGUAS RESERVADAS EM
REGIÕES SEMI-ÁRIDAS APLICADA À BACIA DO CANINDÉ-PI**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Veloso Filho

TERESINA - PI
2008

JOSÉLIA DE CARVALHO LEÃO

**METODOLOGIA PARA OUTORGA DE USO DAS ÁGUAS RESERVADAS
EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS APLICADA À BACIA DO CANINDÉ-PI**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

Teresina, 03 de junho de 2008

Prof. Dr. Francisco de Assis Veloso Filho (Orientador)
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI)

Prof^ª. Dr^ª. Ticiania Marinho de Carvalho Studart (Examinador externo)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Gerson Albuquerque de Araújo Neto (Examinador interno)
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI)

AOS MEUS, ESPOSO ROBERTO E FILHO
ARTUR. TODO AMOR E PARA SEMPRE.

AGRADECIMENTOS

A fase de conclusão de um Curso de Mestrado não é uma conquista apenas pessoal. Por isso, agradeço e dedico o presente projeto aos que possibilitaram a sua realização.

Agradeço ao Roberto, meu marido, fonte inspiradora e companheiro de todas as horas, pelos sacrifícios assumidos, carinho e pelas dicas durante a elaboração deste trabalho. Ao Artur, meu filho, razão da minha vida.

À minha mãe, meu pai e irmãos que partilham deste momento, com orgulho e satisfação.

Aos dirigentes, professores, funcionários e colegas de turma que estiveram comigo durante este último ano de forma solidária e atuante na construção deste sonho.

Ao professor Francisco de Assis Veloso, pelas valiosas contribuições que resultaram no aperfeiçoamento da proposta de estudo, além da amigável presença em todos os momentos de maior dificuldade.

Aos professores do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, pelo apoio sempre presente.

Aos meus amigos do mestrado, pelo companheirismo ao longo do nosso curso.

Aos funcionários do TROPEN, pela boa vontade e atenção dispensada, com o atendimento a nós estudantes.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo oferecida, sem a qual a realização deste trabalho não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE GRAFICOS E FIGURAS

LISTA DE QUADROS E TABELAS

SIGLAS, INSTITUIÇÕES E SIMBOLOS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
1.4. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	5
2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	6
2.1. BASES LEGAIS DA GESTÃO	9
2.2. A OUTORGA DE DIREITO DE USO	13
2.3. LEGISLAÇÃO PIAUIENSE	16
2.4. CRITÉRIOS PARA A CONCESSÃO DA OUTORGA DE DIREITO DE USO	18
3. OUTORGA E SEMI-ÁRIDO.....	21
4. ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	29
5. MODELOS DE SIMULAÇÃO	31
5.1. MODELOS DE REDE DE FLUXO (MRF) – MODSIM	32
5.2. DADOS DE ENTRADA	36
6. APLICAÇÃO	39
6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	39
6.2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	41
6.2.1. <i>Fluviometria</i>	51
6.3. FORMULAÇÃO E ANÁLISE DE CENÁRIOS DE DEMANDA PARA O RESERVATÓRIO DA BARRAGEM.....	57
6.3.1. <i>Demanda para Abastecimento Humano</i>	57
6.3.2. <i>Demanda para Abastecimento Animal</i>	61
6.3.3. <i>Demanda Ecológica</i>	64
6.3.4. <i>Demanda para Irrigação</i>	65
7. SIMULAÇÃO	71
7.1. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO REGULARIZADA.....	71
7.2. – SIMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO CONSIDERANDO PRIORIDADES DE ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS	78
7.3. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO OUTORGÁVEL	84
8. CONCLUSÃO	92
9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
10. BIBLIOGRAFIA.....	96

A gestão de recursos hídricos visa solucionar conflitos relacionados à utilização da água corrigindo, a partir de instrumentos técnicos e legais, o desequilíbrio espacial e temporal entre disponibilidades e demandas hídricas. Dentre os diversos instrumentos destaca-se a Outorga de direito de uso que consiste na concessão, pelo poder público, do direito de uso da água ao usuário, sendo um instrumento do tipo comando e controle, com atuação sobre a quantidade e a qualidade da água disponível. Para a implantação de um sistema de concessão de Outorga efetivo se faz necessário definir critérios de prioridades de uso, quantidades a serem Outorgadas e prazo de validade desta concessão. Também deve ser estabelecido um mecanismo e adotadas ferramentas que permitam a transparência do processo, de maneira a não suscitar conflitos entre os distintos usuários. No semi-árido piauiense, região com grande escassez hídrica, existem grandes barragens com pouca ou nenhuma utilização. Nesta área, escolheu-se a Bacia do Canindé para o desenvolvimento de uma metodologia visando a concessão da Outorga de direito de uso das águas armazenadas nos reservatórios de acumulação que apresentem capacidade de regularização plurianual. Neste trabalho será simulado o comportamento desses reservatórios em função dos usos preponderantes da água na região utilizando o modelo de rede de fluxo ACQUANET (MODSIM), que representa um sistema de recursos hídricos utilizando uma rede formada por elementos pontuais (reservatórios, demandas, importações e confluências) e ligações (trechos de rios, adutoras, canais naturais ou artificiais e outros elementos semelhantes), sendo capaz de representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista e flexível, além de incluir algoritmos de otimização que buscam distribuir de forma mais eficiente a água entre as diversas demandas, maximizando os benefícios obtidos e respeitando prioridades de atendimento. Serão avaliadas as disponibilidades de água dos reservatórios e identificados os critérios de Outorga aplicados em outros estados do nordeste. Partindo-se de tais informações será definido critérios de Outorga das águas reservadas na bacia do Canindé e que também possa subsidiar trabalhos a serem realizados em outras bacias hidrográficas com características semi-áridas.

Palavras-chaves Gestão de recursos hídricos, Outorga de uso da água, semi-árido, rede de fluxo.

The water resources management aims for to solution the conflicts related with the water use, correcting, from technical and legal tools, the imbalance in space and time between availabilities and water demands. Among several tools is detached the Granting of the right of water use that consists on the concession, by the public power, of the rights of water uses for the water users, and it being a tool of type command and control with acting on the quantity of available water. For the implantation of an effective Granting Concession System it is necessary to define criteria of use priority, quantities to be granted and terms of validity of this concession. Also, it should be established a mechanism and should be adopted tools that will allow the transparency of the process, in a way of not to produce conflicts between the different users. In the Semiarid of State of Piauí, region with a great scarcity of water, there are big dams with a few of no utilization. In this area it was chosen the Caninde Basin to develop a methodology seeking the concession of use right Granting of the water stored in reservoirs that present capacity of regularization for several years. In this work it will be simulated the behavior of those reservoirs, based on the main water uses of the region, using the model of net of flux ACQUANET (MODSIM), that represents a water resources system using a net formed by punctual elements (reservoirs, water demands, importations and confluences) and connections (passages of rivers, aqueducts, natural and artificial channels and other similar elements), being able to represent a water resources system in the adequate way, real and flexible, besides of to include algorisms of optimization that look for distribute the water in the most efficient way among the several water demands, maximizing the obtained benefits and respecting service priorities. The reservoirs water availabilities will be evaluated and the criteria of Granting applied in other States of the Northeast will be identified. Based on such information, the criteria of Granting of the stored waters in the Caninde Basin wifl be defined. This work will go to subsidize researches to be carried out in other hydrographic basins with semiarid characteristics.

Keywords: Water resources management, Granting of the right of water use, Semiarid, Flux net

LISTA DE GRAFICOS E FIGURAS

GRÁFICO 01 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME PARA A BARRAGEM BOCAINA	40
GRÁFICO 02 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME PARA A BARRAGEM JENIPAPO	40
GRÁFICO 03 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME PARA A BARRAGEM PEDRA REDONDA	40
GRÁFICO 04 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME PARA A BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA	41
GRÁFICO 05 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME PARA A BARRAGEM SALINAS	41
GRÁFICO 06 – HIDROGRAMA MÉDIO OBSERVADO E GERADO PARA O POSTO MARIA PRETA	45
GRÁFICO 07 – HIDROGRAMA MÉDIO OBSERVADO E GERADO PARA O POSTO PEDRA REDONDA.....	46
GRÁFICO 08 – HIETOGRAMA DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DA BACIA MARIA PRETA – BOCAINA.	50
GRÁFICO 09 – HIETOGRAMA DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DA BACIA SÃO JOÃO DO PIAUI – JENIPAPO	50
GRÁFICO 10: HIETOGRAMA DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DA BACIA SÃO JOÃO DO PIAUI – PEDRA REDONDA.....	50
GRÁFICO 11 – HIETOGRAMA DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DA BACIA PETRÔNIO PORTELA.....	51
GRÁFICO 12 – HIETOGRAMA DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DA BACIA SALINAS	51
FIGURA 01 – ÁREAS DE LIMITAÇÃO HÍDRICA NO MUNDO.....	25
FIGURA 02 – DELIMITAÇÃO SEMI-ÁRIDO NO BRASIL.	26
FIGURA 03 – SEMI-ÁRIDO PIAUIENSE.....	27
FIGURA 04 – ESQUEMA A REDE DE FLUXO ADOTADA NO SOFTWARE ACQUANET.	38
FIGURA 05 – FLUXOGRAMA DO MODELO CN-3S PARA A VERSÃO MENSAL.....	44
FIGURA 06 – LOCALIZAÇÃO DA ADUTORA DE BOCAINA	58
FIGURA 07 – ADUTORA DE JENIPAPO	58
FIGURA 08 - ADUTORA DE PEDRA REDONDA.	59
FIGURA 09 – LOCALIZAÇÃO DA ADUTORA DO GARRINCHO	60
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DA ADUTORA SALINAS	60
FIGURA 11 – EXTENSÃO ATENDIDA PELO CADASTRO DE IRRIGANTES	62
FIGURA 12 – EXTENSÃO ESTIPULADA PARA ATENDER AO REBANHO/JENIPAPO	62
FIGURA 13 – EXTENSÃO ESTIPULADA PARA ATENDER AO REBANHO/PEDRA REDONDA	63
FIGURA 14 – EXTENSÃO ESTIPULADA PARA ATENDER AO REBANHO/PETRÔNIO PORTELA ..	63
FIGURA 16 – REDE DE FLUXO ADOTADA PARA O ESTUDO DAS VAZÕES REGULARIZADAS	73
FIGURA 16 – RESUMO DOS RESULTADOS OBSERVADOS PARA AS DEMANDAS	75
FIGURA 16 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA Q_{100}	76
FIGURA 17 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA $Q_{100} + 0,001 \text{ M}^3/\text{S}$	77

FIGURA 16 – REDE DE FLUXO.....	80
FIGURA 17 – RESUMO DOS RESULTADOS PARA UMA ÁREA IRRIGADA DE 3.377 HA.....	80
FIGURA 18 – APRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CONCEITO DE VOLUME DE ALERTA.....	81
FIGURA 19 – REDE DE FLUXO PARA VOLUME DE ALERTA	82
FIGURA 20 – PRIORIDADES EM FUNÇÃO DO ESTADO HIDROLÓGICO.....	83
FIGURA 22 – REDE DE FLUXO PARA A BACIA DO CANINDÉ CONSIDERANDO VOLUME DE ALERTA	86

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 01 – VALORES MÁXIMOS OUTORGÁVEIS	20
QUADRO 02 – VALORES ISENTOS DE OUTORGA.....	22
QUADRO 03 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS BARRAGENS ANALISADAS	28
QUADRO 04 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS CONSIDERADOS	39
TABELA 01 – PARÂMETROS DO MODELO CN-3S CALIBRADOS PARA O POSTO MARIA PRETA	45
TABELA 02 – PARÂMETROS DO MODELO CN-3S CALIBRADOS PARA O POSTO PEDRA REDONDA.....	46
TABELA 03 – COEFICIENTES DE THIESSEN.....	49
TABELA 04 – VAZÃO GERADA PARA BOCAINA	52
TABELA 05 – VAZÃO GERADA PARA JENIPAPO	53
TABELA 06 – VAZÃO GERADA PARA PEDRA REDONDA	54
TABELA 07 – VAZÃO GERADA PARA PETRÔNIO PORTELA.....	55
TABELA 08 – VAZÃO GERADA PARA SALINAS.....	56
TABELA 09 – PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DA DEMANDA PARA ABASTECIMENTO HUMANO	57
TABELA 10 - ABASTECIMENTO HUMANO	61
TABELA 11 – DEMANDA ANIMAL	64
TABELA 12 – DEMANDA ECOLÓGICA.....	65
TABELA 13 – EVOLUÇÃO DA ÁREA IRRIGADA NO ESTADO DO PIAUÍ	67
TABELAS 14 – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	69
TABELA 15 – DISTRIBUIÇÃO DAS CULTURAS TEMPORÁRIAS	70
TABELA 16 – DEMANDA UNITÁRIA PARA IRRIGAÇÃO (L/S.HA).....	70
TABELA 17 – PRIORIDADES ADOTADAS	74
TABELA 18 – VAZÕES REGULARIZADAS COM 100% DE GARANTIA	76
TABELA 19 – VAZÕES REGULARIZADAS COM 100, 95, 90, 85, 80% DE GARANTIA.....	78
TABELA 20 – DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ALERTA.....	82
TABELA 21 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA A VAZÃO REGULARIZADA COM 95% DE GARANTIA.....	85
TABELA 22 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA A VAZÃO REGULARIZADA COM 90% DE GARANTIA.....	86
TABELA 23 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA A VAZÃO REGULARIZADA COM 85% DE GARANTIA.....	87
TABELA 24 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA A VAZÃO REGULARIZADA COM 80% DE GARANTIA.....	87

TABELA 25 – ÁREA IRRIGADA (HA) EM FUNÇÃO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA.....	88
TABELA 26 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES CONSIDERANDO A DEMANDA MÁXIMA PARA IRRIGAÇÃO	90
TABELA 27 – COMPARAÇÃO ENTRE A VAZÃO REGULARIZADA E A DEMANDA TOTAL	91
TABELA 28 – ÁREA MÁXIMA IRRIGÁVEL E GARANTIA DE ABASTECIMENTO.....	91

SIGLAS, INSTITUIÇÕES E SIMBOLOS.

ACQUANET – Nome do Modelo de Simulação

ADENE – Agência de Desenvolvimento do Nordeste

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

CERH/PI – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CN-3S – Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation - modelo determinístico chuva-vazão

LABSID - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MIKE BASIN 2000 - Programa de simulação desenvolvido pelo “Danish Hydraulic Institute” – DHI

MODSIM - Nome do Modelo de Simulação - É um Acrônimo de Modified Simyld

MRF – Modelo em Rede de Fluxo

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PERH – Política Estadual de Recursos Hídricos

Q₉₅ – vazão média mensal com 95% de garantia

Q₉₀ – vazão regularizada com 90% de garantia

Q₈₅ – vazão regularizada com 85% de garantia

Q₈₀ – vazão regularizada com 80% de garantia

Q(7,10) – vazão de referência a vazão média mínima de sete dias consecutiva, chamada

SEGRH – Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SEMAR/PI – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais

SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

A relação entre água e vida fica evidente quando reconhecemos neste recurso seus múltiplos usos, suas propriedades tão peculiares e a dependência da vida animal em relação à água. O paradoxo consiste em ser esta uma substância abundante na Terra e, ainda assim, ser reconhecidamente um recurso escasso. As demandas por água em quantidade e qualidade adequadas para determinados usos são crescentes; no entanto, a poluição gerada pela indústria, agricultura e dejetos urbanos, e a degradação dos aquíferos são fatores que limitam a disponibilidade hídrica, um outro fator a ser considerado é distribuição espaço-tempo deste recurso que ocorre de forma irregular.

Sendo escasso o recurso e crescentes as demandas manifestadas pela sociedade, é conceitualmente impossível satisfazer a todas as necessidades sociais efetivamente existentes e a todos os desejos individuais latentes. Escassez implica escolhas.

E os conflitos existentes não são devidos apenas à pequena disponibilidade de água para satisfazer às necessidades humanas, mas também ao gerenciamento da água. Os conflitos existentes são vistos como resultado do pobre gerenciamento dos recursos hídricos e das disparidades econômicas e sociais existentes entre áreas, países e regiões.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu como um de seus instrumentos a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Trata-se de um ato administrativo mediante o qual o Poder Público Outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao Outorgado (usuário da água) o uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nas condições expressas no respectivo ato. (SILVA E MONTEIRO, 2004 p.135). No caso do Estado do Piauí, a concessão de Outorgas é atribuição da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMAR/PI, órgão central, gestor e coordenador da Política e do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Piauí.

Para a implantação da Outorga, se faz necessário definir critérios e estabelecer um mecanismo, ou adotar uma ferramenta que permita tanto a agilidade do processo como também a sua transparência, de maneira a não suscitar conflitos entre os distintos usuários.

Os mecanismos são geralmente constituídos por modelos matemáticos que reproduzem o comportamento do sistema real, permitem analisar cenários alternativos (modelos de simulação) e ajudam o usuário a encontrar dimensões ou políticas ótimas (modelos de otimização).

Nas regiões em que inexitem cursos d'água perenes, a oferta de água superficial fica condicionada à existência de açudes capazes de regularizarem as vazões afluentes, exigindo um tratamento mais refinado na avaliação da quantidade de água disponível para utilização.

A presente dissertação pretende definir uma metodologia para implementação da Outorga de águas reservadas em regiões semi-áridas, visando servir como apoio à tomada de decisão para o gerenciamento dos recursos hídricos, tomando como base uma alternativa de solução regionalizada e eficaz, selecionada a partir da simulação de cenários e da definição de critérios sociais e ambientais.

O estudo será desenvolvido com base nas saídas/respostas do modelo de simulação/otimização ACQUANET, elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LABSID) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e foi desenvolvido utilizando como modelo de alocação da água o programa MODSIM, da Universidade do Colorado, nos Estados Unidos.

Para teste e avaliação desta metodologia, serão utilizados cinco grandes reservatórios, com capacidade de regularização plurianual, localizados na bacia do Canindé, maior sub-bacia de contribuição do rio Parnaíba, representando cerca de 32% da área do Estado do Piauí e com aproximadamente 96,8% de sua superfície se desenvolvendo no limite da região semi-árida.

1.2. Justificativa

A implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, bem como a execução de

obras ou serviços que alterem o regime, quantidade ou qualidade de tais recursos, deverão ser controladas através da Outorga de Direito de Uso.

A Outorga como instrumento de gestão deve ser instituída de forma a atender as peculiaridades regionais. Assim, a fixação de critérios e normas quanto à permissão ou autorização do uso, à cobrança e outras providências relacionadas, devem considerar a utilização racional dos recursos hídricos.

Tome-se como exemplo a região Semi-árida do Nordeste Brasileiro, onde o regime das chuvas tem uma grande variabilidade espacial e temporal à sujeita a secas periódicas. Nesta região, para a implantação da Outorga de Direito de Uso das águas armazenadas nos reservatórios construídos, devem ser levadas em consideração as seguintes especificidades:

- a) a sazonalidade das chuvas;
- b) as demandas hídricas prioritárias da região, além de respeitar os princípios da gestão dos recursos hídricos, deverão primar o aproveitamento social e econômico da água, inclusive tratando-a como instrumento de combate à disparidade regional e à pobreza nas regiões sujeitas à secas periódicas;
- c) a disponibilidade hídrica deve ser definida em função da sazonalidade para que o reservatório tenha sustentabilidade hídrica, isto é, para que se tenha a garantia do volume necessário para os diferentes usos.
- d) o uso da água deve ser compatibilizado com as políticas de desenvolvimento urbano e agrícola da região.

Dentre as vantagens que a implantação da Outorga do direito de uso das águas armazenadas nos reservatórios construídos na região Semi-árida tem-se a viabilização de:

- a) disciplinaridade e do controle do uso dos recursos hídricos ali tão escassos;
- b) conhecimento constante da disponibilidade e da demanda hídrica;
- c) conscientização do usuário de que a água é um bem econômico que deve ser utilizado de forma racional.

1.3. Estrutura da Dissertação

As pesquisas seguiram três linhas simultâneas: uma, de revisão bibliográfica e de análise da política de gestão, em especial, do instrumento Outorga, com o levantamento do estado da arte referente ao tema; outra de pesquisa e levantamento de dados; e finalmente a implementação do modelo de simulação/otimização, para a análise e fundamentação das conclusões.

O primeiro tema, que será desenvolvido com um estudo sobre a Outorga de Direito de Uso da água, tem como objetivo assegurar o controle qualitativo da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a este recurso, disciplinando a sua utilização e compatibilizando demanda e disponibilidade hídrica.

Especificamente com relação ao uso das águas das barragens construídas no semi-árido piauiense, geralmente projetadas como obras físicas para acumulação da maior quantidade de água possível, a maioria não foi ainda contemplada com estudos de oferta e demanda, nem tiveram avaliadas de forma mais consistente suas vazões regularizáveis para diversas garantias, dificultando, assim, uma gestão mais adequada dos recursos reservados.

E o segundo tema terá como objetivo produzir e sistematizar informações sobre o comportamento hidrológico e climatológico da bacia hidrográfica do rio Canindé, maior bacia do semi-árido piauiense.

Para esta etapa serão seguidas as atividades:

- Avaliação da vazão regularizada para diversas garantias;
- Definição das demandas atuais e demandas futuras;
- Elaboração de cenários de disponibilidade/demanda da água armazenada nos reservatórios;
- Elaboração das normas de operação do reservatório levando em consideração todos os usos que serão beneficiados pela disponibilidade avaliada.

O último item será dedicado a propor critérios para a concessão de Outorga utilizando dados relativos aos itens (1) e (2).

O levantamento de informações acerca de um sistema serve a duas finalidades, que é a própria realização do teste da metodologia proposta, mas também auxilia na concepção, nas definições, no desenvolvimento, e nas condições de uso do objeto proposto. No entanto, deve-se evitar que essa etapa de caracterização de um sistema e conseqüente aplicação diminua a abrangência do objeto proposto ao torná-lo específico demais.

1.4. Desenvolvimento da Metodologia

A metodologia será desenvolvida para ser aplicada à bacias hidrográficas, que são consensualmente adotadas como unidade natural de gestão hídrica (SILANS et al., 1996), fato referendado inclusive pela legislações específicas, federal e estaduais, sobre recursos hídricos.

Adotou-se, como área de estudo, a bacia do Canindé, localizado na região sudeste do estado, por dois motivos principais: a bacia está localizada na região semi-árida e, afora registros pluviométricos, apresenta uma grande carência de dados hidro-climatológicos; a bacia apresenta a possibilidade de utilização de recursos superficiais, a partir dos reservatórios com capacidade de regularização plurianual.

2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Sendo a água essencial à vida humana e insumo em diversos processos produtivos, é clara a correlação existente entre o desenvolvimento sócio-econômico de qualquer região e a sua disponibilidade hídrica.

O crescimento populacional e o aumento das atividades produtivas ocasionam uma pressão crescente sobre os recursos naturais, especialmente sobre a água, o que vem exigindo um maior controle sobre a utilização desse bem visando equilibrar de forma satisfatória o binômio oferta x demanda hídrica, condição essencial para o desenvolvimento efetivo e sustentável de uma sociedade.

As diversas medidas adotadas objetivando a utilização racional da água e o estabelecimento do equilíbrio citado constitui a base da gestão de recursos hídricos.

Segundo Barth *et al.* (1987), o planejamento em recursos hídricos pode ser definido como o “conjunto de procedimentos organizados que visa o atendimento das demandas de água, considerada a disponibilidade restrita deste recurso” e tem por objetivo a “avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, visando obter os máximos benefícios econômicos e sociais”. Já a administração dos recursos hídricos é o “conjunto de ações necessárias para tornar efetivo o planejamento, com os devidos suportes técnicos, jurídicos e administrativos”.

Como grande parte dos problemas de escassez hídrica se originou a partir da explosão populacional ocorrida no Século XX, houve um processo natural de alteração da forma com que a humanidade tratava a disponibilidades dos recursos naturais. A água passou da condição de bem infinito para *recurso*, notadamente configurando um bem limitado.

Carolo (2007) cita alguns acordos internacionais que prevêm a necessidade do planejamento para a exploração racional dos recursos hídricos:

- Carta Européia da Água. O Conselho da Europa e França em 1968, reiterado pela Declaração de Dublin, Irlanda, em 1992, e

pelas Nações Unidas, conclui que a água é um recurso natural limitado, essencial à vida e ao desenvolvimento;

- Conferência de Estocolmo, Suécia, de 1972, na qual foi apresentada a primeira declaração de preservação do meio ambiente, inserindo a preocupação com a disponibilidade de água doce para abastecimento público e demais atividades humanas;
- Conferência de Caracas, 1976. Promovida pela Associação Internacional de Direitos da Água, indica que a bacia hidrográfica é a unidade básica de gestão hídrica;
- Conferência da Água de Mar del Plata, 1977. Organizada pelas Nações Unidas, recomenda que os usos múltiplos da água devem ser considerados no processo de planejamento;
- Conferência Internacional sobre a Água e o Meio Ambiente, em Dublin, Irlanda, em janeiro de 1992. Os participantes deste fórum solicitaram novas estratégias de avaliação, desenvolvimento e gerenciamento de recursos hídricos mediante o comprometimento político e o envolvimento dos níveis mais altos dos governos até as menores comunidades. Os especialistas constataram que *“a escassez e o uso da água doce são fatores de grande e crescente risco ao desenvolvimento sustentável e à proteção do meio ambiente”*. Dos quatro princípios de orientação a todos os países apresentados no Relatório da Conferência, três foram adotados pela Lei nº 9.433/97, dentre eles a Outorga pelo Uso.
- Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ECO - Rio 1992. A agenda 21, um dos documentos elaborados para este fórum aborda o tema “recursos hídricos”, em seu capítulo 18 intitulado *“Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos.”*
- Conferência sobre Avaliação e Gerenciamento Estratégico dos Recursos Hídricos na América Latina e Caribe realizada na Costa Rica, em 1996. Desta conferência resultou a Declaração de San José, cujo objetivo foi a elaboração de um Plano de Ação, no

contexto do desenvolvimento sustentável, com vistas a assegurar que *“o acesso irrestrito e integrado à água e o gerenciamento integrado dos recursos hídricos reflitam as necessidades socioeconômicas de um país e de seus cidadãos, bem como a preservação do meio ambiente.”*

- Na Convenção de Nova Iorque de 1997, sobre o direito relativo aos usos dos cursos de água internacionais para fins outros que a navegação.
- Na Conferencia Internacional sobre Águas e Desenvolvimento Sustentável ocorrido em Paris, 1998, sua Declaração, em síntese, constatou que a água é tão essencial para o desenvolvimento sustentável quanto para a vida;
- No II Fórum Mundial da Água realizado em Haia, Holanda, em 2000, foi emitida a Declaração de Haia, na qual são reafirmados os princípios, orientações e objetivos dos fóruns supracitados, e salientadas as constantes ameaças da poluição dos recursos hídricos e a crescente escassez da água.

A legislação nacional sobre recursos hídricos acompanhou tal mudança, passando de um alvará no Século XIX a uma legislação específica e complexa nos dias atuais, base legal para a implementação da Política Nacional de Gerenciamento.

Segundo Henkes (2002), a normatização e a institucionalização evoluíram de acordo com as necessidades, interesses e objetivos de cada época. As primeiras constituições brasileiras tutelaram os recursos hídricos para assegurar os direitos de navegação e pesca, tendo em vista a relevância econômica destas atividades para o país. A partir da segunda metade do Século XX, com o desejo desenfreado pelo desenvolvimento econômico "a qualquer custo" a água passou a ser utilizada de forma mais intensa e diversificada e a legislação brasileira passou a tutelar os recursos hídricos visando assegurar a produção energética.

Entretanto ao longo das últimas décadas, a crescente consciência da água como recurso limitado e a preocupação com os problemas resultantes da urbanização e com os riscos de escassez, conduziram a uma reformulação do modelo de gestão de recursos hídricos, passando a considerar os usos

múltiplos. Tal visão foi referendada pela Constituição de 1988 e pela Lei Federal nº 9.433/97, base para a gestão dos recursos hídricos nacionais.

2.1. Bases Legais da Gestão

O Código de Águas, objeto de decreto, em 10/07/1934, é o marco legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, considerando que as constituições anteriores e demais normas infraconstitucionais normatizaram sobre outros aspectos, tais como: domínio, propriedade e competências legislativas (HENKES, 2002). Antevendo o uso intensivo dos recursos hídricos por várias atividades instituiu, em seu Art. 43 e seguintes, a concessão administrativa para fins de utilidade pública das águas derivadas para uso na agricultura, indústria e higiene, e a autorização administrativa para outros fins.

Apesar do Código ter estabelecido uma política hídrica bastante moderna e complexa para a época, abrangendo vários aspectos, tais como: aplicação de penalidades, propriedade, domínio, aproveitamento das águas, navegação, regras sob águas nocivas, força hidráulica e seu aproveitamento, concessões e autorizações, fiscalização, relações com o solo e sua propriedade, desapropriação, derivações e desobstrução; somente foram efetivamente regulamentadas e implantadas as disposições referentes à produção energética, retrato da política desenvolvimentista que caracterizou o país em boa parte do Século XX.

A necessidade de implementação de instrumentos de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais observadas a partir da segunda metade do Século XX foram devidamente contempladas na Constituição Federal de 1988, que dedicou um capítulo exclusivamente ao Meio Ambiente, “uma raridade no mundo” segundo Henkes, (2002).

As inovações promovidas pela Constituição de 1988 para o setor hídrico foram muito importantes, haja vista que grande parte da legislação existente estava defasada, por não dispor de instrumentos necessários à gestão (MUÑOZ, 2000). Além de extinguir o domínio privado das águas existentes no território brasileiro, foram considerados bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes de água de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países ou se estendam a outros países

ou deles provenham. Entre os bens dos Estados se incluem as águas superficiais ou subterrâneas consideradas em seu território geopolítico. A Constituição definiu aos Estados, ainda, a competência para legislar sobre o aproveitamento e utilização dos recursos hídricos de seu domínio, conforme o Art. 26, I e II.

A partir de seu Art. 21, que prevê a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, abriu-se espaço para que as várias unidades da Federação contemplassem os recursos hídricos, de diversas formas, em suas Constituições. Em termos nacionais, o Estado de São Paulo teve a primazia de adotar uma legislação específica sobre recursos hídricos, ainda no ano de 1991. No Nordeste, o Estado do Ceará, em 1992, foi o primeiro a seguir o exemplo ao promulgar a lei estadual de recursos hídricos que previa a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos, os estudos para implantação do usuário-pagador e a organização inicial do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e a definição de critérios de Outorga. (SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1997).

Depois do Ceará, vários estados nordestinos iniciaram a implantação de suas legislações específicas, ocupando um hiato da esfera federal: Sergipe (1995), Bahia (1995), Rio Grande do Norte (1996), Paraíba (1996) e Pernambuco (1997).

Em 1997 foi aprovada a Lei 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), regulamentando o artigo 21 da Constituição Federal. No seu Art. 1º são apresentados os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos, quais sejam:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e atuação do SNGRH;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Observam-se aspectos extremamente importante e inovadores como a visão holística do ciclo hidrológico, a priorização do abastecimento humano, o enfraquecimento da visão energética e a abertura para a participação social no processo de gestão das águas. Em resumo, os fundamentos e diretrizes da Lei nº 9.433 são:

- que o gerenciamento dos recursos hídricos deve ser integrado, descentralizado e participativo sem a dissociação dos aspectos qualitativos e quantitativos, considerando as fases aérea, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico;
- que a água, como recurso limitado que desempenha importante papel no processo de desenvolvimento econômico e social, impõe custos crescentes para sua obtenção, assim, a cobrança pelo uso da água é entendida como fundamental para a racionalização de seu uso e conservação e instrumento de viabilização das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos;
- que, sendo os recursos hídricos bens de uso múltiplo e competitivo, a Outorga de direitos de seu uso é considerada instrumento essencial para o seu gerenciamento;
- que o aproveitamento dos recursos hídricos deve ter como prioridade maior o abastecimento das populações;
- que os reservatórios de acumulação de águas superficiais devem ser incentivados para uso de múltiplas finalidades;
- que os corpos de águas destinados ao abastecimento humano devem ter seus padrões de qualidade compatíveis com esta finalidade.

Para atingir seus objetivos, a Lei define seis instrumentos:

a) os Planos de Recursos Hídricos, a serem elaborados por bacia, por estado e para o país, representando o resultado de um processo de discussões e definições, ou seja, de um acordo social, indicando o

desejo da população, dos usuários e do poder público acerca do futuro das águas e do meio ambiente;

b) o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, ou seja, o estabelecimento, por parte da sociedade, do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um dado segmento do corpo de água ao longo do tempo, assegurando a qualidade da água compatível com os usos mais exigentes a que se destinam e diminuindo os custos do combate à poluição mediante adoção de ações preventivas permanentes;

c) a Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, que é um ato administrativo pelo qual a autoridade Outorgante concede ao Outorgado o direito de uso do recurso hídrico, por prazo determinado e de acordo com os termos e condições expressas no ato, permitindo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e garantir o direito de acesso da água;

d) a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, que se constitui como uma retribuição que o usuário faz à sociedade por utilizar privativamente um bem que é de uso comum e que objetiva reconhecer a água como um bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos;

e) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que se constitui em um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre os recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão, cujos princípios devem ser a descentralização na obtenção e produção de dados e informações, coordenação unificada do sistema e garantia de acesso às informações para toda a sociedade;

f) a compensação a Municípios que, segundo Campos (2001), trata-se de um assunto controverso e que na verdade não seria um instrumento de gestão propriamente dito mas sim de negociação política, especialmente nos casos de transferência de água entre bacias hidrográficas.

Em 17 de agosto de 2000 o Estado do Piauí promulga a Lei Estadual nº 5.165 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH). Por ser posterior à legislação Federal, a chamada Lei das Águas piauiense já foi elaborada em consonância com prerrogativas da Lei nº 9.433, o que evitou os pontos conflitantes verificados em leis estaduais anteriores como as de São Paulo e do Ceará que tiveram que ser readequadas.

Mantendo os mesmos fundamentos, objetivos e diretrizes da sua correspondente Federal, a Lei nº 5.165 adotou, além dos seis estabelecidos pela Lei nº 9.433, um sétimo instrumento: o Fundo Estadual de Recursos Hídricos, destinado a financiar parte dos recursos necessários ao funcionamento do SEGRH e estudos e projetos que fortaleçam a gestão dos recursos hídricos no Piauí.

Hoje no Estado apenas dois instrumentos do PERH estão devidamente regulamentados a partir de Decretos Governamentais, conforme prevê a legislação vigente: a Outorga de direito de uso (Decreto nº 11.341 de 22 de março de 2004) e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Decreto nº 12.212 de 17 de maio de 2006).

Quanto ao funcionamento do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, atualmente existem o órgão consultivo, deliberativo e normativo central do Sistema, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PI, regulamentado pelo Decreto nº 10.880 de 24 de setembro de 2002, e o órgão central, gestor e coordenador do Sistema, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMAR/PI, criada pela Lei nº 4.797 de 24 de outubro de 1995. O Estado não dispõe, ainda, de nenhum órgão deliberativo e normativo de bacia hidrográfica, os chamados Comitês de Bacias Hidrográficas.

2.2. A Outorga de Direito de Uso

A Lei Federal nº 9.433/97 (Art. 5º, III) e, por conseguinte a Lei Estadual nº 5.165 (Art. 4º, III), estabelecem como um dos instrumentos da Política de Recursos Hídricos a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, a qual, segundo Silva e Monteiro (2004) constitui o elemento central de controle dos

recursos hídrico e indutor do ordenamento dos usos. Tendo em vista a consonância entre as legislações, apresentar-se-á os pontos principais a partir da legislação federal e, posteriormente, especificidades da legislação piauiense.

O Art. 11 da Lei nº 9.433 estabelece que o regime de Outorga de direito de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício de acesso à água.

O Art. 12 dispõe sobre os usos de recursos hídricos que estão sujeitos à Outorga pelo Poder Público.

- derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- lançamento em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transportes ou disposição final;
- aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

O Art. 12, § 1º dispõe sobre algumas formas de usos que independem de Outorga, são elas:

- o uso de recursos hídricos para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- as acumulações de volumes de água considerados insignificantes;

Como se pode observar o Art. 12 § 1º delibera sobre alguns usos insignificantes, tirando a obrigatoriedade da Outorga, mas não da necessidade de computá-las no balanço quantitativo, já que a soma dos volumes insignificantes pode se tornar significativa. Outra observação seria quanto aos

valores a serem considerados insignificante, que devem ser tomados com base na classe do corpo d'água e nos usos que se faz dessa água.

O Art. 13 delibera que a Outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, inclusive considerando a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso.

O parágrafo único deste artigo ressalta que a Outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo da água.

O Art. 14 § 1º, estabelece que o Poder executivo Federal poderá delegar aos estados e municípios e ao Distrito Federal competência para conceder Outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União.

Já o Art. 16 diz que toda Outorga de direito de uso de recursos hídricos far-se-á por prazo não excedente a 35 (trinta e cinco) anos, renovável.

A Outorga de direito de uso constitui, sem sombra de dúvida, no principal instrumento da Política de Recursos Hídricos, atuando diretamente sobre a quantidade e a qualidade da água existente em uma região. Tal instrumento de comando e controle permite:

- a) a identificação precisa dos usuários;
- b) o conhecimento sobre a quantidade máxima utilizável por cada usuário;
- c) alocar a água disponível de forma a atenuar ou, até mesmo, erradicar os conflitos entre usuários competidores pela água;
- d) o controle da qualidade da água a partir da limitação do lançamento de efluentes líquidos nos cursos d'água superficiais;
- e) o controle do uso tanto dos recursos superficiais quanto subterrâneos;
- f) a segurança ao usuário quanto a efetiva disponibilidade da água em quantidade e qualidade adequadas ao seu empreendimento a qualquer instante;
- g) que nenhum novo usuário se estabeleça provocando prejuízos aos demais já existentes.

Apesar de todos os pontos positivos, o modelo de Outorga adotado no país apresenta uma grave limitação quanto ao aspecto sócio-econômico dos usuários Outorgados. Segundo o modelo vigente, quando um usuário solicita a

Outorga de direito de uso para um empreendimento que consumirá uma certa quantidade de água, o órgão gestor analisa:

1) se a quantidade de água solicitada é compatível com o tipo de empreendimento;

2) se existe disponibilidade hídrica suficiente para atender a tal usuário e a todos os outros usuários já estabelecidos na bacia;

3) se a captação da água (ou lançamento de efluente) no ponto específico não prejudica nenhum usuário já estabelecido;

4) se o tipo de uso está compatível com os usos julgados como prioritários pelo Plano de Recursos Hídricos da Bacia.

Caso sejam atendidas as premissas, a Outorga é concedida. Assim, os primeiros usuários poderão ser Outorgados em detrimento de outros empreendimentos que poderiam render maiores dividendos sócio-econômicos à região mas que “chegaram por último” na corrida pela água.

Tal fato é mais agravado pelo prazo elástico de concessão (como visto até 35 anos). Diferente dos Estados Unidos, por exemplo, um usuário não pode ceder a Outorga de direito de uso, em todo ou em parte, para um outro usuário.

2.3. Legislação Piauiense

O decreto nº 11.341, de 22 de março de 2004, regulamenta a Outorga preventiva de uso e a Outorga de direito de uso de recursos hídricos do Estado do Piauí, nos termos da Lei nº 5.165 de 17 de agosto de 2000.

A legislação estadual segue a mesma redação da legislação nacional, diferindo sobre os usos insignificantes que passaram a ser chamados de uso de pouca expressão.

A resolução CERH nº 004/05 de 26 de abril de 2005, dispõe sobre critérios e procedimentos provisórios para Outorga preventiva e Outorga de direito de uso de recursos hídricos transcritos a seguir:

O Art. 3º rege que fica dispensado de Outorga, considerando-se como uso de pouca expressão, os volumes acumulados ou captações nos seguintes tipos de obras hídricas.

I - Açude com volume de acumulação de até 50.000 m³, com área de espelho de água menor ou igual a 3 (três) hectares, ou ainda, altura máxima do barramento menor ou igual a 6 (seis) metros;

II - Poços com vazão de uso de até 2 m³/h (dois metros cúbicos por hora), ou ainda, poços com caráter exclusivo de pesquisa;

III - Captações a fio d'água com vazão média contínua menor ou igual a 0,56 L/s (cinquenta e seis centésimos de litros por segundo);

IV - Barragens de derivação ou de regularização de nível cuja bacia hidráulica não exceda a 2 ha (dois hectares), ou com altura máxima menor que 3 m (três metros);

V- Obras de transferência, entre bacias hidrográficas, de vazões inferiores a 0,56 L/s (cinquenta e seis centésimos de litros por segundo).

Além destas fica dispensada a Outorga de acordo com o art 4º, o uso de água para satisfação das necessidades da população de núcleos rural inferiores ou iguais a 600 (seiscentos) habitantes.

O art 6º trata sobre as vazões de referência a serem utilizadas, para cálculo das disponibilidades hídricas, em cada local de interesse e que estes deverão estar de acordo com os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas.

No primeiro parágrafo deste mesmo artigo rege que até que as vazões de referência sejam estabelecidas com maior precisão nos Estudos de Disponibilidade e de Demanda de Água, nos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas, deverão ser adotadas como vazões de referência: para rios perenes ou perenizados, Q₉₅ (vazão média mensal com 95% de garantia); e para reservatórios, Q₉₀ (vazão regularizada com 90% de garantia).

E no segundo parágrafo trata que nas Outorgas de direito de uso para as derivações ou captações em corpo hídrico superficial deverá ser prevista uma vazão ambiental para jusante equivalente ao mínimo de 20% (vinte por cento) da vazão de referência, ou seja, deverão ser Outorgados no máximo 80% (oitenta por cento) da Q₉₅ para rios perenes ou perenizados, e no máximo 80% (oitenta por cento) da Q₉₀ para reservatórios;

Para poços a vazão máxima outorgável será de 50% (cinquenta por cento) da vazão de referência, encontrada em teste de bombeamento com duração mínima de 24 (vinte e quatro) horas, realizado com bombeamento,

devendo a vazão Outorgada ser limitada às necessidades da demanda prevista para o horizonte de projeto ou da vida útil do empreendimento.

A maior dificuldade atual na implementação da normatização está na inexistência de Planos de Bacias, do Plano Estadual de Recursos Hídricos e de Comitês de Bacias. Por este motivo o CERH resolveu limitar o prazo de validade das Outorgas, bem como evitar a concentração da água por um único usuário.

Assim, nas fontes de usos múltiplos a vazão outorgável para cada usuário individual será de no máximo 25% (vinte e cinco por cento) da vazão outorgável da fonte, exceto para os usos prioritários: abastecimento humano e dessedentação animal.

Já o prazo de validade máximo das Outorgas foi definido em até 3 (três) anos, a critério da SEMAR. Atualmente o corpo técnico deste órgão esta outorgando para o prazo máximo de 2 (dois) anos para qualquer requerimento e independente da finalidade ou da natureza jurídica de interessado.

2.4. Critérios para a Concessão da Outorga de Direito de Uso

A Outorga é classificada na literatura como um instrumento de comando e controle em que uma cota (porção) das disponibilidades hídricas é concedida para um dado uso, por um tempo limitado, a determinado usuário (RIBEIRO, 2000). Assim, a eficácia do instrumento está na alocação adequada da água entre os usuários concorrentes.

As principais metodologias que permitem o estudo de alocação de água numa bacia são baseadas:

- no uso de dados estatísticos das vazões ou de disponibilidade hídrica;
- em modelos de simulação de cenários e disponibilidades da bacia, que operam como sistemas de apoio a decisão;
- em modelos de otimização dos resultados das simulações segundo critérios de Outorga definidos pelos tomadores de decisão.

Para Campos e Studart (2001) duas questões são relevantes no estabelecimento de uma Lei de Recursos Hídricos quanto à Outorga de direito

de uso: o máximo valor outorgável (volume, vazão ou ambos) e como alocar a água em época de escassez. Essas decisões são bastante regionais pois dependem fortemente do regime dos rios e de seus controles.

Uma das questões centrais na concessão das Outorgas diz respeito ao estabelecimento de limites nos totais de Outorgas que podem ser concedidas em uma determinada fonte hídrica ou em sistemas de fontes (reservatórios e aquíferos etc.). Dois tipos de critérios para essa definição podem ser encontrados na literatura: o da *vazão de referência* e o da *vazão excedente* (CAMPOS e STUDART, 2001)

No Nordeste tem sido mais adotado o critério *vazão de referência*, e normalmente tem sido adotada uma fração próxima da unidade da vazão regularizada com 90 % de garantia pelos reservatórios superficiais.

Nos rios perenes, há preferência por se tomar como vazão de referência a vazão média mínima de sete dias consecutiva, chamada $Q(7,10)$ ou uma porção da mesma, como adotado no Estado de Minas Gerais.

As vazões de referência recebem a crítica de serem muito reduzidas, e o que é Outorgado é uma fração delas. Assim, o que ocorre na prática são vazões bem maiores às de referência durante alguns meses do ano o que ocasiona um prejuízo à sociedade, pois os volumes não utilizados escoarão para o oceano, seja a partir do próprio curso d'água, seja a partir do rio principal do qual é afluente. Entretanto, para que essa vazão excedente possa ser Outorgada é necessário conhecer as suas garantias de ocorrência e estabelecer um esquema de racionamento de água. O critério de *vazão excedente* foi proposto por Pereira e Lanna (1996) e testado para a bacia dos sinos, no Rio Grande do Sul.

A tabela 01 exhibe critérios de Outorga adotados por alguns estados que avançaram na prática deste instrumento de gestão, demonstrando que há diferenças substanciais que, pode criar um quadro confuso para o próprio usuário da água, dificultando a gestão.

Além da quantidade máxima de água outorgável é importante a verificação da vazão total comprometida com usos de pequena expressão que dispensam a Outorga de direito de uso, pois tais valores acumulados podem comprometer o balanço oferta x demanda. Todos os Estados do Nordeste que já possuem sistema de Outorga implantado têm definidos os valores dos usos

isentos de Outorga, seja na lei ou em sua regulamentação, ou através de Resolução do Conselho Estadual. O quadro 01 apresenta os valores isentos de Outorga adotados pelos estados do nordeste e o respectivo respaldo jurídico, detectando-se diferenças entre os valores adotados.

Quadro 01 - Valores máximos outorgáveis

ESTADO	VALORES DE REFERÊNCIA	VALORES MÁXIMOS OUTORGÁVEIS	PREVISÃO LEGAL
AL	Q_{90}	$0,9 \times Q_{90}$ $0,8 \times Q_{90}$ (captações) $0,8 \times Q_{R90}$ (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais (perenes)	Decreto 006/01
BA	Q_{90} a nível diário $QR90$	$0,95 \times Q_{R90}$ (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais intermitentes) $0,20 \times Q_{90}$ (usuário único) Nos casos de abastecimento humano os dois primeiros limites poderão atingir até 95%.	Decreto 6.296/97
CE	Q_{90}	$0,9 \times Q_{90}$ $0,333 \times Q_{90}$ (lagos territoriais ou de lagoas)	Decreto 23.067/ 94
MA	Não Há	Não Há	Não Há
PB	Q_{90}	$0,9 \times Q_{90}$ $0,333 \times Q_{90}$ (lagos territoriais ou de lagoas)	Decreto 19.260/97
PE	Q_{90}	Não Há	Não Há
PI	Rios perenes ou perenizados, Q_{95} ; e para reservatório, Q_{90}	$0,8 \times Q_{95}$ (rios perenes ou perenizados), e $\leq 0,8 \times Q_{R90}$ para reservatórios	Resolução 04/05 do CERH
RN	Q_{90}	$0,9 \times Q_{90}$	Decreto
SE	Q_{85} Q_{95}	$0,3 \times Q_{90}$	Resolução CONERH

Fonte: adaptado de SILVA et Al., 2007

Obs: Q_{R90} – vazão regularizada (liberada por açude) com garantia de ocorrência em 90% do tempo (nove anos em dez, por exemplo); Q_{80} – vazão com permanência de 80%, ou seja, vazão que é igualada ou superada em 80% do tempo; Q_{90} – vazão com permanência de 90%, ou seja, vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo; Q_{95} – vazão com permanência de 95%, ou seja, vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo.

3. OUTORGA E SEMI-ÁRIDO

Segundo Vieira (1994) a água, em regiões semi-áridas como o Nordeste, é insumo básico chave, constituindo-se até em fator limitante do nível de desenvolvimento a ser atingido. A melhor distribuição interna dos recursos hídricos da região, e mesmo a importação de outras regiões, são fatores a serem cuidadosamente considerados. A sustentabilidade hídrica está diretamente relacionada “ao máximo número de usuários e suas demandas associadas que determinado ambiente possa permanentemente prover”. Compatibilizar os usos e demandas de água com a disponibilidade existente é certamente o caminho da desejada sustentabilidade dos recursos hídricos.

Nas regiões semi-áridas, enfoque desse estudo, a escassez de água é de grande interesse. Nessas áreas, a precipitação é tipicamente insuficiente e distribuída irregularmente intra e interanualmente, e a evapotranspiração é alta em relação à precipitação, acompanhada de limitações nas possibilidades de extração de água subterrâneas, devido tanto à geologia (afloramento do embasamento cristalino), quanto à salobridade dos solos que é transmitida à água.

As características climáticas e geológicas do semi-árido nordestino condicionam aos cursos d'água da região o caráter intermitente, apresentando altas vazões durante o período chuvoso que dura, em média, de três a quatro meses, e vazões nulas durante o período de estiagem. Para grande parte do Nordeste brasileiro há a expectativa da chuva durante o “inverno” e a certeza da seca no “verão”.

O combate a essa vulnerabilidade passa necessariamente pela construção de grandes reservatórios de acumulação com capacidade de regularização plurianual. Segundo Campos (2005), um reservatório superficial, ou açude, consiste em uma intervenção do homem na natureza com o objetivo de adaptar os padrões de vazões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade, atuando como um veículo que transporta a água ao longo do tempo: os excedentes dos períodos úmidos são estocados para uso nos períodos de estiagem.

Quadro 02 - Valores isentos de Outorga

ESTADO	VALORES ISENTOS	PREVISÃO LEGAL
AL	Captações de água subterrânea < 1.000 l/h	Decreto 006/01
BA	Captações < 0,5 l/s Reservatórios com acumulação < 200.000 m ³	Decreto 6.296/97
CE	Captação < 2.000 l/h	Decreto 23 .067/94
MA	Não Há	Não Há
PB	Captação < 2.000 l/h	Decreto 19.260/97
PE	Captações < 0,5 l/s (43 nv/dia) Reservatórios com acumulação < 200.000 m ³ , em rios intermitentes Captações de água subterrânea:- q < 5 m ³ /dia, para uso doméstico ou rural; - destinadas exclusivamente a pesquisa independente da vazão	Não Há
PI	Açude com volume <50.000 m ³ , com área de espelho de água ≤ a 3 (três) hectares, ou ainda, altura máxima do barramento ≤ a 6 (seis) metros;- Poços com vazão de uso de até 2,0m ³ /h;- Captações a fio d'água com vazão média contínua ≤ a 0,56l/s;- Barragens de derivação ou de regularização de nível cuja bacia hidráulica ≤ a 2,0ha. , ou com altura < 3m ;-Obras de transferência, entre bacias hidrográficas, de vazões < a 0,56 L/s	CERH Resolução 04/05
RN	Captações de água subterrânea < 1.000 l/h	Decreto 13.283/97
SE	Satisfação das necessidades da população de núcleos rurais inferiores ou iguais a 80 casas ou 400 habitantes Poços Rasos (profundidade < 20 m), Medianamente profundos (20 a 60 m de profundidade) e Profundos (profundidade > 60 m): q < 2.500 l/h. Captações a fio d'água: q < 2500 l/h (0,7 l/s) Construção de barragem de acumulação < 50.000 m ³ , área de espelho d'água < 10 tarefas (3 ha), ou altura de barramento < 7 m Construção de barragens de nível < 3 km ² Transposição de bacias: q < 2.500 l/h.	CONERH Resolução 01/01

Fonte: adaptado de SILVA et Al., 2007

Entende-se como vazão regularizada, a vazão constante, ou firme, que é liberada por um reservatório superficial. Em geral essa vazão é associada a uma garantia de ocorrência (ou permanência), que varia em função do uso. Para o Nordeste, tendo em vista a extrema irregularidade do regime pluviométrico, são consideradas garantias variando entre 80 e 95%, com predominância da chamada Q_{R90} , como já apresentado na quadro 01.

Para Campos (2005), é a regularização das águas que torna possível a sobrevivência de razoáveis contingentes humanos no semi-árido, devendo ser objetivo principal de um reservatório ali construído a regularização da máxima quantidade de água dentro das limitações naturais e econômicas.

Neste sentido enfatiza que um dos mais importantes eventos meteorológicos que afetam os recursos hídricos é justamente “a magnitude e duração das secas”. E adiante acrescenta: “vazões baixas durante alguns anos são suplementadas por grandes reservatórios com suas próprias vulnerabilidades”. Os níveis de garantia das vazões regularizadas por esses reservatórios refletem o efeito dessa vulnerabilidade, no sentido inverso: maior garantia, menor vazão regularizada.

A capacidade de regularização de um reservatório é determinada por dois fatores principais: a capacidade máxima de acumulação de água; e a série de vazões afluentes ao mesmo. Em termos teóricos, a máxima vazão regularizável seria a média das vazões afluentes, entretanto, quanto maior o coeficiente de variação dos deflúvios anuais (C_v), ou seja, quanto mais variáveis em torno da média forem as vazões, menor a capacidade de regularização. Segundo Campos (2005), o aumento de C_v de 0,6 para 1,6 provoca, para o mesmo reservatório, a redução de sua capacidade de regularização de 64% para apenas 27%.

Assim, a acuidade na avaliação da vazão regularizada por um açude está diretamente relacionada ao conhecimento preciso das vazões afluentes, ou seja, da hidrologia local. Uma das formas de se fugir da crônica carência de informações hidrológicas que caracteriza o Brasil de forma geral, e o Nordeste de forma particular, consiste na utilização integrada de séries sintéticas de afluências, modelos de simulação e do chamado “Método de Monte Carlo”, possibilitando a determinação mais precisa da capacidade de regularização de um reservatório.

Como as séries sintéticas são distintas entre si, obtém-se diversos resultados das simulações, ao invés de um único valor oriundo da série observada, o que possibilita extrair mais completamente as informações contidas na série histórica (KELMAN, 1987).

Além da definição do limite superior das vazões outorgáveis, Costa (2003) ressalta a necessidade da adequação dos instrumentos preconizados pela lei 9.433/97, como uma alternativa para implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, dentre estes, a adequação do instrumento Outorga às realidades regionais que no caso do semi-árido, deve ser flexibilizada para a curta duração e sujeita a regimes de racionamento, aliadas aos sistemas de informações essenciais aos processos de tomada de decisão.

Assim, para se garantir a alocação otimizada das águas reservadas é necessário, além da avaliação mais precisa dos volumes regularizáveis, da definição de critérios mais ou menos rígidos para a definição do máximo valor outorgável, e da definição de um prazo ótimo de validade da Outorga, a construção de um sistema de suporte a decisão que oferece projeções e estimativas relativamente confiáveis para as disponibilidades, em um horizonte de curto e médio prazo.

4. ÁREA DE ESTUDO

As regiões semi-áridas caracterizam-se pela aridez do clima e pelo déficit hídrico, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e pela presença de solos pobres em matéria orgânica. O prolongado período seco anual eleva a temperatura local, caracterizando a aridez sazonal. De acordo com essa definição, a aridez de uma região depende da quantidade de água precipitada e da temperatura que influencia a perda de água por evapotranspiração potencial.

As zonas áridas, semi-áridas e desérticas do mundo, vistas na figura 01, abarcam uma superfície de 48,35 milhões de quilômetros quadrados, equivalente a 36,3% da área do globo. Desse total, 21 milhões de quilômetros quadrados são semi-áridos, 21,5 milhões de quilômetros quadrados são extremamente áridos e 5,85 milhões de quilômetros quadrados são desérticos. Nessas regiões vivem cerca de 630 milhões de pessoas. Essas terras estão distribuídas em cerca de 2/3 dos países existentes no mundo. (ADENE, 2005).

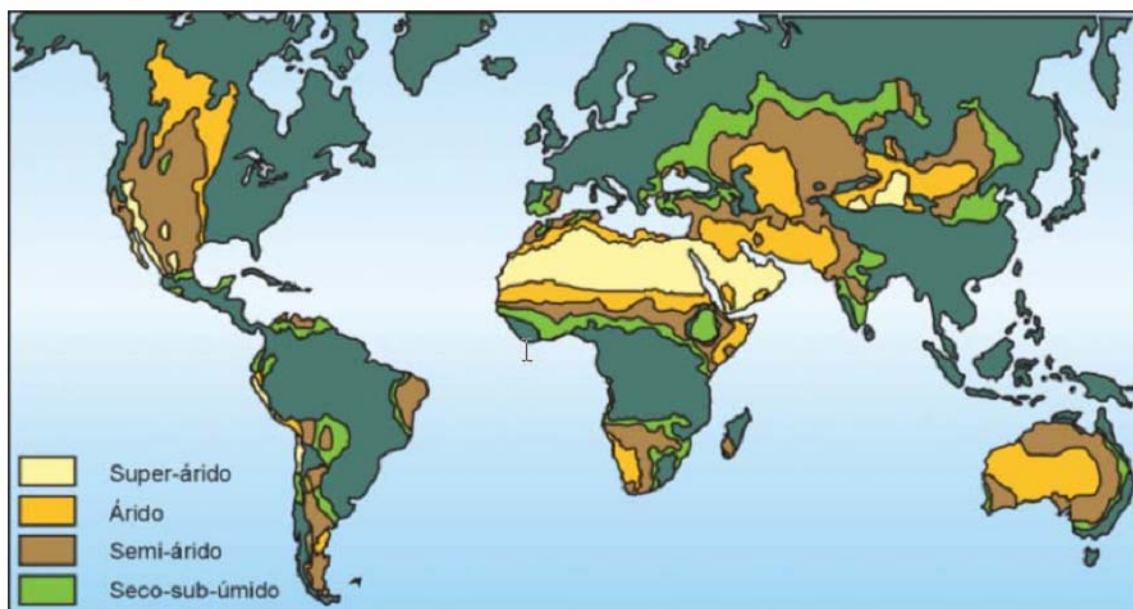


Figura 01: Áreas de limitação hídrica no mundo
Fonte: IRPAA, 1996.

No Brasil, a área de domínio do semi-árido teve outras denominações como Sertão e o Nordeste das Secas. Oficialmente, a primeira delimitação se deu em 1936, com o Polígono das Secas. O conceito técnico de semi-árido

decorre de uma norma da Constituição Brasileira de 1988 que define como semi-áridas áreas com precipitação média anual igual ou inferiores a 800 mm.

Em 2005 o Ministério da Integração Nacional atualizou a área de abrangência oficial do semi-árido, conforme a portaria nº 89, de março de 2005. Para a nova delimitação foram considerados três critérios técnicos: a precipitação anual inferior a 800 mm; um índice de aridez de 0,5, no período de 1961 e 1990, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial; e o risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990 (SILVA, 2006).

Segundo a delimitação atual, apresentada na figura 02, o semi-árido abrange 1.133 municípios com uma área de 969.589,4 km², correspondendo a quase 90% da Região Nordeste e mais a região setentrional de Minas Gerais.

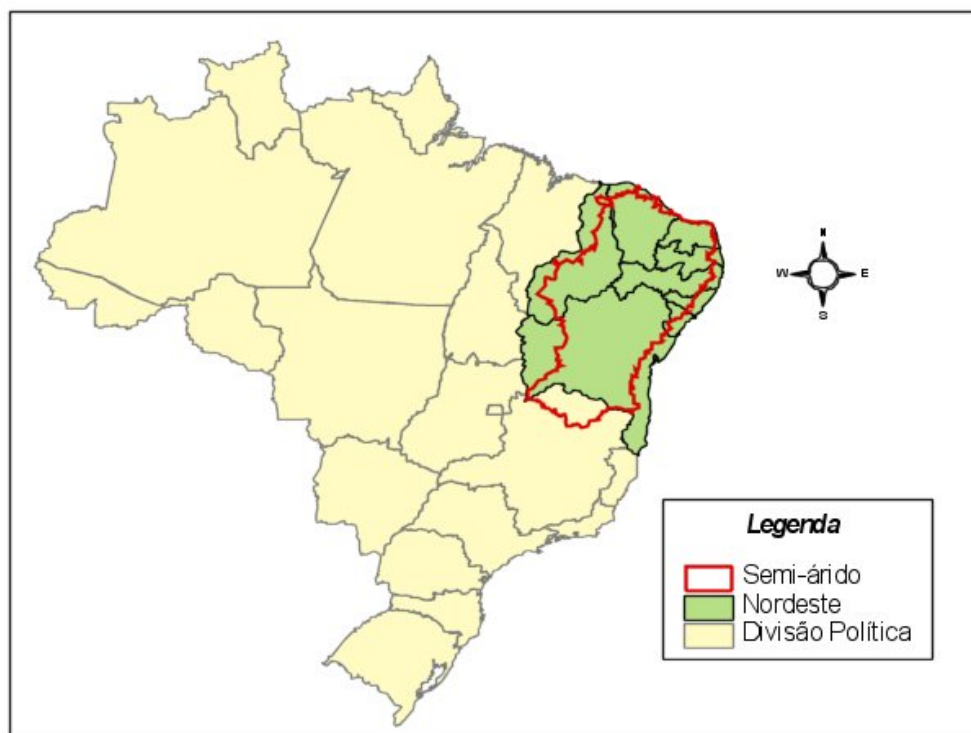


Figura 02: Delimitação Semi-árido no Brasil.

No Piauí a região semi-árida abrange 129 municípios que correspondem a uma área de 152,49 km², abrangendo todo o limite oriental do estado, como pode ser observada na figura 03, que traz ainda em destaque a bacia do Canindé, maior bacia hidrográfica estadual.

No Piauí, a construção de grandes barragens, principalmente na região semi-árida, tem contribuído à perenização de grandes trechos de rios, disponibilizando água permanentemente a jusante do barramento e criando grandes expectativas na população local. Entretanto, por falta de ações governamentais articuladas, a utilização das águas reservadas vem se dando de forma desordenada e sem qualquer integração entre os próprios usuários e com as instituições que detêm a responsabilidade de operação e/ou administração do reservatório.

Esta desarticulação somada à não existência de regras de operação dos reservatórios que estabelecem o equilíbrio oferta-demanda daquelas fontes hídricas, têm gerado conflitos entre os seus usuários e até perdas econômicas quando, por exemplo, delas é liberada água na época do plantio sem aviso prévio. Estes fatos caracterizam a incipiência da gestão das águas armazenadas nos reservatórios em todo o Estado.

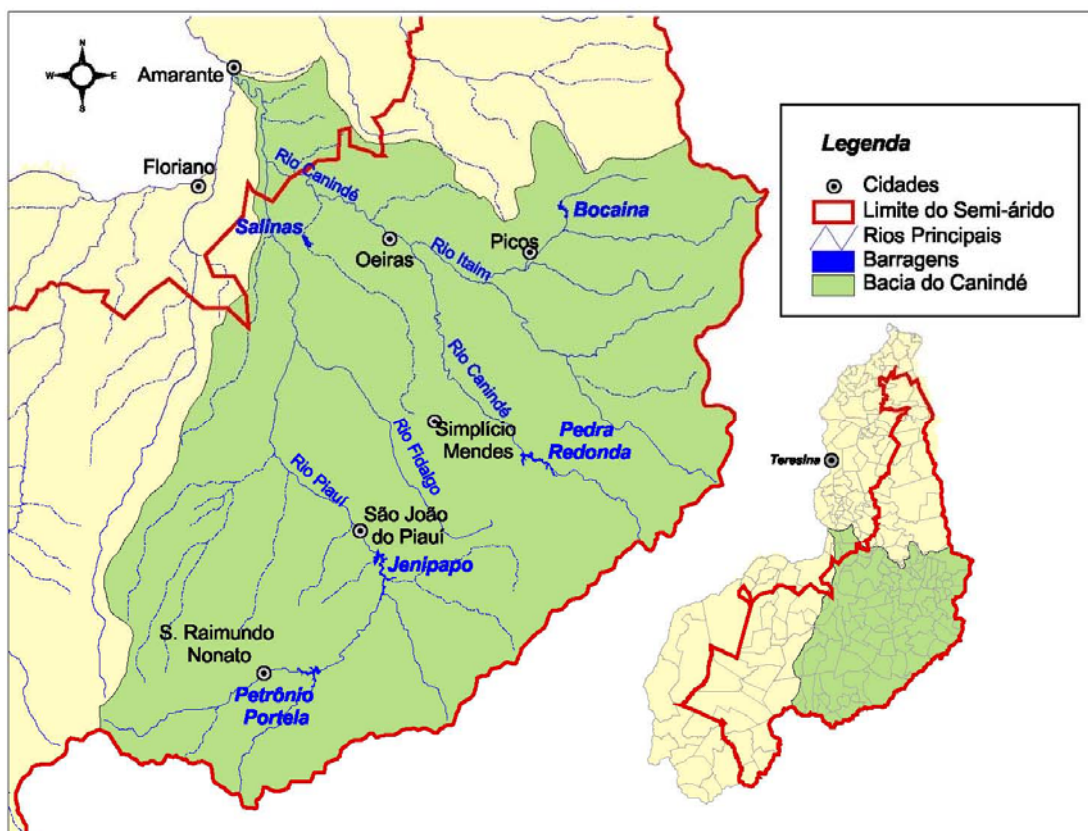


Figura 03: Semi-árido Piauiense

A Bacia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi a bacia do Canindé, pois corresponde a 48,3% da região semi-árida do estado além de

abrigar 5(cinco) grandes reservatórios com capacidade de regularização plurianual, ou seja, com capacidade de armazenar mais de 10 milhões de m³ de água, são eles: Jenipapo, Bocaina, Petrônio Portela, Pedra Redonda e Salinas, cuja localização é também apresentada na figura 03.

As principais características destas barragens são apresentadas na quadro 03.

Quadro03 – Características principais das barragens analisadas

Barragem	Município onde se localiza	Rio Barrado	Capacidade (10 ⁶ m ³)	Municípios de influência
Bocaina	Bocaina	Guaribas	106	São Luiz do Piauí, Picos, Sussuapara, Santa Cruz do Piauí, Bocaina, Paquetá, São João da Canabrava,
Jenipapo	São João do Piauí	Piauí	185	São João do Piauí, São José do Peixe, Ribeira do Piauí, Capitão Gervásio de Oliveira
Pedra Redonda	Conceição do Canindé	Canindé	216	Conceição do Canindé, São Francisco de Assis, Lagoa do Barro, Queimada Nova, Campo Alegre do Fidalgo, Isaias Coelho, Simplício Mendes, Bela Vista do Piauí, Nova Santa Rita, Floresta do Piauí e Campinas do Piauí.
Petrônio Portela	São Raimundo Nonato	Piauí	181	São Raimundo Nonato, Coronel José Dias e São Lourenço. Será ampliado para os municípios: Anísio de Abreu, São Brás do Piauí, Jurema, Várzea Branca, Dirceu Arcoverde e Bonfim do Piauí
Salinas	São Francisco do Piauí	Salinas	385	Nazaré do Piauí, São Francisco do Piauí, Oeiras, Colônia do Piauí, São João da Varjota e Santo Inácio do Piauí.

4.1. Caracterização da bacia

A Bacia do Canindé está localizada aproximadamente entre as coordenadas 5°38' e 9°34' de latitude sul e entre 40°55' e 43°25' de longitude a oeste de Greenwich.

A área da bacia é da ordem de 79.733km², correspondendo a 31,8% da área total do Estado.

A hidrografia desta bacia é praticamente formada pelo rio Canindé e os seus afluentes, destacando-se os rios Piauí na margem esquerda e o Itaim, na margem direita, todos eles intermitentes.

O rio Canindé nasce na serra Dois Irmãos, nos domínios do embasamento cristalino, no município de Acauã, da junção de várias torrentes de inverno, das quais se destacam duas, que podem ser consideradas formadoras do rio: Ingá e Chapéu. O rio Canindé, com um curso de cerca de 470km, possui vários afluentes.

Deixando o Município de Acauã, o rio Canindé passa por Paulistana e vai para Conceição do Canindé; serve de limite entre os municípios de Isaías Coelho e Simplício Mendes; corta Campinas e Santo Inácio; separa Colônia do Piauí de Wall Ferraz e atravessa Oeiras, Santa Rosa e Cajazeiras, onde recebe o rio Piauí; corta, ainda, Arraial, Francisco Ayres e Amarante, onde deságua no rio Parnaíba.

O rio Piauí nasce no município de Caracol; atravessa o município de Anísio de Abreu, São Braz do Piauí, Várzea Branca e Bonfim do Piauí; corta São Raimundo Nonato e Coronel José Dias, penetra em São João do Piauí e passa por Ribeira do Piauí e São José do Peixe, onde recebe o rio Fidalgo. Passa ainda por São Francisco do Piauí e por Nazaré, onde forma a lagoa de mesmo nome e vai desaguar no Canindé, a cerca de 7 km de Francisco Ayres.

Apesar de sua natureza torrencial, o Piauí é o rio da bacia parnaibana que mais demora a encher, deixando de apresentar fluxo de água várias vezes na estiagem. Possui um olho d'água no próprio leito, em São José do Piauí, a que chamam Portão. Além da lagoa de Nazaré forma ainda as do Quartel e Jenipapo.

O Itaim nasce a 700m de altitude no Município de Curral Novo do Piauí, junto à fronteira do da Bahia, num prolongamento da Serra dos Dois Irmãos.

Com um curso de 210 km, desemboca no Canindé no Município de Oeiras, depois de atravessar Betânia, Jacobina, Itainópolis, Paquetá e Santa Cruz do Piauí. Normalmente este rio armazena mais água do que o rio onde deságua.

Na bacia encontram-se construídas dez barragens de médio e grande porte, dentre elas as barragens de nosso estudo: Barragem Bocaina, Barragem Jenipapo, Barragem Pedra Redonda, Petrônio Portela e Barragem Salinas.

A região da bacia do Canindé é caracterizada, segundo Köppen, como pertencente ao tipo BSH, clima semi-árido, que aliado à distribuição e irregularidades das precipitações, imprime nesta zona duas estações: a seca, denominada regionalmente de verão, e a chuvosa, também chamada de inverno.

O período chuvoso chamado inverno, começa em meados de novembro, prolongando-se descontinuamente até abril, quando as chuvas vão se tornando raras. O mês de março é o que apresenta, em geral, o maior índice de precipitação; o chamado verão, ou estação seca, tem início em maio e estende-se até outubro; julho e agosto são os meses mais secos.

As condições climáticas e geológicas da bacia condicionam que praticamente toda a rede fluvial seja intermitente, secando, geralmente, logo após os meses de maio ou junho.

5. MODELOS DE SIMULAÇÃO

Gerenciar um sistema de recursos hídricos significa atuar no sentido de assegurar uma distribuição temporal e espacial da água que melhor se coadune com os interesses de uma comunidade. “Atuar no sentido de assegurar” por que não se pode estar certo de que o objetivo do gerenciamento será atingido, tantas são as incertezas associadas a qualquer ação que se pode tomar (KELMAN, 1987)

Ainda seguindo o raciocínio, Lanna (1995), afirma que a incertezas ou a aleatoriedade do futuro é a maior dificuldade com que qualquer processo decisório se defronta. Tudo que se conhece é o passado e tudo que importa no processo decisório é o futuro.

Com o advento dos computadores, cada vez mais velozes e com maior capacidade no armazenamento e processamento de dados, cresceram em número e em qualidade os modelos que buscam uma melhor aproximação com eventos naturais.

Basicamente, existem duas classes de modelos utilizadas na análise de sistemas de recursos hídricos: otimização e simulação. Na primeira, os vários aspectos do projeto são considerados analiticamente em uma função objetivo (geralmente econômica ou financeira), que é maximizada ou minimizada, a depender do caso, sujeita a determinadas restrições. Nesses casos, visam-se, buscar soluções ótimas, ou famílias de soluções ótimas, em geral obtidas por meio de técnicas como programação linear, programação não-linear e programação dinâmica. Já nos modelos de simulação, não existe a preocupação de encontrar a melhor solução, mas sim analisar cenários alternativos e verificar o comportamento do sistema.

Segundo Azevedo *et al.*(1997) citando Maars *et al.*(1962), a simulação é uma técnica de modelagem que é utilizada para aproximar, por meio de equações, o comportamento de um sistema no computador, representando todas as características do sistema por uma descrição matemática.

O objetivo principal de modelos de simulação em análise de sistemas hídricos é “representar o comportamento de sistemas físicos de forma mais detalhada possível e fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real” (LIMA *et al.*, 2001).

5.1. Modelos de Rede de Fluxo (MRF) – MODSIM

Alguns modelos de simulação utilizam uma rede de fluxo (MRF) para representarem sistemas de recursos hídricos por meio de uma rede formada de "nós" e "arcos". Os nós representam reservatórios, demandas, reversões, confluências, e outros pontos importantes de um sistema e os arcos são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes (AZEVEDO et. al., 1997).

Para que o modelo seja capaz de considerar demandas, vazões afluentes e respeitar regras de operação de reservatórios, são criados diversos nós e arcos "artificiais" (já que não fazem parte do sistema físico simulado), em geral de forma automática, para permitir a circulação plena da rede e garantir a satisfação do balanço de massa em todo o sistema, já que há a necessidade, neste tipo de modelo, que todos os nós apresentem arcos de "entrada e de saída" (LABADIE, 1994).

Cada arco é caracterizado por três parâmetros (AZEVEDO e PORTO, 1999): os limites superior ($S_{i,j}$) e inferior ($l_{i,j}$) do fluxo que passa pelo arco (ex.: capacidade máxima e mínima de um canal) e um "custo" ($C_{i,j}$) por unidade de fluxo que transita pelo arco. Os custos podem ser positivos ou negativos, ou seja, podem representar uma penalidade (no caso de custo positivo), ou um prêmio (custo negativo). Este custo não significa, obrigatoriamente, um valor monetário, podendo representar preferências estabelecidas pelo usuário. As capacidades máxima e mínima de cada arco podem ser fixas para todo o período de simulação ou podem variar ao longo do tempo.

Cada nó deve conter as características da estrutura que representa. Por exemplo se o nó "i" estiver representando um reservatório, o analista deve fornecer a relação cota-área-volume, os volumes máximos e mínimos de armazenamento, os níveis de armazenamento que se deseja atingir, o percentual de perdas por infiltração, a taxa de evaporação, etc.

Os modelos de rede de fluxo reúnem características das técnicas de simulação de otimização. As características de flexibilidade e adaptabilidade são quase que integralmente preservadas nos MRF, ao mesmo tempo que o algoritmo de otimização libera o usuário dos trabalhosos e ineficientes processos de tentativa e erro. Geralmente a otimização dos MRF é executada

a cada intervalo de tempo, de forma seqüencial, usualmente sendo utilizado o intervalo mensal para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. Entretanto, na maioria dos MRF a otimização efetuada não é dinâmica, ou seja, não se garante o ótimo global para um período de “n” intervalos de tempo à frente.

Entre os diversos modelos de simulação em rede de fluxo utilizados em recursos hídricos, Lima et al. (2001) destacam: o IRAS – “Interactive River-Aquifer Simulation”, desenvolvido pela “Resouces Planning Associates”, INC. e pela Universidade de Cornell, Ithaca, NY; o MIKE BASIN 2000, desenvolvido pelo “Danish Hydraulic Institute” – DHI da Dinamarca; e o MODSIM, desenvolvido na “Colorado State University” por John Labadie.

Originalmente o modelo MODSIM era uma extensão do modelo de simulação em rede de fluxo SIMYLD, desenvolvido por Evenson and Moseley para o Texas Water Development Board (o nome do modelo na verdade é um acrônimo de *MOD*ified *SIM*Yld) (Labadie, 1994). A partir de então, o modelo foi constantemente ampliado e atualizado, tornando-se um modelo de rede de fluxo de caráter geral e adaptável a diversos tipos de problemas, de tal forma que a maior parte das configurações e estruturas operacionais das bacias hidrográficas possa ser representada por meio da especificação de dados de entrada apropriados (AZEVEDO e PORTO, 1997).

O modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas, podendo também ser usado para avaliar compromissos (trade-offs) entre usos conflitantes da água durante períodos de escassez de água, servindo de apoio a um “Sistema de Suporte a Decisões - SSD”.

O MODSIM tem sido utilizado com sucesso para simular sistemas hídricos complexos. Como exemplo, cita-se: Grahan et al. (1986) utilizaram o modelo na bacia do rio Grande; Labadie et al. (1986) aplicaram o modelo na bacia do rio Poudre no Colorado (EUA); Souza Filho e Porto (1996) simularam o Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza; Porto (1999) estudou o sistema da bacia do rios Itapicurú; Azevedo et al. (2000), estudaram o planejamento estratégico da bacia do rio Piracicaba, no estado de São Paulo, levando em consideração a integração entre os aspectos quantitativos e qualitativos das águas superficiais e Azambuja (2000), utilizou-o

em para determinar a disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba, relacionando as demandas de água atuais e futuras.

No MODSIM o problema de otimização toma a seguinte forma:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} \times Q_{ij} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum Q_{ij} - \sum Q_{ki} = 0 \quad (2)$$

e

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (3)$$

onde: Q_{ij} = vazão que transita do nó j ao nó i

C_{ij} = custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós j e i

N = número total de nós da rede

I_{ij} = limite inferior da vazão no arco ij

S_{ij} = limite superior da vazão no arco ij

A primeira equação é a função objetivo e representa o custo total da rede. A segunda estabelece que a rede deve ser totalmente *conservativa* (diz-se também *totalmente circulante*), ou seja, a soma das vazões afluentes ao nó i ($\sum Q_{ij}$) deve ser igual à soma dos fluxos que saem dele ($\sum Q_{ki}$). Esta é uma imposição do algoritmo que precisa ser obedecida incondicionalmente. A terceira equação representa o segundo tipo de restrição, ou seja, o valor da vazão em cada arco deve estar sempre na faixa limitada pelas capacidades mínimas e máximas do arco.

A versão amplamente difundida do MODSIM no Brasil utiliza o algoritmo out-of-kilter (OKM) para otimizar a resolução do problema de fluxo da rede iterativamente, de forma seqüencial, ao longo do tempo. O algoritmo OKM foi utilizado em um grande número de modelos de rede de fluxo como o Acres International Ltd. Model, o WASP (modelo utilizado para o sistema de abastecimento de Melbourne) e o DWRSIM, desenvolvido pelo Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia (LABADIE, 1994).

O algoritmo otimiza apenas sistemas lineares ou linearizados. A função objetivo é pré-definida e portanto não pode ser livremente especificada pelo usuário. As perdas de condução em canais e evaporação em reservatórios representam um desvio da condicionante que impõe o balanço de massas. Tal fato não representa entretanto grande problema uma vez que estas perdas podem ser calculadas por processos iterativos sem grande perda de eficiência (AZEVEDO e PORTO, 1999).

Uma das principais características do MODSIM é o fato de que o modelo incorpora automaticamente uma série de funções que são comuns na simulação de bacias hidrográficas sem que o usuário tenha que se preocupar em programá-las. Entre elas as mais importantes são (AZEVEDO et al., 1997):

- os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a estas demandas de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99 (o valor 1 é a maior prioridade). Na realidade as prioridades P e os custos C estão relacionados de forma biunívoca ($C = 10P - 1000$), o que significa que os valores de C que representam prioridades são sempre negativos. Portanto, ao atender uma prioridade o modelo estará diminuindo os custos da rede de um valor C por unidade de vazão fornecida;
- a operação dos reservatórios é feita utilizando-se o conceito de volume meta ou nível meta, ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório guardará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades;
- as perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo;
- o modelo calcula a produção de energia elétrica (de ponta ou de base) desde que sejam fornecidas as características da usina;
- o modelo faz o balanço água superficial - água subterrânea, desde que sejam fornecidas as características do aquífero.

O Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP desenvolveu uma interface gráfica para facilitar a aplicação do MODSIM, chamada de MODSIMP32 (ROBERTO e PORTO, 1999), que agregou ao modelo uma série de vantagens. A interface permite que a topologia do sistema de recursos hídricos seja definida graficamente, na tela do computador, apenas com o uso do mouse e permite o preenchimento facilitado dos dados de entrada do modelo. Os resultados são apresentados em diversos formatos, mais especificamente: gráficos, tabelas, curvas de permanência e comportamento de variáveis de interesse ao longo do tempo. É possível também analisar os resultados de diferentes simulações na mesma tela para efeito de comparações.

No presente trabalho foi utilizada a versão ACQUANET que na aparência é bastante semelhante ao modelo de origem MODSIMP32, apresentando, entretanto, diferenças quando ao funcionamento e armazenamento/leitura de dados e resultados. O MODSIMP32 funciona com arquivos próprios e é responsável pela criação e atualização destes arquivos. Já o ACQUANET armazena todos os dados e resultados em Bancos de Dados no formato do Microsoft Access e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato.

5.2. Dados de entrada

Para a verificação do comportamento da rede hídrica, é necessária a elaboração dos cenários, que são compostos por um conjunto de informações indispensáveis para realização do processo de simulação da rede de fluxo do MODSIM. Para os reservatórios, as informações dividem-se em: dados físicos (capacidade máxima de acumulação, volume mínimo operacional e curva cota-área-volume); dados hidrológicos (vazões afluentes e taxas de evaporação líquidas); e dados operacionais (meta de volume acumulado para cada mês). Já as demandas são caracterizadas pelas vazões mensais necessárias ao atendimento. Devem ser informadas, ainda, as prioridades tanto para o atendimento às demandas quanto para o armazenamento de água nos reservatório.

Para aplicação do modelo de rede de fluxo na área em estudo foi construído o sistema de recursos hídricos composto pelos cinco reservatórios com capacidade de regularização plurianual existentes na bacia, apresentados no item 4, Bocaina, Jenipapo, Pedra Redonda, Petrônio Portela e Salinas, além de nós representativos das demandas hídricas de cada reservatório, de acordo com o tipo, e nós de passagem que permitem a confluência das vazões.

As demandas consideradas para cada reservatório são: abastecimento humano, abastecimento animal, irrigação de culturas permanentes, irrigação de culturas temporárias e demanda ecológica.

Também foi considerada no final da rede uma demanda bastante elevada, mas de baixíssima prioridade, que funciona como dreno, absorvendo os volumes excedentes que saíram dos reservatórios devido à incapacidade de armazenamento. A rede de fluxo adotada para a bacia do Rio Canindé é apresentada na figura 04.

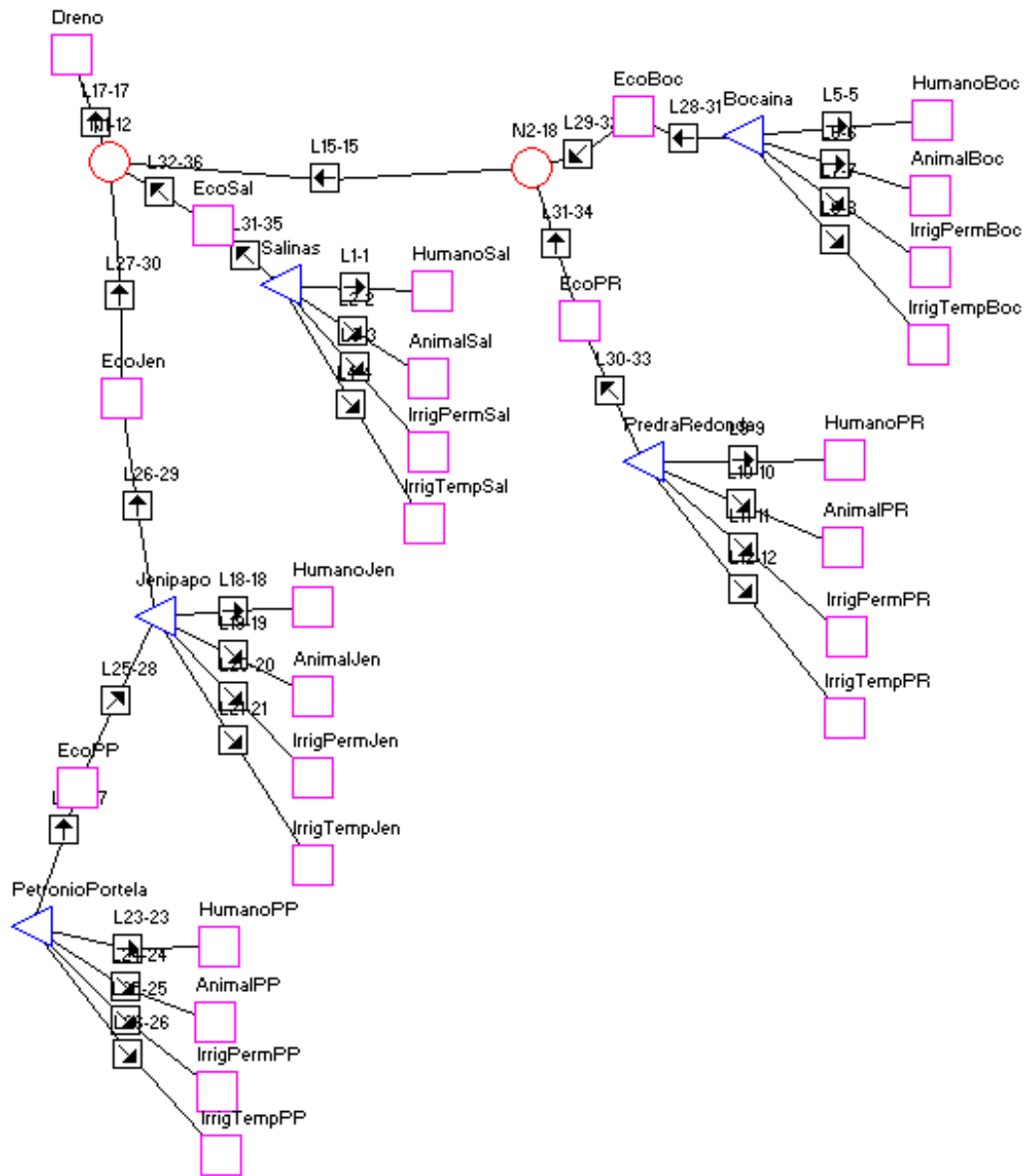


Figura 04: Esquema a rede de fluxo adotada no software Acquanet.

6. APLICAÇÃO

6.1. Características Físicas

Como discutido no item 5.2, é necessário que seja informado ao modelo a capacidade máxima de acumulação, o volume mínimo operacional e as curvas cota-área-volume. Tais informações foram obtidas junto aos projetos básicos e executivos das cinco barragens consideradas. Um resumo geral é apresentado no quadro 04. Já os gráficos 01 a 05 apresentam a variação da área do espelho d'água e do volume acumulado em função do nível da água para cada uma das barragens.

Quadro 04 – Principais características dos reservatórios considerados

Barragem	Bocaina	Jenipapo	Pedra Redonda	Petrônio Portela	Salinas
Município	Bocaina	São João do Piauí	Conceição do Canindé	São Raimundo Nonato	São Francisco do Piauí
Latitude	-6,92	-8,45	-7,9333	-8,88888	-7,083333
Longitude	-41,38	-42,17	-41,555	-42,3222	-42,08333
Área da Bacia Hidro.	1.091,2km ²	15.001,7km ²	4.806,2 km ²	6.486,1km ²	3.100,8km ²
Área da Bacia Hidráulica	1.100,00ha	2.100,00ha	2.440 ha	4.173,46ha	5.408 ha
Capac. Máx. (hm ³)	106,0	248,0	206,0	181,2	387,4
Vol. Mínimo (hm ³)	0,98	22,32	32,40	27,19	58,11
Cota da soleira	276 m	246 m	278 m	304 m	170 m
Carta Topográfica	SB.24-Y-A-V: São José do Piauí	SC.23-X-B-III São João do Piauí	SB.24-Y-C-IV: Simpl. Mendes	SC.23-X-B-VI: Barragem	SB.23-Z-D-III: Oeiras
Rio Barrado	Guaribas	Piauí	Canindé	Piauí	Salinas

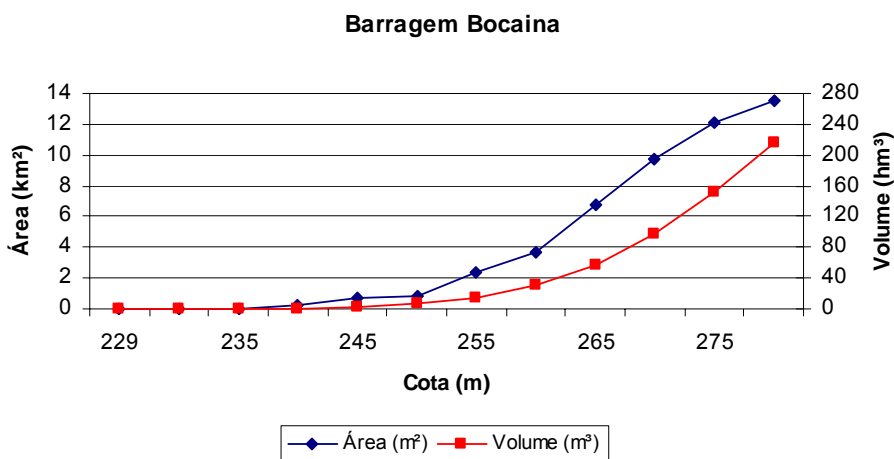


Gráfico 01 – Curva cota-área-volume para a barragem Bocaina

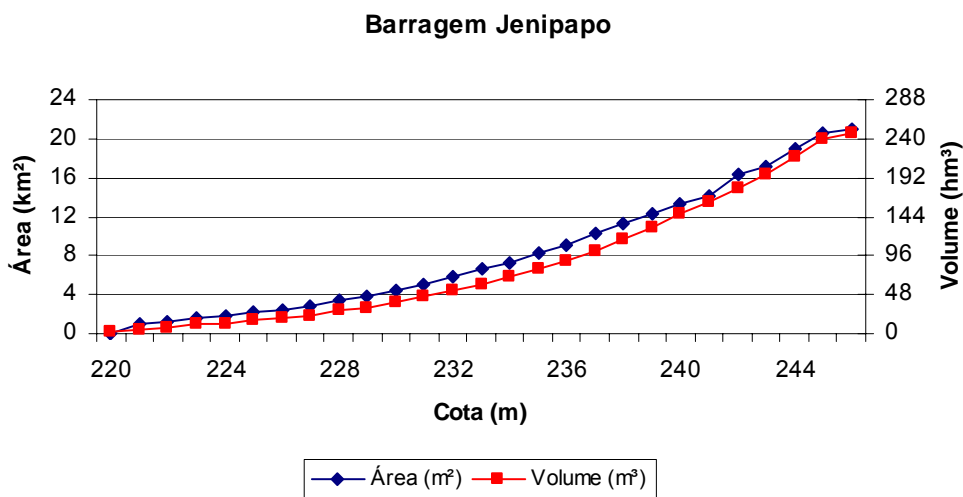


Gráfico 02 – Curva cota-área-volume para a barragem Jenipapo

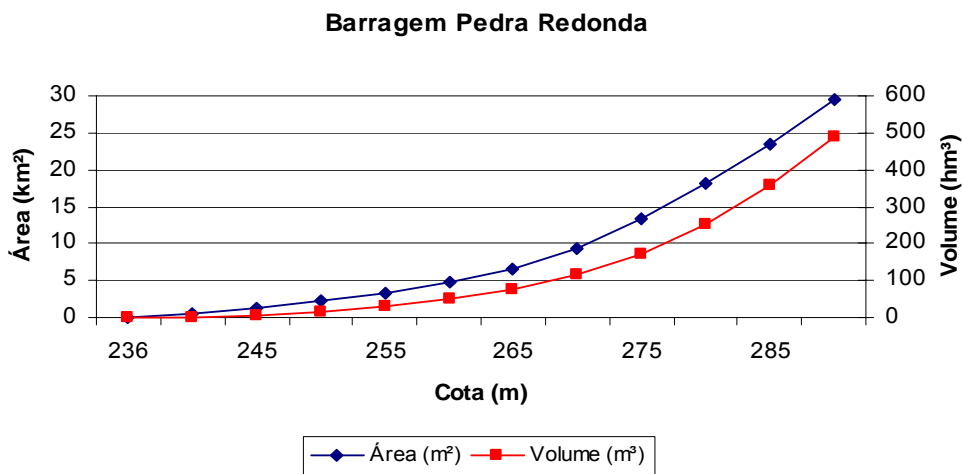


Gráfico 03 – Curva cota-área-volume para a barragem Pedra Redonda

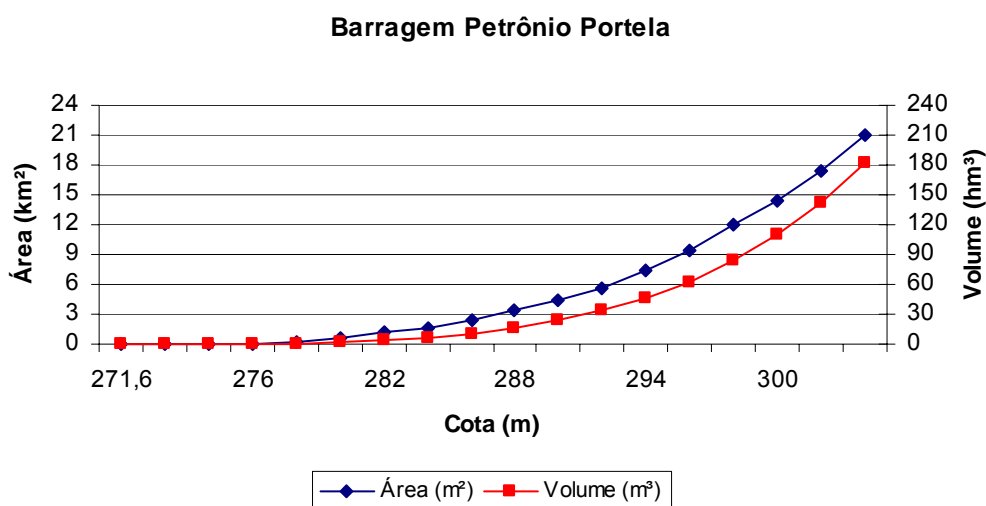


Gráfico 04 – Curva cota-área-volume para a barragem Petrônio Portela

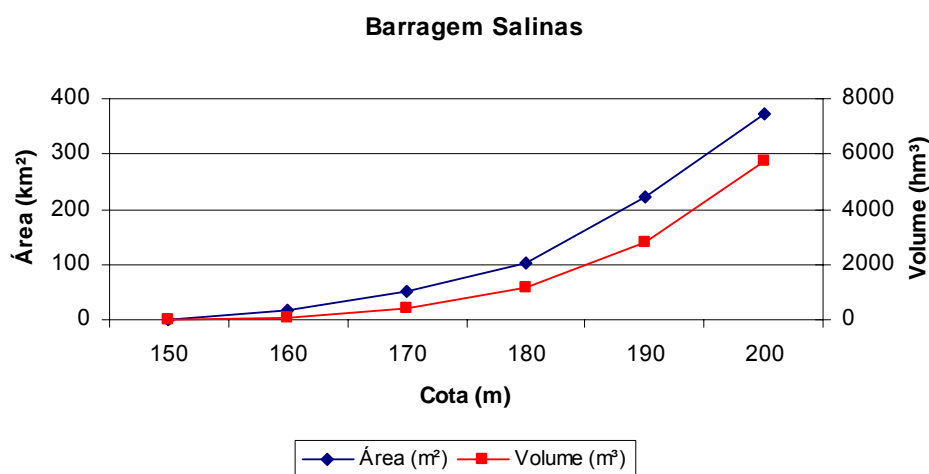


Gráfico 05 – Curva cota-área-volume para a barragem Salinas

6.2. Características Hidrológicas

Fato incontestável, 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, foi necessário executar um procedimento de regionalização hidrológica de forma a se obter uma série pseudo-histórica de vazões afluentes a cada um dos reservatórios. Dentre as metodologias existentes, optou-se por

regionalizar os parâmetros de um modelo de simulação chuva-vazão, o que permite a construção de séries de deflúvios com maior duração, aproveitando-se da maior extensão dos registros pluviométricos.

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 deve-se 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.

Neste estudo, os principais aspectos analisados para a escolha do modelo chuva-vazão utilizado foram:

- Disponibilidade de dados fluviométricos compatíveis com as exigências de calibração e validação do modelo. Isto limita o passo de tempo dos modelos a períodos diários ou maiores, em decorrência da inexistência de dados fluviométricos sub-diários;
- Formulação conceitual compatível com as condições e regime hidroclimatológico da região;
- Experiência regional prévia na aplicação do modelo. É importante que o modelo escolhido disponha de um acervo de parâmetros na região que facilitem as calibrações, orientando a busca e limitando o universo de valores possíveis dos parâmetros;
- Grau de detalhe pretendido no conhecimento dos deflúvios para cada unidade hidrográfica. O modelo deve ter sido desenvolvido para bacias com as mesmas dimensões das que se pretende estudar, neste caso, bacias de médio e grande porte;
- Possibilidade de regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico para as outras bacias sem dados fluviométricos;
- Parcimônia do modelo, ou seja, que o número de parâmetros do modelo seja minimizado de forma consistente com a precisão requerida.

O modelo escolhido para a geração de séries pseudo-históricas de deflúvios foi o CN-3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation), desenvolvido por Taborga e Freitas (1987), que já foi aplicado a diversas bacias localizadas na região semi-árida do Nordeste do Brasil, inclusive para a bacia do Canindé. O modelo baseia-se nas relações estabelecidas pelo *Soil Conservation Service* (SCS) das curvas CN (Curve Number) e é composto de seis parâmetros de calibragem.

Desenvolvido com o objetivo de gerar vazões sintéticas para a simulação de operações de reservatórios, o modelo determinístico utiliza como dados de entrada para o 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. Para a avaliação da parcela representativa do escoamento superficial direto são utilizadas as equações de precipitação efetiva do SCS:

$$\frac{(P - I_m) - Q}{S} = \frac{Q}{(P - I_m)} \quad (1.0)$$

onde: P - altura de chuva (mm);

Q - lâmina de escoamento direto (mm);

S - diferença máxima de potencial entre P e Q;

I_m - interceptação, infiltração e armazenamento superficial.

Tirando o valor de Q na expressão anterior, com I_m = ALFA * S, resulta em:

$$Q = \frac{(P - ALFA * S)^2}{P + (1 - ALFA) * S} \quad (2.0)$$

A equação original do SCS adota ALFA igual 0,2, ou seja, 20% da capacidade de armazenamento do solo. Já os autores optaram por considerar ALFA como um parâmetro a ser calibrado. Diversos casos analisados entretanto, indicam que o valor de ALFA igual a 0,2 é satisfatório (Freitas e Porto, 1990), o que reduz para cinco o número de parâmetros a serem ajustados.

Os demais parâmetros são: CNI - parâmetro de ajuste do modelo relativo à complexidade solo-vegetação; BETA e Ko – parâmetros de ajuste da

chuva antecedente; K_1 – parâmetro de controle da alimentação o lençol freático; K_2 - taxa de depleção do reservatório subterrâneo que corresponde à vazão de base.

Além dos parâmetros, o modelo necessita da série histórica de precipitações médias mensais e da área da bacia, o que o torna extremamente simples de ser utilizado. A figura 05 apresenta o fluxograma do modelo para a versão mensal. Maiores informações sobre o funcionamento do modelo podem se obtidos em Taborga e Freitas (1987).

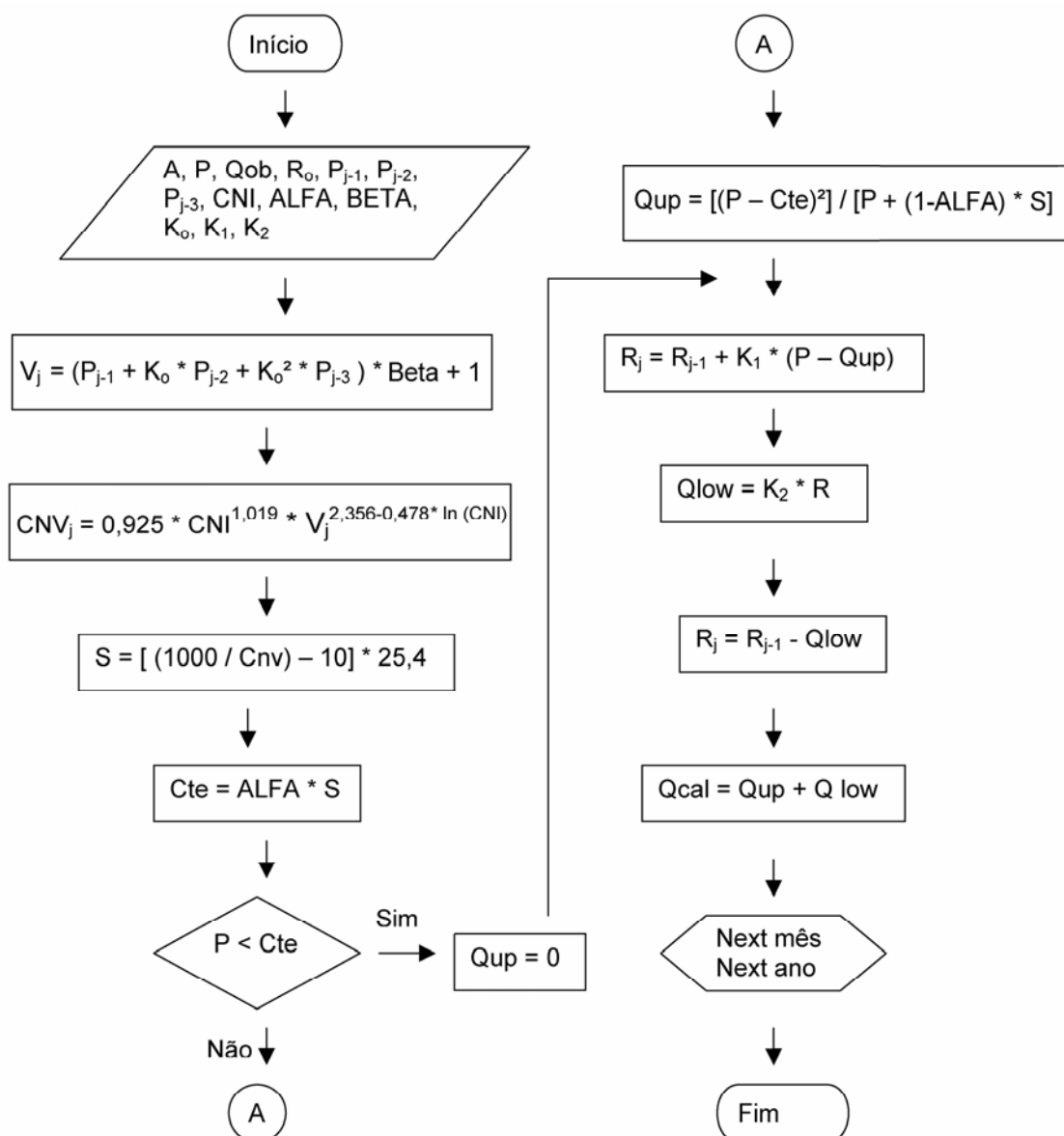


Figura 05: Fluxograma do modelo CN-3S para a versão mensal

Pela proximidade entre as bacias, foram calibrados os parâmetros para o posto fluviométrico Maria Preta (código nacional 34450000) para gerar a série pseudo-histórica de vazões afluentes à barragens de Bocaina e Salinas. O posto Maria Preta está localizado no rio Itaim e possui dados de vazão a partir de maio de 1967. A calibração do modelo CN-3S foi realizada para o período de junho de 1967 até maio de 1978, quando o posto teve sua operação interrompida até abril de 1984. Os parâmetros obtidos estão apresentados na tabela 01. Para tal conjunto, o coeficiente de determinação entre as vazão geradas e calculadas pelo modelo foi de 0,94, muito próximo do valor máximo 1,00. A vazão média gerada corresponde a 5,57 m³/s enquanto a vazão média observada vale 5,87 m³/s. Enquanto isso, o desvio padrão observado é de 20,90 e a série gerada apresenta o valor de 22,4, variação inferior a 10%.

A fidelidade com que o modelo representou o comportamento hidrológico da bacia pode ser observada no gráfico 06, que compara o hidrograma observado de vazões médias mensais e o calculado pelo modelo.

Tabela 01 – Parâmetros do modelo CN-3S calibrados para o posto Maria Preta

Posto	Período/ Parâmetro	CNI	ALFA	BETA	KO	KI	K2
Maria Preta (34450000)	1967-1971	22,047	0,20	0,003	1,148	0,010	0,70

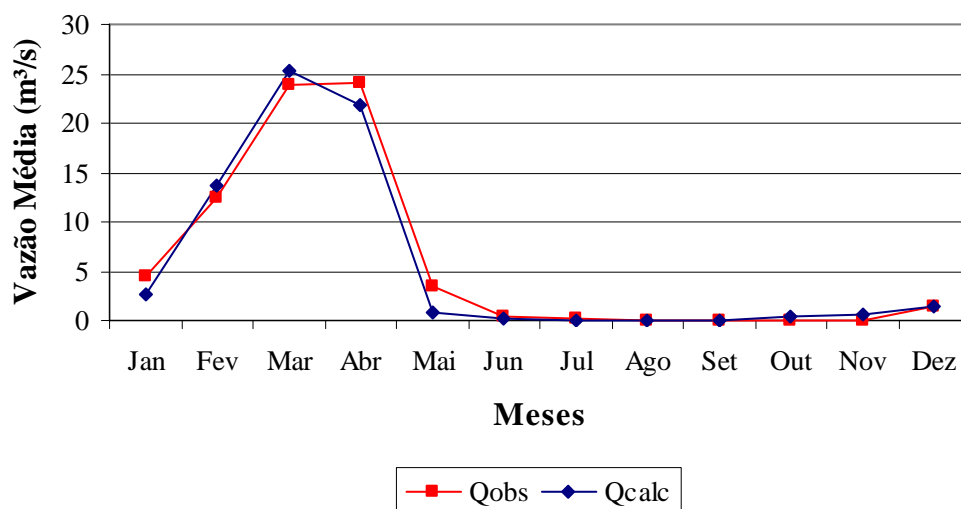


Gráfico 06 – Hidrograma médio observado e gerado para o posto Maria Preta

Quanto às barragens Pedra Redonda, Petrônio Portela e Jenipapo, foi utilizado como fonte de calibração o posto fluviométrico Pedra Redonda, localizado no rio Canindé a montante da barragem homônima. A calibração foi realizada para o período de outubro de 1968 a setembro de 1978, obtendo-se um bom ajuste entre as vazões observadas e os valores calculados pelo modelo. A vazão média observada para o período foi de 1,744 m³/s com desvio padrão de 5,25. Já a vazão média calculada corresponde a 1,739 m³/s com desvio padrão igual a 6,199. O coeficiente de determinação vale 0,83, valor bastante razoável para este tipo de modelagem. O hidrograma médio calculado e o observado são apresentados no gráfico 07. Já a tabela 02 trás os valores dos parâmetros obtidos na calibração.

Tabela 02 – Parâmetros do modelo CN-3S calibrados para o posto Pedra Redonda

Posto	Período/ Parâmetro	CNI	ALFA	BETA	KO	KI	K2
Maria Preta (34450000)	1968-1978	24,000	0,20	0,003	0,570	0,005	0,70

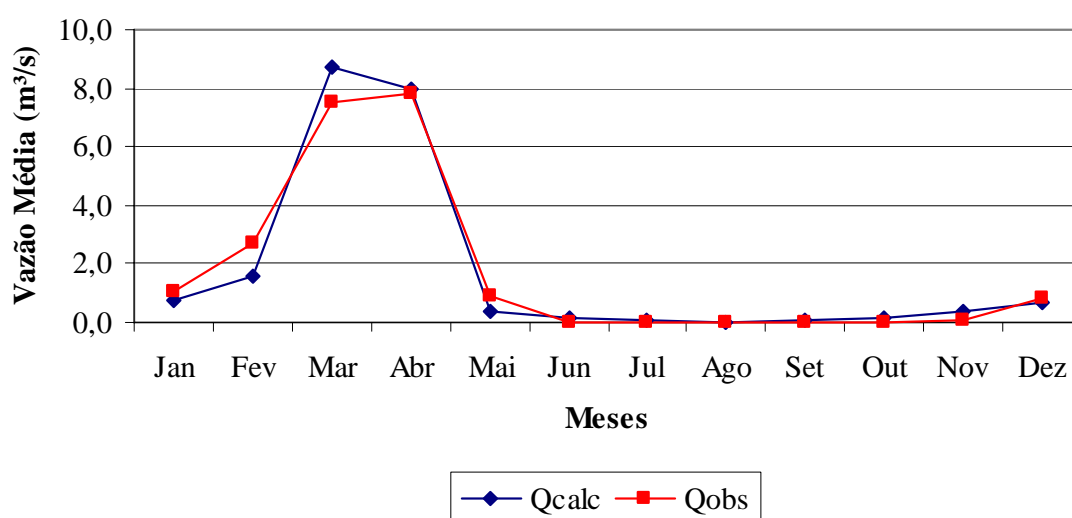


Gráfico 07 – Hidrograma médio observado e gerado para o posto Pedra Redonda

Para a geração das séries de vazões afluentes foram inicialmente determinadas as séries de precipitações médias para cada bacia de contribuição. A espacialização dos dados foi considerada a partir da utilização do método dos polígonos de Thiessen, de uso corrente em hidrologia, que se baseia na geometria do plano de localização dos postos para ponderar a influência dos seus dados no cálculo da precipitação média na área. Os coeficientes de cada posto pluviométrico com influência nas bacias são apresentados na tabela 03.

Como parte da bacia hidrográfica do açude Jenipapo é controlada pela barragem Petrônio Portela, as vazões afluentes ao primeiro foram determinadas desconsiderando a bacia de contribuição do segundo. Os eventuais vertimentos que se juntarão às vazões assim determinadas dependem da operação do reservatório Petrônio Portela e são automaticamente calculados pelo Acquanet quando das simulações.

Os dados pluviométricos foram obtidos no Plano Diretor da Bacia Hidrográfica dos rios Canindé/Piauí. Apesar de estarem disponíveis séries homogêneas e preenchidas, a grande maioria apresenta duração de apenas 21 (vinte e um) anos, de 1963 a 1983, enquanto algumas poucas uma duração de 70 (setenta) anos (1914-1963). De forma a se obter uma série pluviométrica mais longa que possibilitasse a geração de séries de vazões afluentes de maior duração, foi realizado o preenchimento dos dados para o período de janeiro de 1914 a dezembro de 1962 a partir da utilização do método do vetor regional.

O vetor regional modela as informações pluviométricas de uma região na forma de uma seqüência de índices representativos da pluviometria anual, ou mensal, naquela área, e de coeficientes característicos de cada posto pluviométrico contido na região (Hiez et al., 1991). Segundo Fill (1987), os índices são únicos para toda a região e estão diretamente relacionados às alturas precipitadas em cada posto por meio de coeficientes apropriados. Dessa forma, é possível estimar a altura anual, ou mensal, ocorrida em um posto "i" para o ano (mês) "j" através de:

$$\hat{P}_{ij} = L_i \cdot C_j \text{ onde:}$$

é a estimativa da altura precipitada no posto "i" para o mês (ano) "j";

L_i é o vetor regional;

C_j é o vetor de coeficientes.

As séries de pluviometria média representativa de cada bacia hidrográfica estão apresentadas em anexo, enquanto os hietogramas de precipitações médias mensais estão apresentados nos gráficos 08 a 12.

Tabela 03: Coeficientes de Thiessen

Barragem	Posto (Código)	Área (km²)	Coeficiente de Thiessen
Bocaina	640000	25,08	0,023
	641001	323,48	0,296
	641002	590,01	0,541
	641005	67,58	0,062
	641006	85,06	0,078
Jenipapo	841006	488,61	0,057
	841007	413,26	0,049
	841008	965,52	0,113
	841013	359,16	0,042
	842000	54,74	0,006
	842002	924,46	0,109
	842003	490,90	0,058
	842004	1495,01	0,176
	842007	51,80	0,006
	941000	1888,89	0,222
	941001	591,76	0,069
	942001	150,61	0,018
	942002	640,80	0,075
Pedra Redonda	741001	242,42	0,081
	840008	221,01	0,045
	841000	888,33	0,182
	841002	10,21	0,002
	841004	1115,73	0,229
	841005	605,95	0,124
	841006	1158,46	0,238
	841007	75,31	0,015
	841008	414,61	0,084
Petrônio Portela	842003	202,77	0,031
	842009	239,70	0,037
	942000	1361,48	0,210
	942001	725,81	0,112
	942002	360,20	0,056
	942003	1235,23	0,190
	942005	1063,97	0,164
	942020	69,39	0,011
	943000	936,66	0,144
	943005	290,08	0,045
Salinas	642000	423,91	0,137
	741009	1,94	0,001
	741010	274,44	0,089
	742001	794,33	0,256
	742002	92,85	0,030
	742004	21,89	0,007
	742005	751,03	0,242
	742006	63,32	0,020
	742008	675,77	0,218

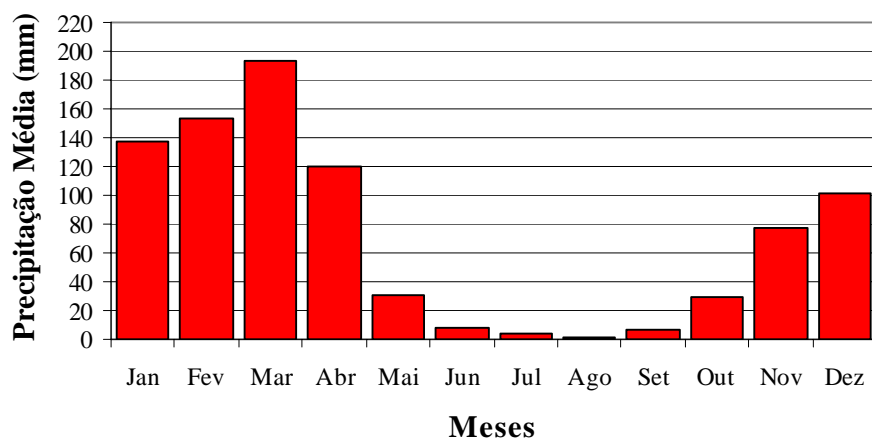


Gráfico 08: Hietograma das precipitações médias mensais da bacia Maria Preta – Bocaina.

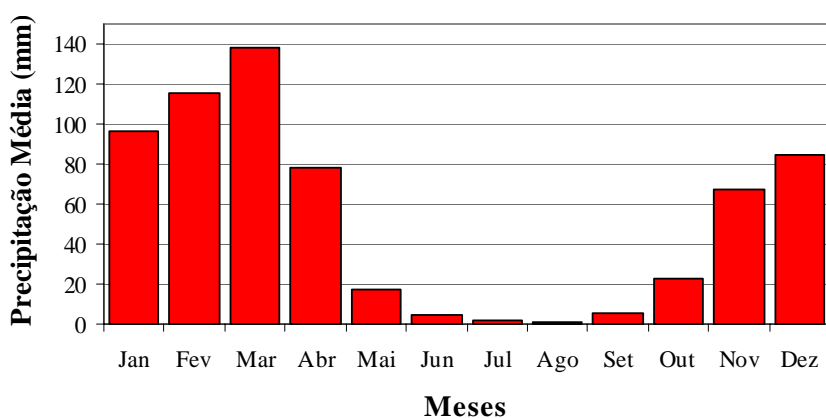


Gráfico 09: Hietograma das precipitações médias mensais da bacia São João do Piauí – Jenipapo

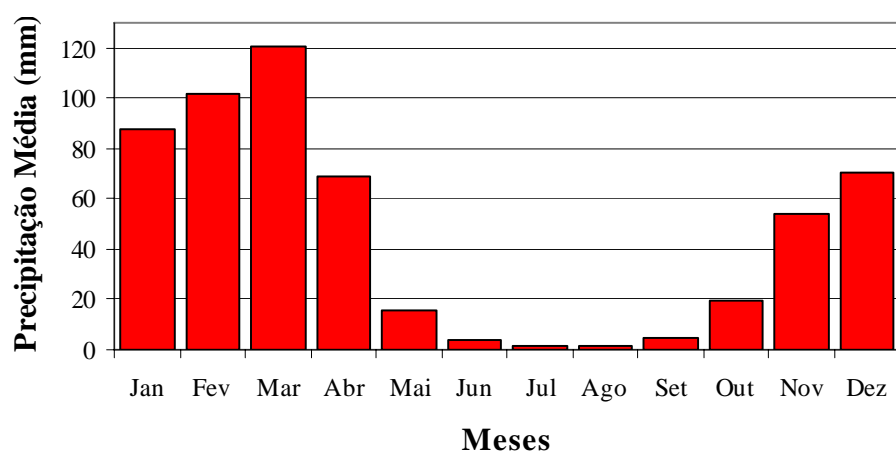


Gráfico 10: Hietograma das precipitações médias mensais da bacia São João do Piauí – Pedra Redonda

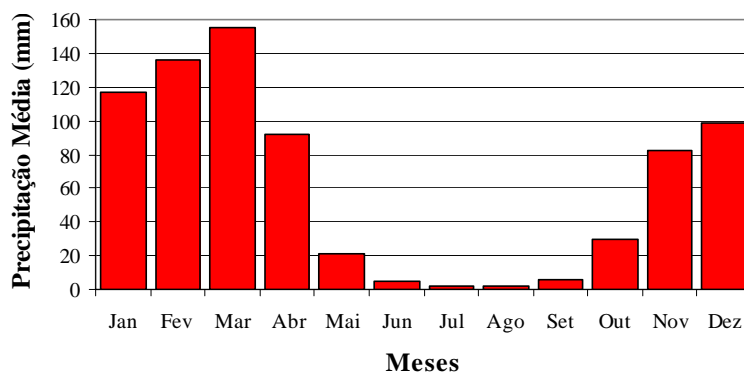


Gráfico 11: Hietograma das precipitações médias mensais da bacia Petrônio Portela

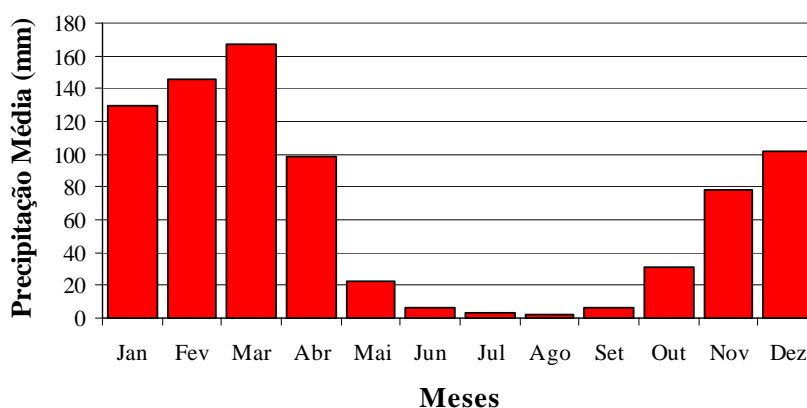


Gráfico 12: Hietograma das precipitações médias mensais da bacia Salinas

6.2.1. Fluviometria

Da tabela 04 à tabela 08 podem ser observados os resultados de vazões calculadas pelo CN-3S, com médias anuais que apresentaram valores bem próximos aos valores observados.

Três fatores determinam a capacidade de um reservatório: a intermitência, o volume afluente médio e a variabilidade dos deflúvios anuais. Se dois locais têm o mesmo valor para o deflúvio médio anual, o local de maior variabilidade terá, certamente um maior valor para a média das máximas e, conseqüentemente, irá requerer uma maior capacidade de acumulação (CAMPOS, 2005). Nos reservatórios estudados aqueles que apresentam maior variabilidade são Jenipapo (1,47), Pedra Redonda (1,46) e Petrônio Portela (1,22), enquanto que nos reservatórios de Bocaina e Salinas apresentam menores coeficientes de variação (ambos 0,72) e portanto maiores possibilidades de regularização.

Tabela 04 – Vazão Gerada para Bocaina

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1914	0,00	0,00	0,00	0,60	0,60	0,40	0,50	0,50	0,30	1,20	1,20	1,50	0,57
1915	1,90	1,70	3,20	2,60	1,90	1,30	0,80	0,50	0,40	0,40	0,80	3,50	1,58
1916	3,10	7,30	38,50	14,30	4,10	2,80	1,90	1,20	0,80	1,20	3,20	3,50	6,83
1917	15,70	40,40	12,20	19,10	5,10	3,00	2,00	1,30	0,90	1,30	2,80	3,70	8,96
1918	6,60	3,60	10,10	6,30	3,50	2,60	1,80	1,30	0,90	1,20	2,00	2,90	3,57
1919	5,20	26,00	6,70	3,30	2,50	1,70	1,30	0,90	0,60	0,60	0,70	0,90	4,20
1920	1,70	2,50	21,70	11,30	3,50	2,30	1,60	1,20	1,10	1,50	1,80	2,70	4,41
1921	3,80	17,20	34,20	8,00	3,80	2,60	1,80	1,20	1,10	2,40	4,10	3,40	6,97
1922	4,30	20,90	8,60	10,60	3,70	2,70	1,80	1,20	0,80	1,20	2,50	2,50	5,07
1923	3,30	15,90	6,60	5,80	4,00	2,60	1,80	1,30	1,10	1,10	1,70	1,80	3,92
1924	14,50	39,10	62,40	48,30	7,70	3,40	2,30	1,50	1,00	1,60	1,60	6,10	15,79
1925	16,70	10,50	5,10	3,80	2,60	1,90	1,40	0,90	0,80	1,50	1,90	3,70	4,23
1926	8,50	42,10	84,80	58,90	4,50	3,10	2,10	1,40	0,90	0,90	1,50	2,60	17,61
1927	2,80	12,90	7,50	3,60	2,50	1,80	1,20	0,80	0,50	0,40	1,10	3,80	3,24
1928	7,70	3,50	52,20	6,00	3,20	2,20	1,50	1,00	0,70	0,60	2,10	2,80	6,96
1929	5,50	41,90	19,90	9,10	3,60	2,40	1,60	1,10	0,90	0,90	2,00	11,70	8,38
1930	3,60	9,60	53,20	4,10	3,00	2,00	1,30	0,90	0,60	0,80	1,10	1,70	6,83
1931	2,40	11,70	19,90	10,40	3,40	2,40	1,60	1,10	0,90	1,10	1,20	1,70	4,82
1932	3,20	3,80	3,30	4,00	2,70	1,80	1,30	0,90	1,40	1,40	1,20	1,40	2,20
1933	4,70	7,40	27,70	25,50	3,60	2,40	1,60	1,00	0,80	1,10	2,20	9,00	7,25
1934	17,70	43,00	47,50	14,60	6,90	3,00	2,00	1,40	1,10	1,20	2,30	20,40	13,43
1935	27,80	39,40	39,70	57,90	10,10	3,60	2,40	1,60	1,10	1,50	2,40	3,30	15,90
1936	14,00	49,20	4,30	28,50	3,40	2,30	1,50	1,00	0,70	0,70	2,00	2,40	9,17
1937	2,80	9,50	4,70	6,00	3,50	2,40	1,60	1,00	0,80	1,10	1,60	3,30	3,19
1938	14,30	13,70	38,40	11,40	4,00	2,70	1,80	1,20	0,80	0,60	0,80	2,10	7,65
1939	7,60	35,00	31,10	4,90	3,10	2,80	2,10	1,70	1,90	1,70	2,80	3,80	8,21
1940	42,60	59,60	73,20	12,70	3,90	2,70	1,80	1,30	1,10	0,90	1,80	2,50	17,01
1941	3,00	11,90	36,30	6,60	3,50	2,40	1,60	1,00	0,70	0,70	1,20	1,50	5,87
1942	6,30	7,20	4,60	4,60	3,00	2,00	1,30	0,90	0,60	1,40	2,90	12,00	3,90
1943	8,90	11,10	44,30	5,20	3,10	2,10	1,40	0,90	0,60	0,70	1,80	3,60	6,98
1944	3,70	3,80	8,30	5,70	3,00	2,00	1,30	0,90	0,60	0,80	2,00	9,10	3,43
1945	9,00	13,70	14,30	20,20	4,50	3,00	2,00	1,30	0,90	1,50	1,80	3,90	6,34
1946	4,20	5,70	15,00	4,20	2,90	2,20	1,50	1,10	0,70	0,50	2,50	2,10	3,55
1947	4,10	8,40	56,50	13,90	3,60	2,40	1,60	1,00	0,80	0,90	8,40	3,70	8,78
1948	3,80	5,50	20,40	4,30	3,20	2,20	1,50	1,00	0,70	0,70	0,90	4,20	4,03
1949	3,30	6,50	9,20	4,00	3,10	2,10	1,50	1,10	0,70	0,80	7,10	2,80	3,52
1950	3,10	7,50	11,20	16,50	3,50	2,30	1,50	1,00	0,70	0,70	1,50	2,30	4,32
1951	2,10	2,00	9,30	4,10	3,10	2,10	1,40	0,90	0,60	0,40	0,40	1,60	2,33
1952	2,10	3,10	14,90	4,50	3,20	2,10	1,40	0,90	0,80	0,70	1,60	5,00	3,36
1953	2,90	3,70	3,50	3,40	2,30	1,50	1,00	0,70	0,50	0,40	1,60	2,50	2,00
1954	2,50	8,90	9,80	4,00	2,90	2,00	1,30	0,90	0,60	0,40	1,80	2,10	3,10
1955	2,70	3,60	9,20	15,00	3,30	2,20	1,50	1,00	0,70	0,80	2,10	2,00	3,68
1956	1,60	3,00	3,00	2,70	1,90	1,30	0,90	0,60	0,40	0,60	2,50	4,10	1,88
1957	21,30	16,00	97,00	23,00	3,80	2,80	1,90	1,30	0,90	0,60	1,40	2,80	14,40
1958	6,90	3,20	11,10	3,00	2,20	1,50	1,10	0,70	0,50	1,20	1,00	2,10	2,88
1959	3,80	8,20	6,20	3,50	2,50	2,00	1,30	1,10	0,70	0,70	1,30	1,30	2,72
1960	12,00	7,80	126,30	4,70	3,40	2,30	1,50	1,00	0,70	0,60	1,00	1,70	13,58
1961	3,50	13,50	16,00	4,00	2,90	2,00	1,30	0,90	0,60	0,40	0,60	1,50	3,93
1962	12,80	13,90	18,20	10,00	3,60	2,50	1,70	1,10	0,80	0,70	1,90	4,40	5,97
1963	8,30	27,00	10,40	10,60	3,50	2,30	1,50	1,00	0,70	0,50	1,50	7,40	6,23
1964	27,00	43,50	58,00	85,00	13,30	3,70	2,50	1,70	1,20	1,00	1,10	1,70	19,98
1965	3,80	5,30	23,50	67,40	4,70	3,30	2,20	1,40	0,90	0,90	0,70	0,80	9,58
1966	2,30	13,50	7,60	64,90	3,90	2,70	1,80	1,20	1,00	0,80	0,70	1,90	8,53
1967	2,90	14,80	72,90	30,50	12,40	3,30	2,20	1,40	1,00	0,70	1,00	2,30	12,12
1968	2,40	8,10	71,90	9,90	5,30	2,80	1,90	1,20	0,80	0,80	3,50	3,30	9,33
1969	10,80	10,00	32,50	5,10	3,50	2,50	1,60	1,10	0,80	0,60	0,50	2,00	5,92
1970	2,90	2,50	8,40	2,70	1,80	1,30	0,90	0,60	0,50	0,80	1,30	1,80	2,13
1971	2,50	3,60	5,30	41,80	6,50	3,40	2,30	1,50	1,00	0,80	0,60	1,30	5,88
1972	1,70	2,10	7,80	3,30	2,40	2,20	1,40	1,00	0,60	0,40	0,50	1,40	2,07
1973	2,30	3,10	24,10	22,00	3,80	2,80	2,10	1,50	1,20	2,10	2,90	4,40	6,03
1974	31,70	19,20	71,60	150,90	7,80	3,60	2,40	1,60	1,10	2,20	1,70	2,90	24,73
1975	4,70	9,50	45,10	27,20	4,30	2,90	2,10	1,40	0,90	1,20	1,60	1,80	8,56
1976	2,30	19,20	3,90	3,60	2,40	1,60	1,10	0,70	0,60	0,90	1,80	1,90	3,33
1977	11,90	3,30	6,30	5,30	3,20	2,20	1,50	1,00	0,70	0,60	1,10	3,30	3,37
1978	10,20	3,80	12,20	12,60	9,60	3,30	2,90	1,90	1,30	1,20	2,70	2,30	5,33
1979	9,70	5,30	4,30	5,70	3,10	2,10	1,50	1,00	0,70	0,80	1,50	1,20	3,08
1980	2,90	15,00	3,30	2,60	1,80	1,20	0,80	0,50	0,50	0,30	1,60	1,50	2,67
1981	3,20	2,00	43,90	3,90	2,60	1,70	1,10	0,70	0,50	0,30	0,50	1,20	5,13
1982	1,70	2,20	3,60	3,00	2,00	1,40	0,90	0,60	0,40	0,50	0,40	0,80	1,46
1983	1,50	2,40	2,60	1,90	1,30	1,00	0,60	0,40	0,30	0,20	0,30	0,50	1,08
Média	7,32	13,59	25,44	15,98	3,89	2,33	1,59	1,07	0,79	0,91	1,79	3,30	6,50
desvpad	7,83	13,72	26,42	24,01	2,26	0,66	0,46	0,31	0,27	0,45	1,30	3,05	4,84
CV	1,36	0,84	0,64	1,96	3,84	3,65	9,25	31,11	6,77	1,88	1,43	1,20	0,72

Tabela 05 – Vazão Gerada para Jenipapo

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1914	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,60	0,40	0,50	0,18
1915	0,60	0,50	1,20	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,50	0,43
1916	1,10	1,50	53,20	5,70	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,40	1,40	1,20	5,48
1917	8,00	60,10	2,50	6,30	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,40	1,30	1,30	6,78
1918	1,40	0,90	1,60	1,40	0,70	0,30	0,10	0,10	0,00	0,30	0,80	1,20	0,73
1919	1,40	28,30	1,40	0,50	0,30	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	2,73
1920	0,70	1,00	25,40	3,10	0,70	0,20	0,10	0,10	0,20	0,50	0,60	1,10	2,81
1921	1,30	12,00	47,90	1,50	0,70	0,20	0,00	0,10	0,10	1,00	1,40	1,00	5,59
1922	1,10	15,40	1,60	1,50	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,40	1,10	0,80	1,92
1923	1,10	8,20	1,50	1,20	1,00	0,30	0,10	0,10	0,10	0,30	0,60	0,60	1,26
1924	10,50	72,90	137,10	89,90	1,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,50	0,50	1,60	26,24
1925	12,80	2,20	1,10	0,90	0,30	0,10	0,10	0,00	0,10	0,60	0,70	1,30	1,68
1926	1,70	73,30	215,00	138,50	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,20	0,60	1,10	35,99
1927	0,90	4,90	1,50	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,50	0,88
1928	1,90	0,90	83,80	1,40	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,00	1,10	7,57
1929	1,40	68,10	14,80	1,40	0,70	0,20	0,00	0,00	0,10	0,10	0,90	8,50	8,02
1930	1,10	1,50	89,90	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	0,70	7,94
1931	0,90	5,40	17,50	1,70	0,60	0,20	0,00	0,00	0,10	0,30	0,40	0,60	2,31
1932	1,30	1,30	0,90	1,10	0,50	0,10	0,10	0,00	0,50	0,40	0,30	0,40	0,58
1933	1,50	1,70	33,60	20,80	0,60	0,10	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	3,60	5,27
1934	15,20	67,60	74,10	2,80	1,10	0,30	0,10	0,00	0,10	0,30	1,00	27,20	15,82
1935	38,80	54,10	44,60	97,90	1,50	0,60	0,20	0,00	0,00	0,50	1,00	1,20	20,03
1936	6,60	92,60	1,10	18,20	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	1,00	0,90	10,11
1937	1,00	1,70	1,30	1,30	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,30	0,60	1,30	0,71
1938	9,20	5,30	49,60	1,60	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,00	5,66
1939	2,40	59,10	36,70	1,10	0,40	0,50	0,20	0,20	0,50	0,40	1,10	1,30	8,66
1940	79,90	128,80	169,80	4,10	0,70	0,20	0,00	0,00	0,20	0,10	0,70	0,90	32,12
1941	1,10	3,60	56,30	1,40	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,50	5,36
1942	1,70	1,60	1,20	1,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50	1,30	7,10	1,26
1943	1,60	1,60	63,40	1,30	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80	1,40	5,90
1944	1,20	1,10	1,50	1,30	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	4,30	0,92
1945	2,00	3,50	2,90	11,60	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,50	0,60	1,40	2,00
1946	1,30	1,30	4,90	1,10	0,40	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	1,30	0,60	0,93
1947	1,30	1,50	126,00	4,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	4,90	1,30	11,68
1948	1,00	1,10	17,20	1,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	1,60	1,92
1949	1,20	1,40	1,50	1,10	0,60	0,10	0,10	0,00	0,00	0,20	3,30	0,80	0,86
1950	0,90	1,40	4,10	8,50	0,60	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,60	0,90	1,43
1951	0,60	0,50	2,10	1,30	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,52
1952	0,80	1,20	7,50	1,30	0,60	0,20	0,00	0,00	0,10	0,10	0,70	1,60	1,18
1953	0,80	1,00	1,00	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	1,10	0,50
1954	0,80	1,60	2,10	1,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,80	0,66
1955	1,00	1,10	1,80	6,60	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	0,60	1,08
1956	0,30	1,10	1,00	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,30	1,40	0,53
1957	20,90	6,30	243,90	23,90	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,60	1,30	24,83
1958	1,60	0,80	1,70	0,60	0,20	0,10	0,10	0,00	0,00	0,50	0,20	0,90	0,56
1959	1,30	1,80	1,40	0,80	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,10	0,50	0,40	0,58
1960	7,40	1,70	375,40	1,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,40	0,70	32,30
1961	1,30	7,10	7,90	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,60	1,55
1962	11,40	8,70	9,30	1,40	0,70	0,20	0,10	0,00	0,00	0,10	0,90	1,50	2,86
1963	1,10	17,10	1,40	2,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,50	6,40	2,47
1964	83,80	41,00	1,40	2,40	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	1,10	10,95
1965	0,60	1,40	95,60	77,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,70	0,50	14,75
1966	1,10	21,80	3,50	43,00	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	1,40	6,04
1967	1,20	17,20	103,30	59,90	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,10	1,00	14,80	16,56
1968	0,90	15,90	40,90	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	5,20	1,30	5,49
1969	12,60	1,40	48,80	0,80	0,20	0,40	0,10	0,00	0,00	0,10	0,50	2,10	5,58
1970	3,60	1,00	1,00	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	0,60	0,64
1971	0,90	2,00	21,90	52,50	0,70	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,80	0,90	6,68
1972	0,80	0,90	1,50	1,00	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	6,30	1,01
1973	1,00	1,40	17,90	1,30	1,00	0,30	0,10	0,00	0,10	0,80	1,10	1,50	2,21
1974	4,90	30,10	470,50	124,30	1,00	0,30	0,10	0,00	0,00	0,40	1,10	2,00	52,89
1975	1,50	1,30	5,60	1,60	0,70	0,20	0,30	0,00	0,00	0,40	0,60	0,70	1,08
1976	0,40	5,30	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,40	1,40	1,40	0,90	0,94
1977	7,80	1,00	1,20	2,20	0,60	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	37,20	4,28
1978	1,30	1,50	4,20	1,00	0,70	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,90	1,00	0,91
1979	9,90	35,20	1,60	1,30	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,60	1,30	1,50	4,33
1980	1,50	123,20	0,90	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	10,74
1981	1,70	0,60	33,70	1,60	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80	0,40	3,29
1982	1,00	0,80	1,40	1,30	0,40	0,10	0,00	0,00	0,20	0,10	0,00	0,40	0,48
1983	1,00	1,00	1,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,42
Média	5,77	16,31	41,45	12,24	0,59	0,18	0,05	0,01	0,04	0,24	0,91	2,55	6,69
desvpad	14,41	29,10	83,30	28,92	0,29	0,12	0,06	0,03	0,11	0,25	0,85	5,64	9,86
CV	2,50	1,78	2,01	2,36	0,48	0,67	1,26	3,47	2,64	1,06	0,93	2,21	1,47

Tabela 06 – Vazão Gerada para Pedra Redonda

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1914	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,20	0,07
1915	0,30	0,20	0,60	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,70	0,19
1916	0,50	0,70	16,60	0,90	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,70	0,60	1,72
1917	1,10	18,70	0,80	1,80	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,60	0,60	2,03
1918	0,70	0,40	0,70	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,40	0,60	0,33
1919	0,60	7,20	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,76
1920	0,30	0,50	7,30	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	0,50	0,88
1921	0,60	2,60	14,90	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,40	0,70	0,50	1,73
1922	0,50	4,30	0,80	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,30	0,63
1923	0,50	1,60	0,70	0,60	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,20	0,38
1924	1,80	21,40	40,60	26,20	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,80	7,67
1925	1,90	0,80	0,50	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,60	0,41
1926	0,90	31,00	81,90	39,50	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,50	12,88
1927	0,50	2,60	0,80	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,70	0,44
1928	0,80	0,40	20,40	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	1,97
1929	0,80	22,10	2,30	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,10	2,32
1930	0,50	0,80	26,30	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	2,41
1931	0,40	0,90	3,20	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,53
1932	0,60	0,60	0,40	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,20	0,25
1933	0,70	0,80	7,80	4,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,40	0,90	1,27
1934	2,40	19,40	21,70	0,80	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	6,20	4,31
1935	9,50	14,50	11,50	30,80	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,20	0,40	0,60	5,72
1936	1,00	28,90	0,50	3,50	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40	2,93
1937	0,50	0,80	0,60	0,60	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,60	0,33
1938	1,50	0,90	13,40	0,80	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	1,48
1939	0,80	8,20	8,80	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,50	0,60	1,70
1940	18,90	45,60	53,60	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	10,00
1941	0,60	0,90	15,00	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	1,51
1942	0,80	0,80	0,50	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,70	1,10	0,41
1943	0,90	0,70	16,40	0,60	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,70	1,65
1944	0,60	0,50	0,80	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	1,20	0,38
1945	0,80	0,80	1,10	1,40	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,70	0,48
1946	0,60	0,60	0,90	0,50	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,30	0,32
1947	0,70	0,70	42,80	0,90	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,40	0,70	3,96
1948	0,50	0,50	2,90	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,80	0,46
1949	0,50	0,70	0,70	0,50	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,00	0,40	0,35
1950	0,40	0,70	1,30	1,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	0,39
1951	0,30	0,20	0,90	0,60	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,23
1952	0,40	0,60	1,30	0,60	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,80	0,36
1953	0,40	0,50	0,50	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	0,22
1954	0,40	0,80	0,80	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,28
1955	0,40	0,50	0,70	0,90	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,40	0,30	0,29
1956	0,10	0,50	0,50	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,60	0,23
1957	3,80	0,90	81,40	2,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,60	7,50
1958	0,70	0,40	0,70	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,10	0,40	0,23
1959	0,60	0,80	0,60	0,40	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,25
1960	1,30	0,80	167,10	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	14,21
1961	0,60	0,90	0,90	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,28
1962	1,50	0,90	1,30	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,70	0,49
1963	0,80	6,80	0,50	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,80	0,84
1964	24,90	22,60	1,50	2,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	4,41
1965	0,30	0,60	17,70	42,40	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	5,16
1966	0,60	2,00	0,70	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,70	0,43
1967	0,90	3,20	23,10	8,70	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,20	3,18
1968	0,40	0,60	1,90	0,40	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,70	0,50	0,40
1969	0,90	0,70	8,20	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,90
1970	0,70	0,50	0,40	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,40	0,23
1971	0,40	0,70	29,50	45,90	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	6,48
1972	0,50	0,40	1,30	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80	0,37
1973	0,70	0,80	10,10	0,80	0,70	0,20	0,10	0,00	0,10	0,40	0,50	0,80	1,27
1974	1,70	11,00	33,90	40,90	0,50	0,20	0,10	0,00	0,00	0,20	0,40	0,60	7,46
1975	0,70	0,70	6,40	0,80	0,30	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,81
1976	0,30	1,40	0,60	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,60	0,40	0,36
1977	0,90	0,60	0,60	0,90	0,40	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,40	0,80	0,40
1978	0,60	0,80	0,80	0,60	0,50	0,20	0,10	0,00	0,00	0,10	0,40	0,40	0,38
1979	0,90	1,50	0,70	0,70	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	0,60	0,45
1980	1,00	59,80	0,60	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,50	5,23
1981	0,70	0,20	40,20	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	3,55
1982	0,60	0,60	0,70	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,20	0,23
1983	0,40	0,60	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,18
Média	1,49	5,24	12,24	4,06	0,27	0,06	0,01	0,00	0,01	0,09	0,35	0,61	2,04
desvpad	3,75	10,96	25,52	10,61	0,16	0,07	0,03	0,01	0,04	0,11	0,23	0,72	2,97
CV	2,52	2,09	2,09	2,61	0,59	1,17	2,82	1,20	3,86	1,26	0,66	1,18	1,46

Tabela 07 – Vazão Gerada para Petrônio Portela

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1914	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,50	0,40	0,50	0,18
1915	0,60	0,40	1,10	0,60	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,40	0,38
1916	1,00	2,70	80,10	15,50	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,30	1,30	1,10	8,58
1917	19,60	88,70	8,70	16,90	1,00	0,30	0,10	0,00	0,00	0,30	1,10	1,20	11,49
1918	1,90	0,80	4,80	1,20	0,60	0,30	0,10	0,10	0,00	0,30	0,70	1,00	0,98
1919	1,30	48,40	1,40	0,50	0,30	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,20	0,20	4,38
1920	0,70	0,90	44,10	10,10	0,60	0,10	0,10	0,00	0,10	0,40	0,50	0,90	4,88
1921	1,10	25,40	74,00	1,80	0,70	0,20	0,00	0,00	0,10	0,90	1,30	0,90	8,87
1922	1,00	29,90	4,10	4,70	0,60	0,30	0,10	0,00	0,00	0,30	1,00	0,70	3,56
1923	1,00	19,40	1,80	1,10	0,80	0,20	0,10	0,00	0,10	0,20	0,50	0,50	2,14
1924	22,70	104,00	177,60	124,20	1,30	0,40	0,10	0,00	0,00	0,50	0,40	3,60	36,23
1925	27,10	7,20	1,00	0,80	0,30	0,10	0,10	0,00	0,10	0,50	0,60	1,20	3,25
1926	5,40	104,10	260,60	178,00	0,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	1,00	45,91
1927	0,80	13,50	2,50	0,70	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,50	1,64
1928	6,20	0,80	115,40	1,20	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	1,00	10,50
1929	1,60	97,30	30,10	2,00	0,60	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,80	19,10	12,65
1930	0,90	3,50	124,00	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	0,60	10,90
1931	0,80	14,30	33,90	5,40	0,50	0,20	0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,50	4,68
1932	1,10	1,10	0,80	0,90	0,40	0,10	0,10	0,00	0,40	0,30	0,20	0,30	0,48
1933	1,80	5,10	55,10	39,40	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,30	0,80	10,70	9,48
1934	29,20	97,90	106,00	9,70	1,00	0,30	0,00	0,00	0,10	0,20	0,90	46,10	24,28
1935	62,60	81,70	70,80	134,30	3,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,40	0,80	1,10	29,62
1936	17,10	127,10	0,90	35,60	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	0,80	0,80	15,26
1937	0,90	5,60	1,10	1,10	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,30	0,50	1,20	0,97
1938	21,40	15,00	76,80	5,20	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,90	10,03
1939	7,40	88,10	60,90	0,90	0,30	0,50	0,20	0,20	0,50	0,40	1,00	1,10	13,46
1940	112,40	169,10	213,80	12,80	0,60	0,20	0,00	0,00	0,10	0,10	0,60	0,80	42,54
1941	1,00	11,00	83,80	1,20	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	0,40	0,50	8,23
1942	4,00	3,70	1,10	0,90	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50	1,20	17,60	2,47
1943	4,50	5,10	92,30	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,70	1,30	8,79
1944	1,10	1,00	2,50	1,20	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,80	12,00	1,61
1945	6,80	11,00	9,80	25,30	0,90	0,30	0,10	0,00	0,00	0,50	0,50	1,20	4,70
1946	1,10	1,20	13,90	1,00	0,40	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	1,10	0,60	1,63
1947	1,10	3,50	163,40	12,80	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	12,40	1,10	16,25
1948	0,90	1,00	32,50	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	1,80	3,17
1949	1,00	1,70	3,20	0,90	0,50	0,10	0,10	0,00	0,00	0,20	8,60	0,70	1,42
1950	0,80	1,50	11,60	20,20	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,60	0,80	3,02
1951	0,50	0,40	6,60	1,10	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,84
1952	0,70	1,00	18,60	1,10	0,60	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,60	2,50	2,12
1953	0,70	0,90	0,90	0,80	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,90	0,43
1954	0,70	4,60	6,70	1,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,70	1,25
1955	0,90	1,00	5,90	17,10	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,80	0,60	2,25
1956	0,30	1,00	0,90	0,60	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,20	1,30	0,48
1957	38,60	16,70	291,00	43,50	0,50	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,50	1,10	32,69
1958	4,50	0,70	5,70	0,50	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00	0,50	0,20	0,80	1,10
1959	1,20	5,80	1,20	0,70	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,10	0,40	0,40	0,87
1960	17,90	5,00	431,80	1,10	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,60	38,11
1961	1,20	18,40	20,10	0,80	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,60	3,48
1962	23,90	20,70	21,90	2,60	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	1,80	6,04
1963	0,90	24,40	1,00	2,20	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,00	103,30	11,12
1964	244,5	144,5	4,70	9,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,30	0,70	0,80	33,75
1965	1,00	1,10	39,40	140,00	0,90	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,70	0,40	15,33
1966	1,20	22,50	9,50	24,50	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,00	1,20	5,05
1967	0,90	15,80	33,90	10,30	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	1,30	19,70	6,89
1968	0,80	31,30	65,70	0,90	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	2,60	1,10	8,57
1969	11,20	1,10	24,70	0,50	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	0,60	1,40	3,33
1970	29,10	1,10	0,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,20	0,70	2,81
1971	0,80	2,50	6,20	55,20	0,60	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	1,00	0,80	5,62
1972	0,80	0,80	0,90	0,90	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	1,30	26,50	2,66
1973	1,10	3,10	14,50	6,70	0,80	0,20	0,10	0,00	0,10	1,00	0,90	1,00	2,46
1974	8,60	41,90	254,80	194,70	0,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,50	1,10	1,20	42,00
1975	1,10	10,80	35,30	10,10	0,60	0,20	0,20	0,00	0,00	0,40	0,60	0,60	4,99
1976	0,70	12,80	0,90	0,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	1,20	6,40	0,70	1,96
1977	29,80	0,70	0,80	4,70	0,50	0,20	0,00	0,00	0,30	0,10	0,80	67,60	8,79
1978	1,60	11,80	78,60	1,20	0,90	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00	0,90	1,00	8,04
1979	41,20	99,40	2,10	1,50	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,60	1,10	1,20	12,30
1980	26,70	291,30	1,00	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	7,60	27,38
1981	1,40	0,40	32,50	1,10	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,70	0,60	3,11
1982	1,00	0,90	2,90	0,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,10	0,50	0,58
1983	1,10	1,00	3,10	0,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,90	0,63
Média	12,38	28,40	48,43	17,27	0,53	0,16	0,03	0,01	0,04	0,23	1,08	5,55	9,51
Desv.pad	33,15	50,77	80,96	40,47	0,40	0,11	0,06	0,03	0,09	0,24	1,84	15,86	11,64
CV	2,68	1,79	1,67	2,34	0,75	0,69	1,86	3,10	2,25	1,03	1,70	2,86	1,22

Tabela 08– Vazão Gerada para Salinas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1914	0,00	0,00	0,00	1,60	1,50	1,10	1,30	1,30	0,80	3,20	3,30	4,00	1,51
1915	4,90	4,60	7,70	6,90	5,00	3,40	2,20	1,50	1,10	1,10	2,00	8,00	4,03
1916	8,10	15,20	83,90	30,30	11,20	7,70	5,10	3,40	2,30	3,20	8,00	9,00	15,62
1917	32,50	88,60	25,80	40,50	12,40	8,10	5,40	3,70	2,50	3,50	7,40	9,10	19,96
1918	13,90	9,40	20,80	13,80	9,20	6,90	4,90	3,60	2,50	3,10	5,20	7,60	8,41
1919	11,20	55,50	14,90	8,90	6,70	4,70	3,50	2,40	1,70	1,60	2,00	2,40	9,63
1920	4,60	6,40	45,80	23,70	9,30	6,20	4,40	3,20	2,90	3,90	4,70	7,00	10,18
1921	8,90	35,90	74,30	17,50	10,30	7,20	4,80	3,30	2,90	6,40	9,50	8,80	15,82
1922	9,80	44,00	18,50	22,30	9,90	7,20	5,00	3,30	2,20	3,30	6,70	6,40	11,55
1923	8,10	32,90	14,40	13,00	10,30	6,90	4,80	3,50	2,80	3,00	4,50	4,80	9,08
1924	30,00	85,60	140,80	117,90	19,10	9,40	6,30	4,20	2,80	4,40	4,40	12,70	36,47
1925	34,90	22,00	11,90	10,10	7,10	5,00	3,60	2,40	2,20	4,10	5,10	8,60	9,75
1926	17,60	92,50	194,90	144,50	12,50	8,70	5,80	3,90	2,60	2,60	4,10	6,80	41,38
1927	7,20	26,50	16,00	9,40	6,70	4,80	3,40	2,20	1,50	1,20	3,00	8,60	7,54
1928	16,00	9,10	116,00	13,90	8,70	6,00	4,00	2,70	1,90	1,60	5,60	7,30	16,07
1929	11,70	91,80	42,20	19,50	9,90	6,60	4,40	3,00	2,60	2,40	5,20	24,20	18,63
1930	9,40	19,80	118,30	11,30	8,10	5,50	3,70	2,50	1,70	2,30	2,90	4,40	15,83
1931	6,30	24,00	41,90	21,90	9,30	6,50	4,40	2,90	2,50	2,80	3,20	4,40	10,84
1932	7,80	9,10	8,60	9,40	7,00	4,80	3,50	2,40	3,80	3,70	3,30	3,70	5,59
1933	10,10	15,50	59,30	54,60	9,90	6,60	4,40	2,90	2,20	2,90	5,80	18,50	16,06
1934	37,20	94,60	105,70	31,10	15,40	8,30	5,50	3,90	3,20	3,30	6,20	43,10	29,79
1935	59,70	86,50	87,40	130,40	22,10	10,20	6,90	4,60	3,10	4,20	6,50	8,50	35,84
1936	28,90	109,10	11,90	61,30	9,40	6,40	4,30	2,90	1,90	1,90	5,40	6,20	20,80
1937	7,30	19,30	10,90	13,10	9,30	6,30	4,20	2,80	2,20	2,90	4,20	7,90	7,53
1938	29,60	28,70	84,10	24,20	10,90	7,30	5,00	3,30	2,20	1,70	2,20	5,60	17,07
1939	15,60	76,10	67,30	12,20	8,40	7,60	5,60	4,60	5,10	4,60	7,30	9,10	18,63
1940	93,70	134,00	173,90	30,80	10,90	7,50	5,10	3,50	3,20	2,50	4,70	6,50	39,69
1941	7,80	24,40	79,00	14,90	9,50	6,50	4,30	2,90	2,00	1,90	3,30	4,10	13,38
1942	13,00	15,10	10,80	10,70	7,80	5,20	3,50	2,30	1,70	3,60	7,50	24,80	8,83
1943	18,60	23,00	97,60	12,90	8,60	5,70	3,90	2,60	1,70	2,00	4,80	8,50	15,83
1944	9,10	9,30	17,20	12,80	7,90	5,30	3,50	2,40	1,60	2,10	5,20	18,70	7,93
1945	18,80	28,50	29,80	42,90	11,90	8,10	5,50	3,70	2,50	4,00	4,70	8,90	14,11
1946	9,80	12,40	31,30	11,00	7,80	5,90	4,10	2,90	1,90	1,30	6,50	5,60	8,38
1947	9,10	17,30	126,30	29,60	9,80	6,60	4,40	2,90	2,20	2,40	17,60	9,80	19,83
1948	9,50	11,90	43,20	11,30	8,40	5,80	4,00	2,70	1,90	2,00	2,40	9,10	9,35
1949	8,50	13,60	19,00	10,40	8,30	5,60	4,00	2,80	1,90	2,30	14,90	7,50	8,23
1950	8,10	15,40	23,40	34,70	9,40	6,30	4,20	2,80	2,00	1,80	4,00	5,90	9,83
1951	5,60	5,30	19,10	10,30	8,20	5,50	3,70	2,50	1,60	1,20	1,20	4,30	5,71
1952	5,40	7,80	30,80	11,00	8,50	5,70	3,90	2,60	2,20	2,00	4,20	10,60	7,89
1953	7,50	8,80	8,90	8,80	6,00	4,10	2,70	1,80	1,30	1,10	4,30	6,50	5,15
1954	6,60	18,10	20,40	10,50	7,80	5,20	3,60	2,40	1,70	1,20	4,90	5,50	7,33
1955	7,20	8,50	18,90	31,40	8,90	6,00	4,10	2,80	1,80	2,20	5,40	5,30	8,54
1956	4,20	7,20	7,90	7,20	5,10	3,50	2,50	1,70	1,10	1,50	6,60	9,40	4,83
1957	44,90	33,60	224,00	55,50	10,70	7,80	5,30	3,60	2,50	1,80	3,90	7,40	33,42
1958	14,50	8,50	22,90	8,00	5,80	4,00	3,00	2,00	1,40	3,30	2,70	5,60	6,81
1959	8,70	17,10	13,40	9,30	6,70	5,30	3,50	2,90	2,00	1,90	3,30	3,50	6,47
1960	24,70	16,50	295,40	13,10	9,40	6,30	4,30	2,80	2,00	1,80	2,80	4,50	31,97
1961	8,20	27,90	33,40	10,60	7,70	5,40	3,60	2,40	1,60	1,20	1,80	3,80	8,97
1962	26,50	29,00	38,20	21,20	9,60	6,70	4,60	3,20	2,10	1,80	5,00	9,70	13,13
1963	11,80	40,30	14,40	10,30	7,40	4,90	3,30	2,20	1,40	1,00	2,90	7,10	8,92
1964	55,70	39,00	19,30	70,80	10,90	7,80	5,20	3,60	2,40	4,30	6,40	6,20	19,30
1965	7,90	12,60	44,70	59,00	10,10	6,80	4,60	3,00	2,00	2,60	3,10	4,50	13,41
1966	7,90	17,40	16,60	18,20	8,40	6,60	4,40	2,90	2,00	1,80	4,20	8,30	8,23
1967	8,30	50,80	26,90	27,40	9,10	6,10	4,10	2,70	2,20	2,10	3,10	7,30	12,51
1968	8,60	14,00	80,60	11,00	9,50	6,30	4,30	2,80	1,90	4,30	12,10	9,40	13,73
1969	35,20	17,40	42,60	10,20	8,00	6,30	4,20	2,80	1,90	1,90	3,70	8,10	11,86
1970	15,70	9,30	8,70	8,70	5,80	3,90	2,60	1,70	1,10	2,00	4,10	4,90	5,71
1971	7,20	34,10	23,60	76,40	10,40	7,30	4,90	3,30	2,20	1,90	3,80	7,20	15,19
1972	8,10	13,30	15,80	10,90	7,50	5,60	3,70	2,60	1,90	2,00	3,30	6,40	6,76
1973	12,40	11,20	30,00	11,30	9,00	6,20	4,50	3,00	2,40	4,00	6,20	12,00	9,35
1974	96,90	98,80	222,50	254,00	12,60	8,40	5,60	3,80	2,80	4,30	5,10	22,70	61,46
1975	38,00	51,40	78,30	29,60	10,60	7,20	5,90	3,90	2,60	4,70	5,70	6,50	20,37
1976	8,40	37,50	15,70	10,40	7,20	4,80	3,20	2,20	4,70	7,00	10,50	8,30	9,99
1977	29,70	10,70	10,30	28,50	8,90	6,10	4,70	3,60	3,30	2,60	4,80	12,40	10,47
1978	10,40	31,30	21,60	23,30	12,60	8,40	6,90	4,60	3,10	2,80	8,10	8,40	11,79
1979	82,50	44,10	12,70	11,10	7,60	5,00	3,40	2,20	1,60	3,40	3,60	12,40	15,80
1980	26,30	183,30	12,60	9,20	6,40	4,20	2,80	1,90	1,70	2,20	6,30	9,80	22,23
1981	13,30	7,20	209,40	22,00	9,40	6,30	4,20	2,80	1,90	2,10	2,90	3,30	23,73
1982	7,10	10,00	14,60	9,80	6,70	4,60	3,00	2,00	1,60	2,00	1,90	3,50	5,57
1983	5,60	13,70	11,10	7,30	4,90	3,30	2,20	1,50	1,00	0,80	2,90	5,30	4,97
Média	18,55	33,48	53,43	28,59	9,10	6,14	4,22	2,88	2,18	2,65	5,06	8,66	14,58
desvpad	19,71	34,81	61,95	38,84	2,94	1,54	1,06	0,73	0,75	1,23	2,82	6,14	10,47
CV	1,06	1,04	1,16	1,36	0,32	0,25	0,25	0,25	0,35	0,46	0,56	0,71	0,72

6.3. Formulação e análise de cenários de demanda para o reservatório da Barragem.

6.3.1. Demanda para Abastecimento Humano

A demanda para abastecimento humano das adutoras foi estabelecida de acordo com o Manual Operativo do PROÁGUA/Semi-árido (2001), onde as taxas de crescimento esperadas para o sistema devem está entre 1,5% e 2,1%. As taxas *per capita* e os índices de abastecimento foram resumidos na tabela 09.

Tabela 09 – Parâmetros para estimativa da demanda para abastecimento humano

Parâmetro	Valor
Consumo per capita de água (q)	
População entre 4000 e 50000 hab	150 l/hab/dia
População inferior a 4000 hab	120 l/hab/dia
Índice de Abastecimento (iab)	
População inferior a 5000 hab	100%
Populações iguais ou superior a 5000hab	90%
Índice de Perdas (ip)	
Coefficiente do dia de maior consumo (K1)	1.2
Coefficiente da hora de maior consumo (K2)	1.5

Fonte: PROÁGUA/Semi-árido

a. Barragem de Bocaina

A implantação da adutora de Bocaina beneficiará as cidades de Bocaina, Santo Antônio de Lisboa, Francisco Santos, Monsenhor Hipólito e Alagoinha, além de Ampliação e melhoria dos sistemas de abastecimentos das cidades de São João da Canabrava, São José do Piauí, Santana do Piauí e Sussuapara, a partir de fontes subterrâneas.



Figura 06 – Localização da adutora de Bocaina

b. Barragem de Jenipapo

A implantação da adutora do Jenipapo beneficiará a cidade de São João do Piauí, localizada no semi-árido piauiense.

Além da cidade de São João do Piauí, deverão ser beneficiados também os seguintes povoados: Jacaré, Poço de Rêgo, Betânia e Santa Fé.

A figura 07 apresenta a configuração e a localização da adutora de Jenipapo, além das cidades por esta diretamente beneficiada.



Figura 07 – Adutora de Jenipapo

c. Barragem Pedra Redonda

A adutora de Pedra Redonda visa atender as necessidades de abastecimento de água das populações urbanas e algumas comunidades rurais, atendidas ou não por sistemas, dos municípios de Bela Vista do Piauí, Campinas do Piauí, Campo Alegre do Fidalgo, Capitão Gervásio de Oliveira, Conceição do Canindé, Isaias Coelho, Lagoa do Barro do Piauí, Nova Santa Rita, Queimada Nova, São Francisco de Assis do Piauí e Símplicio Mendes. A figura 08 demonstra a configuração e a localização da adutora de Pedra Redonda, e apresenta todas as cidades diretamente beneficiadas.



Figura 08 - Adutora de Pedra Redonda.

d. Barragem de Petrônio Portela

A área de abrangência do Sistema Adutor do Garrincho/Petrônio Portela inclui as sedes urbanas dos municípios de São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, São Lourenço, Dirceu Arcoverde, Bonfim, Várzea Branca, São Braz, Anísio de Abreu e Jurema. Além das localidades mencionadas, serão também contemplados vários distritos inseridos dentro da área geográfica dos municípios citados. A figura 09 apresenta a configuração da adutora de Petrônio Portela, para a mesma ainda não foi confeccionado estudo de viabilidade.



Figura 09 – Localização da adutora do Garrincho

e. Barragem de Salinas

A área de abrangência do Sistema Adutor de Salinas inclui as sedes urbanas dos municípios de Oeiras, São João da Varjota, Colônia do Piauí, Santo Inácio do Piauí, São Francisco do Piauí e Nazaré do Piauí.

A figura 10 apresenta a localização da adutora de Salinas assim como as cidades por esta abrangidas.

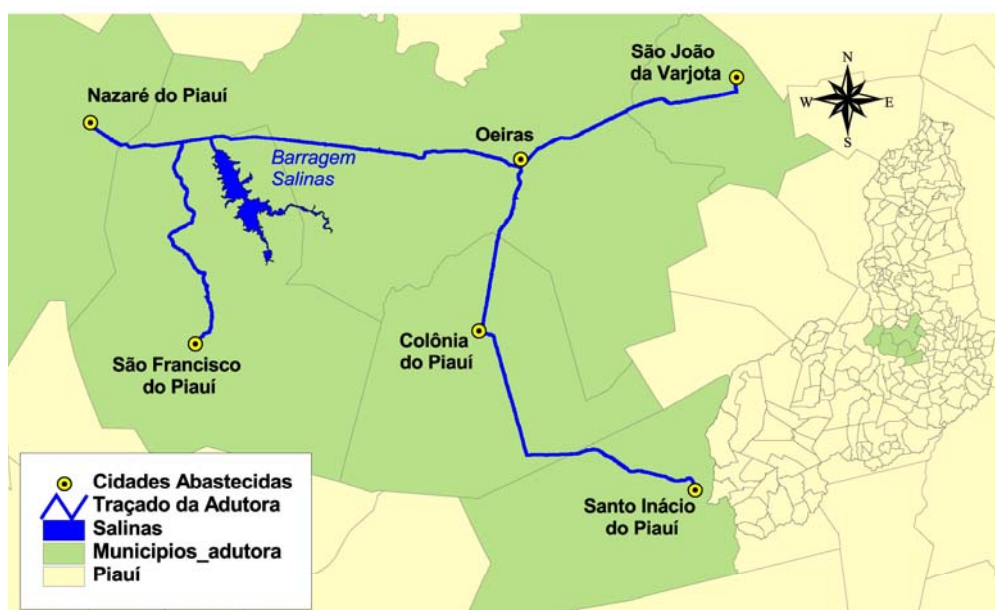


Figura 10 – Localização da adutora Salinas

Na tabela 10 apresentam as demandas estimadas para 2000 assim como projeção da população até o final do plano sugerido dos estudos de viabilidades desta adutoras que é de aproximadamente 30 anos.

Tabela 10 - Abastecimento Humano

Ano	Demanda Bocaina (m ³ /s)	Demanda Jenipapo (m ³ /s)	Demanda Pedra Redonda(m ³ /s)	Demanda Petrônio Portela(m ³ /s)	Demanda Salinas(m ³ /s)
Final de Projeto	0,056	0,052	0,077	0,133	0,136

6.3.2. Demanda para Abastecimento Animal

Para a demanda para Abastecimento Animal foi utilizada a seguinte expressão:

$$D = BEDA \times CP$$

sendo: D a demanda para abastecimento animal; BEDA a demanda equivalente de água; e CP a demanda estimada *per capita* animal estimada em 50 litros/BEDA/dia.

BEDA é calculada pela seguinte expressão:

$$BEDA = BOV + 0.2 (OVI) + 0.25(SUI)$$

sendo: BOV = bovinos, eqüinos, asininos e muares; OVI = ovinos e caprinos; e SUI = suínos.

Para a barragem de Bocaina o rebanho que teria acesso direto ao volume de água liberado pelo reservatório foi obtido a partir do cadastro de irrigantes, com extensão de 36.839km e será apresentado a seguir:



Figura 11 – Extensão atendida pelo cadastro de irrigantes.

Para as demais barragens o rebanho que teria acesso direto ao volume de água liberado pelo reservatório foi obtido a partir do Banco de Dados de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado do Piauí onde foi adotado que a distância máxima percorrida pelos rebanhos para se abastecerem no trecho perenizado ou diretamente do lago seria de 2,00km. O rebanho atendida foi calculado como sendo proporcional à área de abrangência, apresentada nas figuras de cada reservatório.



Figura 12 – Extensão estipulada para atender ao rebanho/Jenipapo

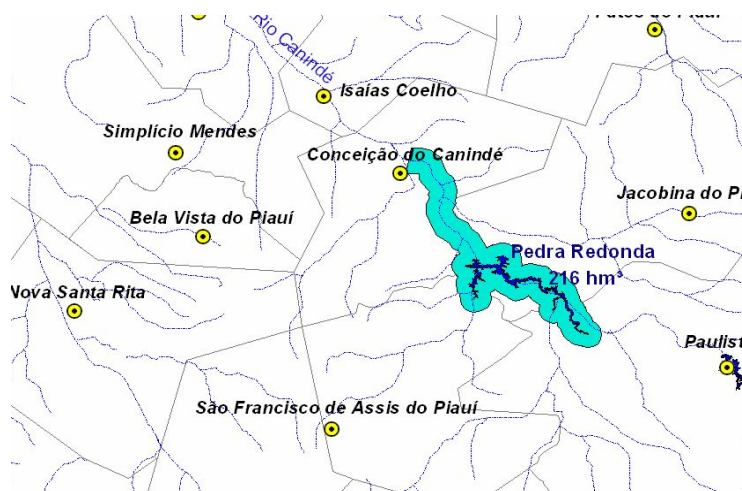


Figura 13 – Extensão estipulada para atender ao rebanho/Pedra Redonda

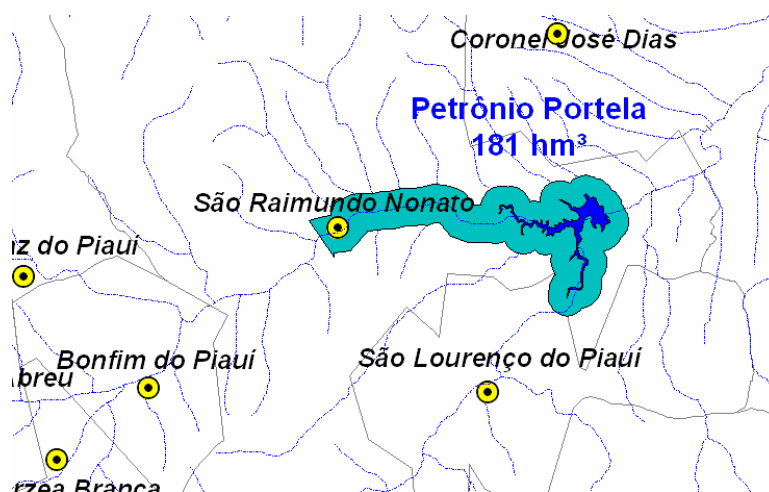


Figura 14 – Extensão estipulada para atender ao rebanho/Petrônio Portela

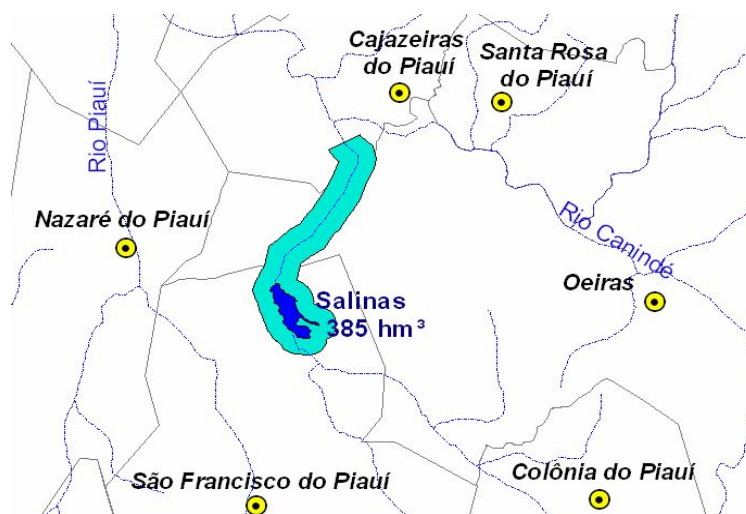


Figura 15 – Extensão estipulada para atender ao rebanho/Salinas

Na tabela 11 será apresentado o rebanho atendido diretamente pelas barragens demanda atual e projeção para demanda para 30anos.

A demanda referente ao consumo animal foi estimada a partir da equação geral estabelecida pelo PLIRHINE (SUDENE, 1980).

Tabela 11 – Demanda Animal

BARRAGEM	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petrônio Portela		Salinas	
	2004	2030	2004	2030	2004	2030	2004	2030	2004	2030
BOV	2914	3467	2367	2764	2631	3161	2367	1266	1394	1632
OVI	422	645	4571	5152	6381	8675	4571	4538	1848	2176
SUI	215	186	1199	1039	809	689	1199	736	878	760
BEDA	3052	3643	3581	4054	4109	5069	3581	2358	1983	2257
Demanda (m³/s)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0,001	0.001

6.3.3. Demanda Ecológica

É a demanda necessária de água a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, dos aspectos da paisagem, e outros de interesse científico ou cultural (BERNARDO, 1996).

Na resolução nº004/05 do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos – CERH de 26 de abril de 2005, Art.6º § 2, dispõe que nas outorgas de direito de uso para as derivações ou captações em corpo hídrico superficial deverá ser prevista uma vazão ambiental para jusante equivalente ao mínimo de 20% (vinte por cento) da vazão de referência, ou seja, deverão ser outorgados no máximo 80% (oitenta por cento) da Q₉₀ para reservatórios.

Com base em uma simulação mais simplificada, onde será considerada apenas uma demanda será determinada à vazão regularizada para cada reservatório e a partir desta informação, será informada a vazão ecológica.

Tabela 12 – Demanda Ecológica

Barragem	Bocaina	Jenipapo	Pedra Redonda	Petrônio Portela	Salinas
Q ₉₀ (m ³ /s)	1,900	2,865	1,080	2,750	4,500
Dem. Ecológica (m ³ /s)	0,380	0,573	0,216	0,550	0,900
Dem. Ecológica (l/s)	380	573	216	550	900

6.3.4. Demanda para Irrigação

Dentre os usos múltiplos da água, a agricultura irrigada se constitui no maior usuário, com cerca de 70 (± 20)%. Segundos dados da FAO, no Brasil 63% dos usos são para irrigação, 18 % para abastecimento humano, 14 para uso animal e 5% para uso industrial. A irrigação, além de consumir grandes volumes de água, apresenta o tipo de uso preponderantemente consultivo, ou seja, não retorna para os mananciais, na maior parte. Do grande potencial para irrigação Brasil, da ordem de 30 milhões de hectares, apenas 10% é atualmente irrigado. (CUNHA *et al*, 2003)

Estudos do PIMES-UFPE, citados pela CODEVASF (2002) indicam que cada hectare irrigado no semi-árido brasileiro proporciona a geração de 0,7 a 5 empregos, conforme a cultura. Esses dados demonstram que a agricultura irrigada possibilita a geração de empregos de forma mais barata do que outros setores da economia. Um ponto a ser destacado é que a agricultura irrigada permite a obtenção de altas produtividades, o que, especialmente em culturas de alto valor econômico, possibilita a concentração da produção sem a ocupação de bacias inteiras, permitindo a sustentabilidade econômica e ambiental de pequenos agricultores. O contrário se verifica na agricultura extensiva de baixo nível tecnológico, que pode, inclusive, ocasionar efeitos muito mais negativos para o meio ambiente, pela grande transformação que proporciona nas bacias.

A irrigação consiste em se fornecer água a uma cultura quando o aporte pluviométrico é insuficiente para atender totalmente às suas necessidades hídricas. Segundo GOMES (1999), esta necessidade corresponde à quantidade de água que passa à atmosfera em forma de vapor, pela evaporação do solo e transpiração das plantas, somada à quantidade de água

que é incorporada à massa vegetal. Para se obter o máximo rendimento da cultura é necessário que a quantidade efetivamente consumida pelas plantas seja a mais próximo possível da máxima perda de água que esta cultura sofre em um determinado estágio de desenvolvimento, quando não é submetida a qualquer tipo de restrição de água no solo. Tal consumo máximo ideal é denominado de evapotranspiração potencial (ET_p), e depende do clima e do tipo de cultura.

De forma a facilitar a determinação da necessidade de água para qualquer cultura foi desenvolvido o conceito de evapotranspiração de referência, a ET_o, que corresponde à demanda máxima de uma cultura referencial, em muitos casos fictícia. A relação entre ET_p e ET_o é chamada de coeficiente de cultura, grafado como k_c , que assume valores distintos segundo a fase decréscimo da cultura.

A evapotranspiração de referência pode ser determinada por meio diretos (lisímetros, parcelas experimentais de campo, controle de umidade) e meios indiretos (evaporímetros e equações). Devido às dificuldades de emprego dos métodos diretos, os métodos indiretos têm sido largamente empregados, principalmente aqueles que necessitam de poucos parâmetros climatológicos, como os baseados na temperatura média do ar (Thornthwaite e Blaney-Criddle, por exemplo).

Determinada a ET_o, a ET_p pode ser calculada por meio de valores tabelados de k_c , assunto de diversas pesquisas realizadas em todo o mundo.

Como a irrigação é um complemento ao aporte natural oriundo das precipitações, para se obter a quantidade de água demandada por esta forma de utilização, é necessário subtrair da evapotranspiração potencial a parcela satisfeita diretamente pelas chuvas. Como o aporte pluviométrico é variável ao longo do tempo, é utilizada a chamada precipitação provável, ou dependente, que corresponde à precipitação com uma certa probabilidade de ser igualada ou superada (AZEVEDO, 1992), sendo que o nível de probabilidade de 75% é considerado como nível confiável para estudos e planejamentos agrícolas (BERNARDO, 1989; SAMANI e HARGREAVES, 1985).

A FAO- Food and Agricultural Organization - disponibiliza o programa computacional Cropwat, que permite a determinação da ET_o pelo método combinado de Penman-Monteith a partir da localização geográfica e de dados

climatológicos representativos (temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade média dos ventos a 2 metros de altura e horas diárias de incidência solar), além de calcular a precipitação provável a partir dos valores médios mensais. O programa permite, ainda, a determinação da evapotranspiração potencial e a estimativa da demanda para irrigação a partir da definição do tipo de cultura, área plantada e período de plantio.

A FAO disponibiliza, ainda, um extenso banco de dados com valores de kc para diversas culturas, bem como normais climatológicas para uma grande quantidade de estações espalhadas por todo o mundo.

Assim, conhecida a área irrigada, as culturas e o calendário agrícola, além dos dados climatológicos pertinentes, é possível se determinar facilmente a demanda hídrica referente à irrigação de forma bastante rápida com o uso do Cropwat.

A tabela 13 apresenta a evolução da área irrigada no Estado do Piauí para o período de 1975 a 2000. Observa-se que, ainda que as áreas sejam pequenas, há uma tendência efetiva de crescimento, sendo verificadas taxa acima de 5% para o período 1995-2000.

Tabela 13 – Evolução da área irrigada no Estado do Piauí

Ano	1970	1975	1980	1985	1995	2000
Área Irrigada (ha)	1.863	1.944	6.386	13.560	18.254	23.745
Taxa de Crescimento* (%)	-	0,85	26,85	16,25	3,02	5,40

Fonte: até 1995 – Censo Agropecuário do IBGE; 2000 – SEAAAB/PI

* Crescimento geométrico

Dos cinco grandes reservatórios analisados no presente trabalho, todos construídos com o objetivo de irrigar grandes áreas, apenas a barragem de Bocaina dispõe de um cadastro de irrigantes, ação realizada pela SEMAR no ano de 2005. Para as demais, os dados não são insuficientes para permitir uma identificação precisa da demanda hídrica.

Desta forma, optou-se por determinar a máxima área irrigável a partir de cada reservatório de forma a se ter um atendimento adequado às demais

demandas, em especial as com maior prioridade segundo a legislação, abastecimento humano e animal.

Em termos de cultivos, têm-se dois tipos distintos que conduzem a manejos e tolerâncias a estiagens distintos: culturas temporárias, que são plantadas a cada período produtivo, sendo a planta colhida ou descartada após a produção, como é o caso do milho, feijão e melancia; e culturas permanentes, de longa duração, que após a colheita não necessitam de novo plantio, produzindo por vários anos sucessivos, como é o caso da laranja, manga e uva. Assim, o prejuízo provocado a uma cultura permanente pela escassez hídrica severa é muito mais durável que o observado em uma cultura temporária de mesma área.

Em termos de necessidades hídricas também há uma diferença significativa entre os dois tipos de culturas. As culturas permanentes apresentam um coeficiente de cultura bastante uniforme ao longo do ano, sempre próximo à unidade. Já as culturas temporárias apresentam grandes diversidades de valores, além de uma variação significativa ao longo das fases de desenvolvimento: nascimento; crescimento; floração e frutificação; colheita e maturação.

Para a análise das áreas máximas irrigáveis foram inicialmente determinadas as evapotranspirações de referência para cada barragem, considerando os parâmetros climáticos observados na estação climatológica mais próxima. Assim, a ETo de Bocaina foi determinada pelos dados monitorados na estação climatológica de Picos (número sinótico 82780), a de Salinas pela de Floriano (82678), Pedra Redonda pela de Morro dos Cavalos em Simplício Mendes (82684) e para Petrônio Portela e Jenipapo foram utilizados os dados de São João (82879).

Os valores calculados pelo método combinado de Penman-Monteith, bem como as normais climatológicas estão apresentadas na tabela de 14.

Tabelas 14 – Normais climatológicas e evapotranspiração de referência

Dados Climat.		Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
São João	Umidade (%)	72,0	66,0	70,0	67,0	55,0	45,0	42,0	40,0	38,0	39,0	52,0	58,0	54,0
	Vento (m/s)	2,3	2,5	1,9	2,2	2,6	3,3	3,7	3,8	3,4	3,4	2,5	2,3	2,8
	Insolação (hora)	188,5	192,9	196,7	246,8	283,5	287,4	306,5	308,9	278,4	270,7	225,4	213,6	249,9
	Evaporação (mm)	165,6	204,7	143,3	185,0	196,8	331,8	316,3	333,8	342,0	262,1	224,3	211,7	243,1
	Temp. Méd.(°C)	27,2	27,5	27,0	27,3	27,2	27,3	27,2	27,8	29,7	30,2	29,0	28,5	28,0
	Temp. Max.(°C)	32,7	33,2	32,4	33,3	33,9	34,0	33,8	34,2	36,3	36,7	35,6	34,8	34,2
	Temp.Min.(°C)	21,6	21,8	21,5	21,3	20,5	20,5	20,7	21,4	23,2	22,3	22,3	22,1	21,6
	ETo (mm)	156,9	175,8	151,3	165,9	181,7	207,7	225,7	245,2	257,3	260,7	202,4	185,7	2416,1
Floriano	Umidade (%)	79,9	81,7	82,3	77,4	71,6	62,9	52,7	44,8	45,6	55,9	67,9	72,5	66,3
	Vento (m/s)	1,2	1,4	1,3	1,9	2,0	2,7	2,6	2,6	2,4	1,8	1,5	1,3	1,9
	Insolação (hora)	159,4	205,2	156,4	181,4	241,9	254,5	291,5	296,6	265,5	234,0	198,3	162,2	220,6
	Evaporação (mm)	75,4	71,3	76,8	90,6	141,9	209,7	289,8	345,3	327,0	247,3	173,9	112,3	180,1
	Temp. Méd.(°C)	26,2	25,7	26,1	26,3	26,6	26,4	27,0	28,1	29,5	28,9	27,9	26,7	28,6
	Temp. Max.(°C)	31,2	30,8	31,4	31,8	32,7	33,3	33,8	35,4	36,3	35,4	34,0	32,3	33,2
	Temp.Min.(°C)	22,4	22,4	22,6	22,5	21,9	21,3	21,5	22,2	23,9	23,9	23,3	22,8	22,5
	ETo (mm)	122,5	122,8	125,6	131,4	138,0	166,8	184,1	205,2	214,5	178,3	153,1	132,1	1874,3
Picos	Umidade (%)	69,0	74,7	76,4	74,2	67,3	56,5	52,7	45,7	43,1	45,4	51,9	58,7	59,6
	Vento (m/s)	1,7	1,7	1,6	1,7	2,1	2,6	3,1	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,3
	Insolação (hora)	189,8	170,1	188,3	210,7	250,3	259,5	273,0	310,0	286,1	268,1	245,9	219,0	239,2
	Evaporação (mm)	133,1	108,9	94,2	117,8	173,4	236,7	256,6	315,3	328,4	318,9	285,5	212,3	215,1
	Temp. Méd.(°C)	26,7	26,4	25,9	26,1	26,2	26,1	26,3	27,4	29,1	29,8	29,5	28,4	28,0
	Temp. Max.(°C)	32,8	32,2	31,7	32,1	32,8	32,9	33,3	34,7	36,1	36,7	35,9	34,8	34,2
	Temp.Min.(°C)	22,3	22,1	21,9	21,5	20,5	19,4	19,0	20,0	22,3	24,0	23,8	23,1	21,6
	ETo (mm)	150,0	144,5	148,2	140,4	106,6	167,7	190,3	221,0	238,7	231,6	208,6	182,6	2130,3
Morro dos Cavalos	Umidade (%)	72,3	74,0	76,6	70,5	63,1	54,3	47,6	43,3	43,2	45,0	52,9	61,5	58,7
	Vento (m/s)	1,9	1,7	1,9	2,5	3,2	4,1	4,5	4,6	4,0	3,3	2,7	2,2	3,1
	Insolação (hora)	191,5	161,2	191,0	206,3	252,7	269,7	285,8	310,9	292,7	269,2	238,7	204,5	239,5
	Evaporação (mm)	126,4	93,0	100,6	124,4	173,9	249,9	298,4	345,8	349,9	313,8	241,4	196,1	217,8
	Temp. Méd.(°C)	28,4	26,6	26,5	26,8	26,8	26,7	27,3	28,1	29,2	29,5	29,1	28,0	27,8
	Temp. Max.(°C)	32,9	32,4	32,3	32,8	33,4	33,6	33,7	34,9	36,3	36,7	35,9	34,3	34,1
	Temp.Min.(°C)	21,3	21,1	21,1	20,7	20,3	19,8	20,4	21,3	22,0	22,9	22,4	21,7	21,3
	ETo (mm)	151,9	143,8	144,2	157,2	177,9	209,3	233,4	265,4	269,1	248,9	213,0	175,2	2389,2

Para as culturas permanentes, a evapotranspiração potencial foi admitida igual à de referência. Já para culturas temporárias, optou-se por considerar um consumo médio para diversas culturas tradicionalmente plantadas no Estado do Piauí, com ênfase nas de maior possibilidade de

rendimento financeiro, partindo-se da proposição adotada no Plano Estadual de Irrigação, datado de 1991. Assim, foram calculadas as demandas de água para cada cultura, em cada reservatório, com o auxílio do programa Cropwat citado, e a demanda por hectare foi determinada a partir da média ponderada em relação à área plantada de cada cultura. A tabela 15 apresenta a distribuição adotada para as culturas temporárias e a tabela 16 a demanda unitária para cada um dos cinco reservatórios.

Tabela 15 – Distribuição das culturas temporárias

Cultura	Algodão	Arroz	Banana	Cebola	Feijão	Melão	Melancia	Milho	Total
Área (%)	5	10	20	7,5	15	10	22,5	10	100

Tabela 16 – Demanda unitária para irrigação (l/s.ha)

Barragem	Cultura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Bocaina	Temp.	0,066	0,074	0,306	0,491	0,509	0,402	0,637	0,835	1,042	0,965	0,641	0,206
	Perm.	0,268	0,218	0,157	0,260	0,339	0,630	0,694	0,821	0,905	0,787	0,665	0,448
Jenipapo	Temp.	0,085	0,149	0,281	0,437	0,713	0,524	0,687	0,918	1,239	1,103	0,620	0,206
	Perm.	0,242	0,317	0,144	0,364	0,646	0,790	0,836	0,914	0,971	0,885	0,502	0,385
Pedra Redonda	Temp.	0,064	0,044	0,150	0,378	0,710	0,548	0,731	0,957	1,274	1,100	0,660	0,206
	Perm.	0,224	0,151	0,075	0,358	0,619	0,801	0,867	0,989	1,024	0,822	0,587	0,367
Petrônio Portela	Temp.	0,137	0,255	0,371	0,332	0,348	0,388	0,682	0,918	1,240	1,194	0,918	0,299
	Perm.	0,295	0,386	0,206	0,426	0,641	0,797	0,841	0,910	0,983	0,870	0,513	0,392
Salinas	Temp.	0,004	0,000	0,040	0,207	0,395	0,417	0,635	0,772	0,889	0,702	0,337	0,077
	Perm.	0,044	0,000	0,026	0,202	0,424	0,624	0,681	0,749	0,764	0,484	0,282	0,082

7. SIMULAÇÃO

7.1. Determinação da Vazão Regularizada

Como comentado, a vazão regularizada corresponde à vazão constante que pode ser liberada por uma barragem, sendo atrelada a uma garantia de fornecimento. Normalmente se trabalha, especialmente em nível de planejamento, com as garantias de 100, 95, 90, 85 e 80%. Assim, a garantia de 100% indica que em qualquer momento a vazão regularizada correspondente poderá ser obtida a partir da barragem, independente da severidade da estiagem. Já para a vazão regularizada com 90% serão verificadas falhas de atendimento em 10% do tempo: 1 ano a cada 10 ou 10 meses a cada cem, etc.

Para os grandes reservatórios da bacia do rio Canindé foram determinadas as vazões regularizadas com 100, 95, 90, 85 e 80% de garantia, tanto como um fim em si como para balizar as demais simulações realizadas.

Foi criada uma rede de fluxo mais simplificada, em que cada barragem dispõe de apenas uma demanda que representa a vazão por ela regularizada. Tais demandas foram consideradas totalmente consuntivas, fato coerente com a realidade local tendo em vista a grande distância entre os reservatórios e a acentuada perda no percurso decorrente das altas taxas de evaporação e de infiltração características da região.

Foi estabelecido, ainda, que cada barragem teria como volume meta o valor de 100% de sua capacidade, entretanto com uma prioridade inferior às demandas, admitidas com prioridade máxima, ou seja, com o valor de 1. Assim, sempre que houver excesso hídrico ele será totalmente armazenado, garantindo uma situação mais favorável aos períodos seguintes. Em outras palavras, caso seja possível os reservatórios sempre estarão cheios.

Ressalta-se que tal regra de operação maximiza a disponibilização da água mas exclui como possível uso o controle de cheias, ao menos como um uso “controlado”. Para que um reservatório aja efetivamente como um redutor de grandes vazões de cheias, comuns no semi-árido nordestino devido à grande concentração de precipitações, é necessário que seja reservado um determinado volume para absorver uma parcela dos grandes escoamentos

existentes na bacia, reduzindo as vazões a jusante. Tal controle, por exemplo, é executado na hidroelétrica de Boa Esperança efetivamente a partir de 1985, quando foi registrada a última grande enchente do rio Parnaíba na cidade de Teresina.

Os chamados “volumes de espera” indicam o nível máximo que a barragem deverá apresentar ao fim de cada mês do período chuvoso de forma a ser capaz de absorver parte de possíveis cheias que ocorram durante o mês seguinte. Se as cheias ocorrerem, as vazões serão minoradas e, com elas, os prejuízos decorrentes. Caso as cheias não ocorram, a barragem não estará cheia ao fim do período chuvoso, o que reduzirá a sua eficiência de regularização e, conseqüentemente, as vazões liberadas.

Como os períodos secos são mais freqüentes que os com umidade acentuada, é mais produtora para o semi-árido combater os efeitos das cheias com outras medidas, sendo a mais indicada o zoneamento das áreas alagáveis e a adoção de restrição de ocupação.

Como pode ser observado na figura 16, que representa a rede de fluxo construída, apenas as barragens Petrônio Portela e Jenipapo podem, efetivamente, constituir um sistema de reservatórios em que demandas localizadas a jusante de Jenipapo poderiam ser atendidas pela vazão liberada em Petrônio Portela, podendo-se optar por reservar mais água em um dos dois açudes, dependendo de uma estratégia de operação. Na prática tal sistema é inviabilizado pelas altas perdas no percurso, já discutidas anteriormente. Assim, da vazão liberada em Petrônio Portela, apenas uma parte reduzida alcançaria o reservatório de Jenipapo, repondo o volume liberado por este. Tal fato seria extremamente prejudicial em termos de eficiência de utilização da água, bem como reduziria o atendimento aos possíveis usuários implantados a jusante da barragem.

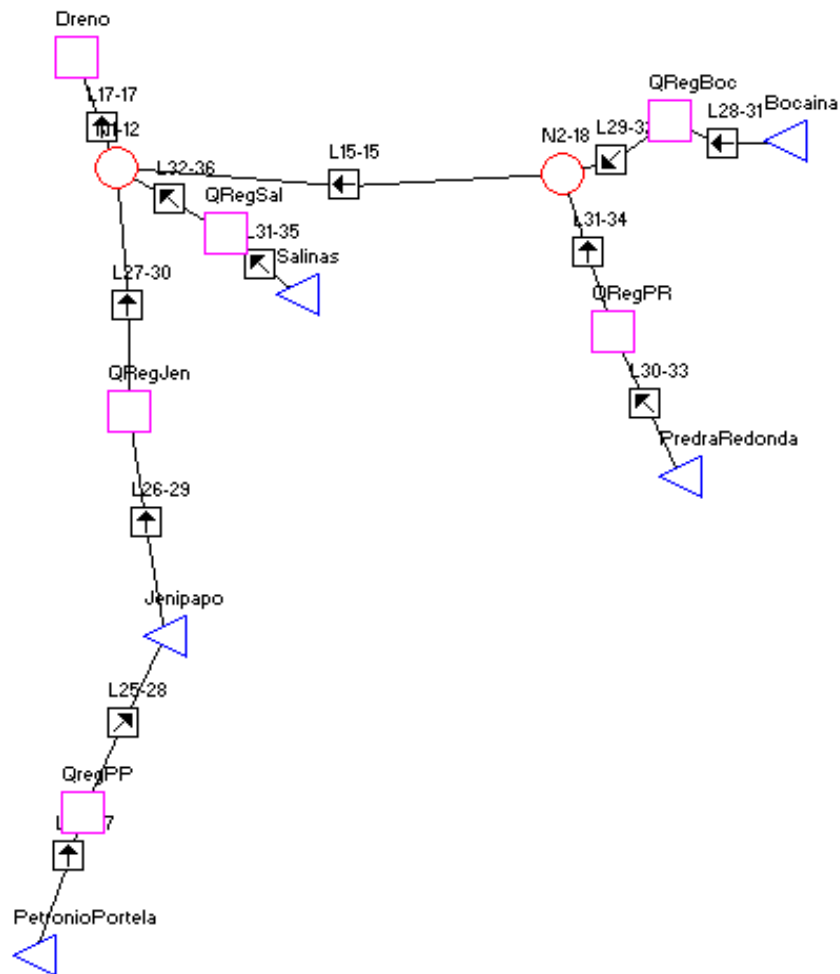


Figura 16 – Rede de fluxo adotada para o estudo das vazões regularizadas

Desta forma, ainda que em conjunto, os reservatórios foram considerados isoladamente, de forma a maximizar a utilização em seus entornos. Para que tal fato fosse considerado pelo modelo foi necessário definir uma prioridade para a demanda representativa da vazão regularizada em Jenipapo inferior à prioridade de acumulação na barragem Petrônio Portela. As prioridades adotadas estão apresentadas na tabela 17, lembrando que, para o Acquanet, a prioridade máxima é dada pelo valor unitário e a mínima pelo valor 99.

Tabela 17 – Prioridades adotadas

Elemento		Prioridade
Tipo	Nome	
Demanda	QregPP	1
Demanda	QRegPR	1
Demanda	QRegBoc	1
Demanda	QRegSal	1
Demanda	QRegJen	60
Demanda	Dreno	99
Reservatório	PetronioPortela	50
Reservatório	Bocaina	90
Reservatório	PredraRedonda	90
Reservatório	Salinas	90
Reservatório	Jenipapo	90

Como pode ser observado, foi seguida a recomendação do manual do programa de se adotar uma demanda de grande valor mas de baixíssima prioridade no final da rede a fim de que a mesma absorva os grandes excessos que não puderam ser armazenados nos reservatórios, evitando, assim, que estas grandes vazões passem pelos nós de demandas e mascarem os resultados, especialmente o de vazão média fornecida.

Definidas as prioridades e informadas as vazões afluentes a cada reservatório, seus volumes característicos (máximo, mínimo e inicial), as relações cota-área-volume e as lâminas médias evaporadas, iniciou-se o processo de determinação das vazões regularizadas. Para todas as simulações, o volume inicial de todas as barragens foi adotado igual à metade de sua capacidade.

Como critério inicial, definiu-se como vazão requerida a cada demanda representativa da regularização o valor de 20% da vazão média afluente a cada reservatório. Realizada a simulação, foi observado o grau de atendimento a cada demanda na opção Resultados – Resumo das Demandas, conforme apresentado na figura 16.

The screenshot shows a window titled "Resumo" with a table of demand results and a section for selecting summary graphics. The table has five columns: Demandas, Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses), Frequência abaixo da demanda necessária (%), Volume acumulado dos déficits (Mm³), and Vazão média fornecida (m³/s). The rows list demands: QRegBoc, QRegJen, QRegPP, QRegPR, and QRegSal. Below the table, there is a section titled "Gráficos do resumo das Demandas" with five radio buttons: "Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)", "Vazão média fornecida (m³/s)", "Frequência abaixo da demanda necessária (%)", and "Volume acumulado dos déficits (Mm³)". At the bottom, there are three buttons: "Planilha", "Gráfico", and "Sair".

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm³)	Vazão média fornecida (m³/s)
QRegBoc	0	0,00	0,000	0,839
QRegJen	15	1,93	40,392	1,668
QRegPP	12	3,99	137,602	1,847
QRegPR	0	0,00	0,000	0,414
QRegSal	0	0,00	0,000	0,839

Gráficos do resumo das Demandas

Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)
 Vazão média fornecida (m³/s)

Frequência abaixo da demanda necessária (%)

Volume acumulado dos déficits (Mm³)

Planilha Gráfico Sair

Figura 16 – Resumo dos resultados observados para as demandas

Como pode ser percebido, foram observadas falhas de atendimento das vazões requeridas em Jenipapo (1,93% do tempo abaixo do valor necessário) e em Petrônio Portela (3,99% de frequência de falhas). Como resumo são apresentados pelo programa, ainda, o período máximo de meses consecutivos em que houve falha de atendimento (tempo abaixo da demanda necessária), a soma de todos os volumes que não foram atendidos no período simulado (volume acumulado dos déficits) e a vazão média fornecida para cada demanda.

Assim, para a determinação da vazão regularizada com 100% de garantia é necessário se determinar os valores limites de demandas em que não são verificadas falhas no atendimento. Desta forma, foram aumentadas as demandas para Bocaina, Pedra Redonda e Salinas e reduzidas as demandas de Jenipapo e Petrônio Portela. Tal procedimento de ajuste foi repetido até que fossem obtidas as vazões máximas demandadas que apresentassem um grau de atendimento de 100%. Tais valores de vazões são apresentados na tabela 18. Já as figuras 16 e 17 trazem o resumo dos resultados obtidos pelo

Acquanet para as vazões determinadas e para tais vazões acrescidas de 0,001 m³/s, precisão mínima dos dados de entrada.

Tabela 18 – Vazões regularizadas com 100% de garantia

Barragem	Bocaina	Jenipapo	Petrônio Portela	Pedra Redonda	Salinas
Q₁₀₀ (m³/s)	1,016	1,151	1,252	0,528	1,943

Obs.: Q₁₀₀ – vazão regularizada com 100% de garantia

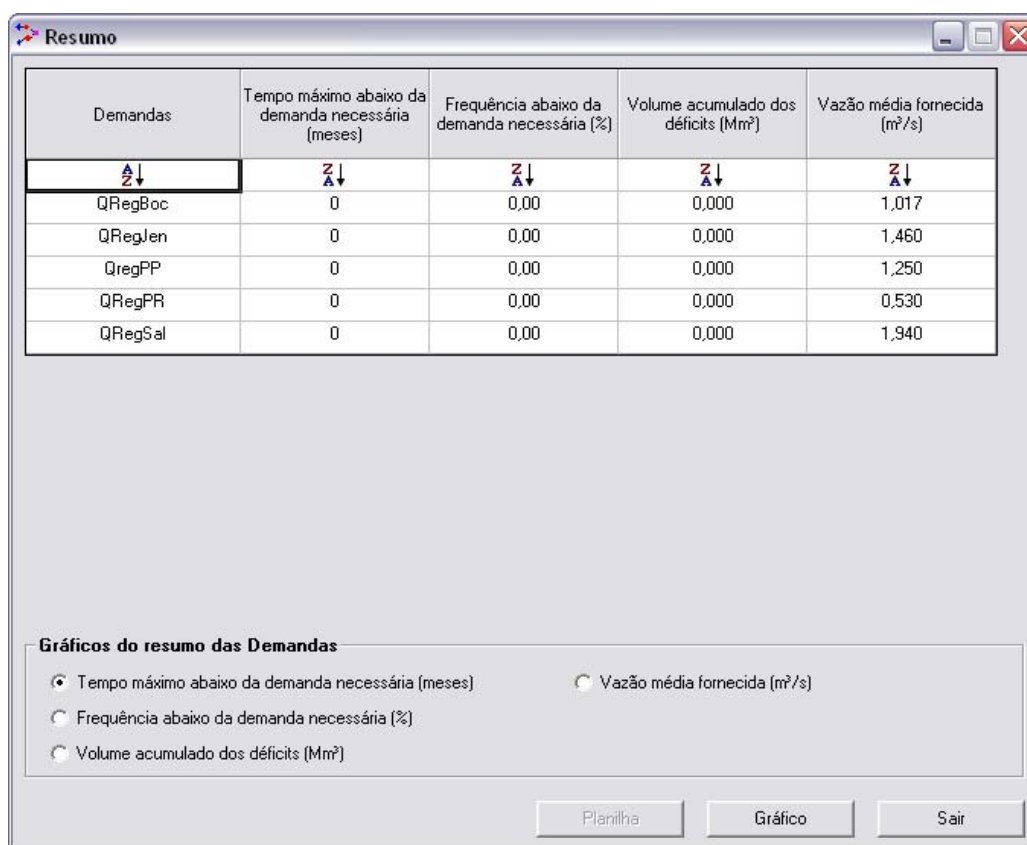


Figura 16 – Resultado da simulação para Q₁₀₀

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm³)	Vazão média fornecida (m³/s)
$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$
QRegBoc	1	0,12	0,158	1,020
QRegJen	1	0,12	0,578	1,459
QregPP	2	0,24	0,315	1,250
QRegPR	2	0,24	0,263	0,530
QRegSal	1	0,12	0,342	1,946

Gráficos do resumo das Demandas

Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)
 Vazão média fornecida (m³/s)

Frequência abaixo da demanda necessária (%)

Volume acumulado dos déficits (Mm³)

Planilha Gráfico Sair

Figura 17 – Resultado da simulação para $Q_{100} + 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$

É possível observar uma leve discrepância entre as vazões demandadas e a vazão média fornecida devido ao procedimento de cálculo do modelo. Segundo Roberto (2002), “os cálculos do Modsim envolvem, em geral, números inteiros, o que favorece muito a velocidade de processamento do modelo”. Ou seja, as vazões são transformadas em números inteiros, correspondentes ao volume mensal, o que ocasiona “erros” de arredondamento.

Como já mencionado o procedimento foi repetido para determinação da vazão regularizada com 100, 95, 90, 85 e 80% de garantia. A tabela 19 a seguir traz, em síntese, os resultados destas simulações.

Tabela 19 – Vazões regularizadas com 100, 95, 90, 85, 80% de garantia.

Barragem	Bocaina	Jenipapo	Pedra Redonda	Petrônio Portela	Salinas
Q_{100} (m ³ /s)	1,016	1,151	0,528	1,252	1,943
Q_{95} (m ³ /s)	1,520	1,850	0,850	2,020	3,350
Q_{90} (m ³ /s)	1,910	2,865	1,080	2,750	4,500
Q_{85} (m ³ /s)	2,234	3,343	1,259	3,265	5,077
Q_{80} (m ³ /s)	2,492	3,650	1,482	3,675	5,640

Obs.: Q_{100} - vazão regularizada com 100% de garantia; Q_{95} - vazão regularizada com 95% de garantia; Q_{90} - vazão regularizada com 90% de garantia; Q_{85} - vazão regularizada com 85% de garantia; Q_{80} - vazão regularizada com 80% de garantia.

7.2.– Simulação do Reservatório Considerando Prioridades de Atendimento às Demandas

A vazão regularizada é um parâmetro importante para balizar o planejamento de utilização dos volumes disponibilizados por um reservatório de acumulação, entretanto, na fase real de operação, as demandas a serem atendidas apresentarão diferentes graus de tolerância à falhas, ou seja, possuirão valores diversos de prioridade de atendimento. A classificação da prioridade de atendimento em períodos de escassez hídrica será definida tanto por questões legais (as Leis Federal e Estadual definem o abastecimento humano e o animal como mais prioritários) quanto por questões locais relacionados à características sócio-econômicas.

A adoção de diferentes prioridades necessariamente conduzirá a diferentes graus de atendimento, sendo esperada/desejada uma maior segurança na contemplação das vazões demandas pelos usos mais prioritários. Desta forma, na vida real, será efetuada uma troca em que uma parcela do volume demandado pelos usos menos prioritários será utilizada para atender às demandas que exigem uma maior garantia quando da ocorrência de períodos de escassez hídrica. Em resumo, para aumentar a garantia de atendimento de algumas demandas deve-se diminuir ou a garantia de atendimento aos usos menos prioritários ou diminuir o seu volume médio demandado. Tal troca será tanto mais considerável quanto maiores forem as demandas prioritárias em relação aos demais usos.

Para melhor exemplificar tal fato será considerada a simulação do reservatório Petrônio Portela para a vazão regularizada de 85%. Como visto na tabela 19, tal vazão corresponde a um valor de 3,265 m³/s. Para o ano de 2030 as demandas estimadas para abastecimento humano, abastecimento animal e demanda ecológica são, respectivamente, 0,095 m³/s, 0,002 m³/s e 0,550 m³/s (20% da vazão regularizada com 90%).

Considerando que todas as demandas apresentem a mesma tolerância à falhas, no caso um risco de 15% de não atendimento, estaria disponível para a irrigação uma vazão de 2,616 m³/s. Tomando-se uma distribuição da área irrigada tal que 40% do total corresponda à culturas permanentes e os 60% restantes à culturas temporárias, e considerando a vazão média, seria possível irrigar um total de 4.416 ha.

Na operação real, no entanto, não será possível trabalhar com um risco de 15% de falha para os abastecimentos humano e animal, primeiro por ser esse um risco muito alto para esse tipo de utilização, e em segundo lugar pela carência de mananciais alternativos no semi-árido que pudessem ser utilizados no caso de desabastecimento.

Assim, admitindo-se um risco máximo de 5% para os usos prioritários, foi efetuada a simulação de tal forma a se obter uma garantia de atendimento à demanda ecológica e à irrigação de, no mínimo, 85%. As prioridades foram assim definidas: abastecimento humano – 1; abastecimento animal – 5; demanda ecológica – 10; irrigação – 20. A rede de fluxo montada para essa simulação é apresentada na figura 16.

Para uma área irrigada de 4.416 ha, o resultado da simulação apresenta as seguintes falhas de atendimento: abastecimento humano – 7,61%; abastecimento animal – 7,73%; demanda ecológica – 9,90%; irrigação – 15,34%. Assim, para essa situação, o risco de falhas é superior ao limite estabelecido.

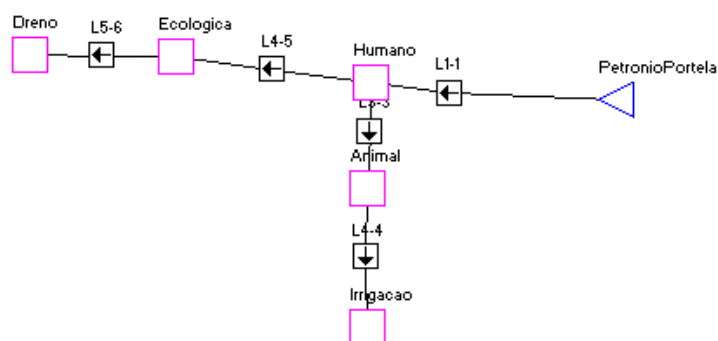


Figura 16 – Rede de fluxo

Para se alcançar as garantias adequadas para o abastecimento humano e animal é necessário que se reduza a área irrigada para 3.377 ha, o que corresponde a um percentual de redução de 24,4% em relação à área previamente estimada. O percentual de falhas para tal situação é mostrado na figura 17.

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm ³)	Vazão média fornecida (m ³ /s)
$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$	$\frac{Z}{A} \downarrow$
Animal	8	4,95	1,077	0,009
Ecologica	9	6,40	70,115	0,518
Humano	8	4,71	9,224	0,090
Irrigacao	15	8,94	401,742	1,804

Figura 17 – Resumo dos resultados para uma área irrigada de 3.377 ha

Analisando-se os resultados percebe-se que para os usos prioritários apresentem o risco admissível houve uma redução muito grande da demanda para irrigação e, no final, a garantia para esse uso ficou muito acima do limite inicial – 91% contra 85%. Tal fato decorre em parte da estratégia de operação adotada, em que o armazenamento de água somente acontece se todas as demandas forem satisfatoriamente atendidas, o que provoca um esvaziamento mais severo do reservatório nos períodos de estiagem.

Uma forma de operação mais adequada impõe o racionamento das demandas menos prioritárias, ou de parte delas, sempre que o reservatório atinja um determinado nível de armazenamento, o chamado volume de alerta.

Assim, quando o volume armazenado é superior ao de alerta, todas as demandas são completamente atendidas. Caso o armazenamento seja inferior, é executado um racionamento das demandas de forma a se garantir um maior volume armazenado para que sejam satisfatoriamente atendidas as demandas prioritárias nos períodos subsequentes. Uma apresentação esquemática desse conceito é apresentada na figura 18.

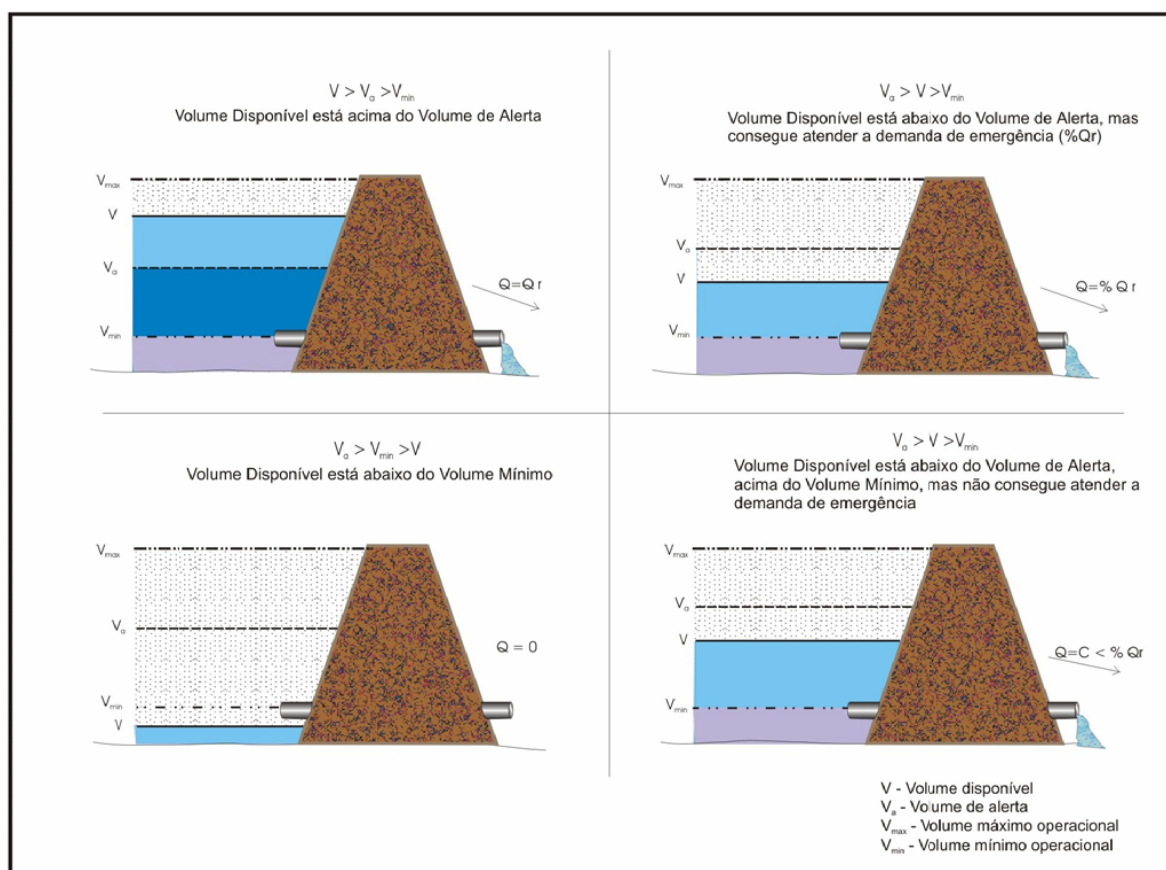


Figura 18 – Apresentação esquemática do conceito de volume de alerta
Fonte: SEMAR (2006)

O Acquanet permite a adoção do volume de alerta a partir da utilização dos chamados *estados hidrológicos*. Segundo o manual do usuário, o Acquanet pode trabalhar com até sete estados hidrológicos. Para cada estado podem ser definidas prioridades diferentes para o armazenamento de água nos reservatórios, atendimento às demandas, bem como volumes demandados e volumes metas.

No presente estudo foram adotados dois estados: um seco, abaixo do volume de alerta; e um úmido, para armazenamentos superiores. Segundo Braga et al. (2002), “a determinação deste nível de alerta pode ser feita através de modelos de simulação do balanço hídrico do reservatório, ou por otimização, através de métodos como a programação dinâmica”.

Como o Acquanet trabalha com os estados hidrológicos definidos para todo o sistema e não para um reservatório isolado, optou-se por considerar a fronteira entre os estados o percentual de volume médio armazenado com 90% de persistência observado na determinação da vazão regularizada com 100% de garantia, conforme sistema apresentado no item 7.1. Tal valor portanto é apenas um indicativo, atendendo aos objetivos do presente trabalho, não devendo ser considerado como ótimo ou definitivo. O procedimento de cálculo é apresentado na tabela 20.

Tabela 20 – Determinação do volume de alerta

Volume (hm ³)	Bocaina	Jenipapo	Petrônio Portela	Pedra Redonda	Salinas
Máximo	106,00	248,00	181,20	206,00	387,40
90% de Persistência	29,74	88,34	68,44	77,22	162,87
Percentual	0,28	0,36	0,38	0,37	0,42
Média					0,36

Definido o limite dos estados hidrológicos foi realizada nova simulação, entretanto com um diferencial: as demandas ecológicas e para irrigação foram divididas em duas, permitindo o estabelecimento do racionamento quando da ocorrência do estado hidrológico seco, conforme pode ser observado na figura 19 que mostra a rede de fluxo para a nova situação.

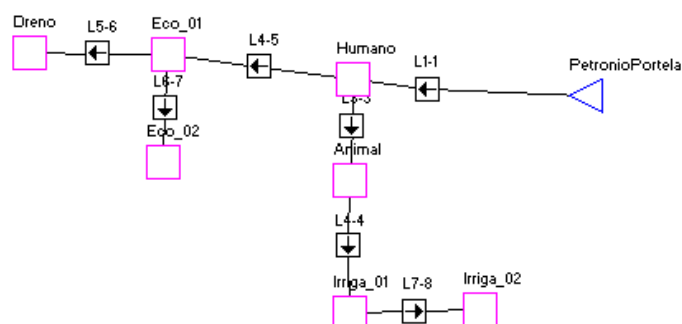


Figura 19 – Rede de fluxo para volume de alerta

Ao se dividir as demandas na verdade se está definido um percentual que deve ser atendido sempre que possível e um outro que será racionado sempre que o estado hidrológico for seco, ou seja, essa segunda parcela somente será atendida se houver uma situação favorável em termos hidrológicos.

Para a divisão das demandas optou-se por conservar as vazões atendidas com 95% de garantia, estando o complemento sujeito ao racionamento. Para a demanda ecológica, mantendo-se o percentual de 20% da vazão regularizada, tem-se 0,404 m³/s (20% de 2,020 m³/s) a ser atendido qualquer que seja o estado hidrológico, e os 146 l/s restantes apenas quando o estado hidrológico for úmido. Para a irrigação, tem-se isenta do racionamento a demanda referente a uma área de 2.327 ha e sujeita a operação com volume de alerta a irrigação dos 2.089 ha restantes.

As prioridades de atendimento são apresentadas na figura 20. Observe-se que a prioridade de acumulação de água no reservatório é maior do que às das parcelas que podem sofrer racionamento para o estado hidrológico EH-1, ou seja, para o estado seco. No estado úmido, ao contrário, só haverá acumulação de água no reservatório após o atendimento a todas as demandas.

Elemento	Prioridade - EH 1	Elemento	Prioridade - EH 2
Humano	1	Humano	1
Animal	5	Animal	5
Eco_01	10	Eco_02	10
Irriga_01	20	Eco_01	10
PetronioPortela	30	Irriga_01	20
Eco_02	40	Irriga_02	20
Irriga_02	50	PetronioPortela	90
Dreno	99	Dreno	99

Figura 20 – Prioridades em função do estado hidrológico

O resultado resumido da simulação é apresentado na figura 21. Como pode ser visto, houve um atendimento satisfatório às demandas para abastecimento humano e animal, com risco de falha inferiores a 5,0%. Com relação à irrigação, a área de 2.327 ha foi atendida com uma garantia superior a 90% enquanto a parcela de 2.089 ha apresentou garantia superior a 75%, valor razoável para culturas temporárias. Efetuando uma média ponderada em relação à área, tem-se uma garantia média de 83,8% para a irrigação, um

pouco inferior aos 85% estabelecidos inicialmente. Tal grau de garantia pode ser obtido reduzindo a demanda da parcela que pode sofrer racionamento. Efetuando-se novas simulações chega-se a uma área irrigável de 4.187 ha (2.327 ha com 8,82% de falhas + 1.860 ha com 22,71% de falhas), inferior ao inicialmente almejado (4.416 ha), mas bem superior ao obtido sem a consideração do volume de alerta (3.377 ha).

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm ³)	Vazão média fornecida (m ³ /s)
Z↓ A↓	Z↓ A↓	Z↓ A↓	Z↓ A↓	Z↓ A↓
Animal	8	4,83	1,051	0,009
Eco_01	9	5,92	46,647	0,383
Eco_02	34	23,79	77,237	0,114
Humano	8	4,71	9,040	0,090
Iriga_01	15	9,42	287,004	1,256
Iriga_02	34	23,79	716,892	0,916

Figura 21 - Resultado da simulação para estados hidrológicos

7.3. Determinação da Vazão Outorgável

No item 2.4 foram apresentados os critérios adotados por diversos estados nordestinos no que tange à vazão outorgável, tanto em rios perenes quanto de trechos de rios perenizados e da utilização direta da água acumulada em lagos naturais ou artificiais. Como resumido no quadro 01, não há um consenso sobre as vazões de referência, nem quanto ao limite outorgável.

O presente estudo propõe uma nova abordagem para a identificação da vazão outorgável a partir da avaliação do comportamento dos reservatórios e do grau de atendimento às demandas observados a partir da simulação hidrológica dos sistemas hídricos.

Como visto no item anterior, ainda que a vazão outorgável esteja atrelada a uma dada garantia de atendimento, a operação real irá impor diferentes graus de atendimento às demandas em função das suas importâncias. Assim, a vazão referencial ideal seria aquela em que seja verificada a maior correspondência entre o grau de atendimento de referência e o índice efetivo de atendimento às demandas verificado durante a operação real do sistema, com a devida observação dos níveis de alerta e da imposição

de racionamentos nos períodos mais severos. Assim, por exemplo, se a vazão de referência é a regularizada com 85% de garantia, deve-se obter um grau de atendimento às demandas menos prioritárias da ordem de 85%. Se tal fato não ocorrer, tem-se uma situação de superestimação da disponibilidade hídrica com a possibilidade de graves prejuízos sócio-econômicos atrelado ao risco de falha superior ao acordado entre o outorgado e o poder público outorgante. Ressalta-se que, ao emitir uma outorga, o poder público assume o compromisso de fornecer a quantidade de água especificada atrelada a uma garantia de atendimento.

Seguindo a metodologia apresentada no item anterior, o sistema representativo da bacia do Canindé foi simulado considerando a definição de dois estado hidrológicos, um seco e o outro úmido, cujo limiar é 36% da capacidade máxima de acumulação total do sistema. Para permitir o racionamento das demandas menos prioritárias, as mesmas foram divididas em duas partes, uma que não sofre racionamento, adotada igual à vazão correspondente à garantia de 95% (tabela 21), e uma complementar, até atingir os valores indicados para a demanda considerada. O grau de atendimento do abastecimento humano e animal foi considerado, no mínimo, de 95%. A rede assim construída está apresentada na figura 22.

As tabelas 22 a 24 apresentam o resultado das simulações, bem como a demanda considerada para cada situação. A demanda animal foi admitida igual a 0,006 m³/s por ser este o menor valor considerado pelo Acquanet ao distribuir a água no sistema.

Tabela 21 – Resultado da simulação para a vazão regularizada com 95% de garantia

Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
	Dem.	Garan.	Dem.	Garan.	Dem.	Garan	Dem.	Garan	Dem.	Garan.
	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)
Abast. Hum	0,056	97,7	0,052	97,6	0,077	96,0	0,133	97,1	0,136	96,4
Abast. Animal	0,006	97,7	0,006	97,6	0,006	96,0	0,006	97,1	0,006	96,5
Ecológica 01	0,382	96,3	0,573	96,7	0,216	95,7	0,550	96,5	0,900	96,0
Ecológica 02	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-
Ecológi. Total	0,382	96,3	0,573	96,7	0,216	95,7	0,6	96,5	0,9	96,0
Irrigação 01	1,076	95,1	1,219	95,1	0,551	95,0	1,331	95,1	2,308	95,1
Irrigação 02	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-	0,000	-
Irrigaç. Total	1,076	95,1	1,219	95,1	0,551	95,0	1,331	95,1	2,308	95,1
Total	1,902	-	2,423	-	1,066	-	2,570	-	4,250	-

Obs.: Valores em vermelho indicam o não atendimento à garantia estabelecida

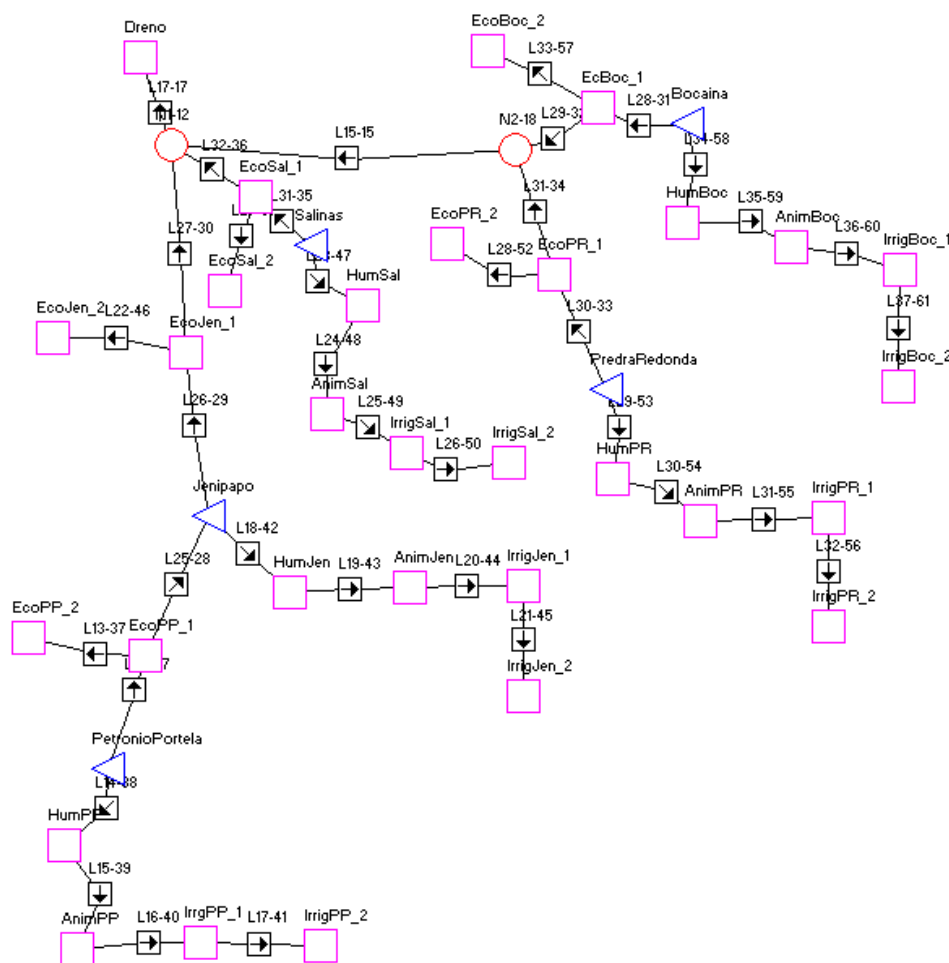


Figura 22 – Rede de fluxo para a bacia do Canindé considerando volume de alerta

Tabela 22 – Resultado da simulação para a vazão regularizada com 90% de garantia

Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
	Dem.	Garan.	Dem.	Garan.	Dem.	Garan.	Dem.	Garan.	Dem.	Garan.
	m³/s	(%)	m³/s	(%)	m³/s	(%)	m³/s	(%)	m³/s	(%)
Abast. Humano	0,056	97,3	0,052	97,0	0,077	94,2	0,133	95,8	0,136	95,0
Abast. Animal	0,006	97,3	0,006	97,0	0,006	94,2	0,006	95,8	0,006	95,1
Ecológica 01	0,304	94,7	0,370	96,4	0,170	93,6	0,404	95,2	0,670	94,2
Ecológica 02	0,078	79,4	0,203	80,2	0,046	79,7	0,146	80,4	0,230	79,8
Ecológica Total	0,382	91,6	0,573	90,6	0,216	90,6	0,550	91,3	0,900	90,5
Irrigação 01	1,076	92,3	1,219	93,0	0,551	91,9	1,331	93,0	2,308	93,0
Irrigação 02	0,390	78,7	1,015	80,2	0,230	79,4	0,730	80,4	1,150	79,7
Irrigação Total	1,466	88,7	2,234	87,2	0,781	88,2	2,061	88,5	3,458	88,6
Total	1,910	-	2,865	-	1,080	-	2,750	-	4,500	-

Obs.: Valores em vermelho indicam o não atendimento à garantia estabelecida

Tabela 23 – Resultado da simulação para a vazão regularizada com 85% de garantia

Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
	Dem	Garan	Dem	Garan	Dem	Garan	Dem	Garan	Dem	Garan
	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)
Abast. Humano	0,056	96,4	0,052	95,8	0,077	92,3	0,133	94,6	0,136	93,8
Abast. Animal	0,006	96,3	0,006	95,8	0,006	92,4	0,006	94,6	0,006	94,0
Ecológica 01	0,304	93,0	0,370	94,7	0,170	91,6	0,404	93,7	0,670	93,1
Ecológica 02	0,078	71,3	0,203	72,6	0,046	71,1	0,146	73,1	0,230	72,3
Ecológica Total	0,382	88,6	0,573	86,9	0,216	87,2	0,550	88,2	0,900	87,8
Irrigação 01	1,076	89,6	1,219	91,2	0,551	89,5	1,331	90,3	2,308	90,9
Irrigação 02	0,714	70,8	1,493	72,5	0,409	70,7	1,245	72,8	1,727	72,2
Irrigação Total	1,790	82,1	2,712	80,9	0,960	81,5	2,576	81,9	4,035	82,9
Total	2,234	-	3,343	-	1,259	-	3,265	-	5,077	-

Obs.: Valores em vermelho indicam o não atendimento à garantia estabelecida

Tabela 24 – Resultado da simulação para a vazão regularizada com 80% de garantia

Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
	Dem.	Garan	Dem.	Garan	Dem.	Garan	Dem.	Garan	Dem.	Garan
	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)	m ³ /s	(%)
Abast. Humano	0,056	96,0	0,052	96,1	0,077	91,3	0,133	94,3	0,136	93,4
Abast. Animal	0,006	96,0	0,006	96,1	0,006	91,4	0,006	94,3	0,006	93,5
Ecológica 01	0,304	92,5	0,370	95,2	0,170	90,0	0,404	93,2	0,670	92,3
Ecológica 02	0,078	61,1	0,203	62,6	0,046	61,0	0,146	63,0	0,230	62,3
Ecológica Total	0,382	86,1	0,573	83,6	0,216	83,8	0,550	85,2	0,900	84,6
Irrigação 01	1,076	89,7	1,219	91,2	0,551	87,1	1,331	89,5	2,308	90,6
Irrigação 02	0,972	61,0	1,800	62,6	0,632	60,5	1,655	63,0	2,290	62,2
Irrigação Total	2,048	76,1	3,019	74,1	1,183	72,9	2,986	74,8	4,598	76,4
Total	2,492	-	3,650	-	1,482	-	3,675	-	5,640	-

Obs.: Valores em vermelho indicam o não atendimento à garantia estabelecida

A análise dos resultados conduz às seguintes constatações:

1) Apenas para a Q_{95} é possível o atendimento a todas as demandas dentro da garantia estabelecida;

2) Para a Q_{90} mesmo com a adoção do volume de alerta não foi possível atingir os 95% de garantia de atendimento às demandas para abastecimento humano e animal para a barragem Pedra Redonda, ainda que a diferença tenha sido inferior a 1%. Quanto à demanda para irrigação, todas as barragens apresentaram, na média ponderada, um risco de falha superior a 10%. O

menor desvio foi observado em Bocaina, 1,3%, e o maior em Jenipapo, 2,8%. O maior risco de não atendimento à demanda complementar de irrigação foi verificada em Bocaina e vale 22,3%;

3) Ao simular o somatório das demandas igual à Q_{85} observou-se o não atendimento da garantia mínima estabelecida para as demandas mais prioritárias em três reservatórios, Pedra Redonda, Petrônio Portela e Salinas, sendo a situação mais crítica o da barragem Pedra Redonda. Novamente não houve o atendimento adequado às demandas para irrigação em todos os reservatórios, cabendo a Jenipapo o maior desvio (4,1%) e a Salinas o menor (2,1%). O atendimento à demanda complementar variou entre 72,8 e 70,7%;

4) Para a Q_{80} , o não atendimento às demandas prioritárias é mais freqüente para as barragens de Pedra Redonda, Petrônio Portela e Salinas, chegando a um mínimo de 91,3% para a primeira. Em relação à irrigação, Pedra Redonda foi o que mais se afastou da garantia desejada, apresentando um desvio de 7,1%, enquanto o menor desvio coube a Salinas, 3,6%. Já o atendimento às demandas de irrigação complementares apresentaram um risco muito alto de desabastecimento, variando entre 39,5% para Pedra Redonda a 37,4% em Jenipapo.

Tendo em vista que a demanda para a irrigação é o grande diferencial nas simulações, apresenta-se na tabela 25 as áreas irrigadas correspondentes às vazões simuladas. Como pode ser observado, há uma variação considerável da área irrigada à medida que se aumenta o risco de falha. Tomando-se a área para a Q_{95} como referência, tem-se um aumento de 53,1% para a Q_{90} , 83,9% para a Q_{85} e 110,5% para a Q_{80} .

Tabela 25 – Área irrigada (ha) em função da vazão de referência

Barragem	Q_{95}	Q_{90}	Q_{85}	Q_{100}
Bocaina	2.090,00	2.847,24	3.476,34	3.977,29
Jenipapo	2.097,25	3.843,39	4.665,70	5.193,84
Pedra Redonda	965,62	1.368,69	1.682,38	2.073,18
Petrônio Portela	2.233,49	3.458,19	4.322,19	5.010,04
Salinas	6.252,52	9.368,22	10.931,48	12.456,82
Total	13.638,88	20.885,72	25.078,10	28.711,17

Considerando o incremento considerável da área irrigada e avaliando os dados das simulações se observa que a Q_{90} foi a que apresentou os melhores resultados relativos pois permitiu a irrigação de uma área bem maior que a Q_{95} , os níveis de atendimento às demandas prioritárias foram satisfatórios (mesmo Pedra Redonda apresentou 94,2% de garantia), o risco de falha no atendimento á irrigação ficou bem próximo dos 10% estabelecidos, com desvio máximo de 2,8%, e as áreas irrigadas atendidas com menor prioridade ainda apresentam garantias da ordem de 80%.

Assim, por tal análise, é possível afirmar que a Q_{90} seria a vazão de referência que apresenta o melhor desempenho na operação real em relação ao valor teórico de garantia de atendimento.

Para confirmar os resultados optou-se por avaliar a área máxima irrigável considerando o atendimento das demandas prioritárias com 95% de garantia. Assim, variou-se o valor da demanda de irrigação complementar até se determinar o máximo valor desta que propiciasse os riscos admitidos para o abastecimento aos diversos usos. Um resumo dos resultados obtidos é apresentado nas tabelas 26, 27 e 28.

Tabela 26 – Resultados das simulações considerando a demanda máxima para irrigação

Vazão de Ref.	Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
		Dem.	Gar.	Dem.	Gar.	Dem.	Gar.	Dem.	Gar.	Dem.	Gar.
		(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)
Q ₉₀	<i>Abast. Hum.</i>	0,056	97,5	0,052	97,3	0,077	95,8	0,133	95,1	0,136	95,5
	<i>Abast. Anim.</i>	0,006	97,5	0,006	97,3	0,006	95,8	0,006	95,1	0,006	95,5
	Ecológica 01	0,304	94,9	0,370	96,9	0,170	95,4	0,404	94,3	0,670	94,6
	Ecológica 02	0,078	82,1	0,203	83,1	0,046	83,2	0,146	82,9	0,230	82,6
	<i>Ecol. Total</i>	0,382	92,3	0,573	92,0	0,216	92,8	0,550	91,3	0,900	91,5
	Irrigação 01	1,076	92,8	1,219	94,4	0,551	93,1	1,331	93,2	2,308	93,2
	Irrigação 02	0,332	81,6	0,730	83,0	0,162	83,2	0,610	82,9	0,990	82,5
	<i>Irrig. Total</i>	1,408	90,1	1,949	90,1	0,713	90,9	1,941	90,0	3,298	90,0
	Total	1,852	-	2,580	-	1,012	-	2,630	-	4,340	-
Q ₈₅	<i>Abast. Hum.</i>	0,056	96,4	0,052	96,6	0,077	95,2	0,133	95,1	0,136	95,2
	<i>Abast. Anim.</i>	0,006	96,4	0,006	96,6	0,006	95,2	0,006	95,1	0,006	95,2
	Ecológica 01	0,304	93,4	0,370	95,9	0,170	94,6	0,404	94,3	0,670	94,3
	Ecológica 02	0,078	76,6	0,203	77,9	0,046	78,4	0,146	77,9	0,230	77,7
	<i>Ecol. Total</i>	0,382	89,9	0,573	89,5	0,216	91,1	0,550	90,0	0,900	90,1
	Irrigação 01	1,076	90,2	1,219	92,2	0,551	91,6	1,331	93,4	2,308	93,1
	Irrigação 02	0,590	76,1	1,160	77,9	0,180	77,9	1,000	77,9	1,245	77,7
	<i>Irrig. Total</i>	1,666	85,2	2,379	85,2	0,731	88,2	2,331	86,7	3,553	87,7
	Total	2,110	-	3,010	-	1,030	-	3,020	-	4,595	-
Q ₈₀	<i>Abast. Hum.</i>	0,056	95,1	0,052	95,2	0,077	95,1	0,133	95,1	0,136	95,1
	<i>Abast. Anim.</i>	0,006	95,1	0,006	95,2	0,006	95,1	0,006	95,1	0,006	95,1
	Ecológica 01	0,304	91,1	0,370	94,3	0,170	94,4	0,404	94,3	0,670	94,1
	Ecológica 02	0,078	73,8	0,203	75,0	0,046	75,9	0,146	75,1	0,230	75,1
	<i>Ecol. Total</i>	0,382	87,5	0,573	87,5	0,216	90,5	0,550	89,2	0,900	89,2
	Irrigação 01	1,076	87,3	1,219	90,9	0,551	91,3	1,331	93,2	2,308	93,1
	Irrigação 02	0,860	73,2	1,520	74,8	0,193	75,9	1,050	75,1	1,315	75,1
	<i>Irrig. Total</i>	1,936	81,0	2,739	82,0	0,744	87,3	2,381	85,2	3,623	86,6
	Total	2,380	-	3,370	-	1,043	-	3,070	-	4,665	-

Tabela 27 – Comparação entre a vazão regularizada e a demanda total

Vazão (m3/s)	Bocaina	Jenipapo	Pedra Redonda	Petrônio Portela	Salinas	Média
Q ₉₀	1,910	2,865	1,080	2,750	4,500	-
Dem Total	1,852	2,580	1,012	2,630	4,340	-
Relação	0,97	0,90	0,94	0,96	0,96	0,95
Q ₈₅	2,234	3,343	1,259	3,265	5,077	-
Dem Total	2,110	3,010	1,030	3,020	4,595	-
Relação	0,94	0,90	0,82	0,92	0,91	0,90
Q ₈₀	2,492	3,650	1,482	3,675	5,640	-
Dem Total	2,380	3,370	1,043	3,070	4,665	-
Relação	0,96	0,92	0,70	0,84	0,83	0,85

Tabela 28 – Área máxima irrigável e garantia de abastecimento

Vaz de Ref.	Tipo	Bocaina		Jenipapo		Pedra Redonda		Petônio Portela		Salinas	
		Área	Gar.	Área	Gar.	Área	Gar.	Área	Gar.	Área	Gar.
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Q ₉₀	Irrig.01	2.089,22	92,8	2.097,08	94,4	965,62	93,1	2.232,98	93,2	6.253,06	93,2
	Irrig. 02	644,63	81,6	1.255,84	83,0	283,90	83,2	1.023,38	82,9	2.682,21	82,5
	Irrig. Total	2.733,85	90,1	3.352,92	90,1	1.249,52	90,9	3.256,37	90,0	8.935,27	90,0
Q ₈₅	Irrig. 01	2.089,22	90,2	2.097,08	92,2	965,62	91,6	2.232,98	93,4	6.253,06	93,1
	Irrig. 02	1.145,58	76,1	1.995,58	77,9	315,13	77,9	1.677,67	77,9	3.373,08	77,7
	Irrig. Total	3.234,80	85,2	4.092,66	85,2	1.280,75	88,2	3.910,66	86,7	9.626,14	87,7
Q ₈₀	Irrig. 01	2.089,22	87,3	2.097,08	90,9	965,62	91,3	2.232,98	93,2	6.253,06	93,1
	Irrig. 02	1.145,58	73,2	1.995,58	74,8	315,13	75,9	1.677,67	75,1	3.373,08	75,1
	Irrig. Total	3.234,80	82,3	4.092,66	83,1	1.280,75	87,5	3.910,66	85,5	9.626,14	86,8

Como pode ser observado, a Q₉₀ novamente apresentou o melhor desempenho, com a demanda total que atende às garantias admitidas e maximiza a área irrigada estando mais próxima do valor de referência. Em média a relação entre o valor total atendido e o valor teórico indicado pela vazão de referência é de 95%, variando entre 97% para Bocaina e 90% para Jenipapo.

Assim, para os reservatórios em regiões semi-áridas, a vazão de referência que se apresentou mais próxima das vazões efetivamente fornecidas durante a operação real foi a Q₉₀, devendo a mesma ser adotada para efeito de outorga.

8. CONCLUSÃO

A Bacia do Canindé tem cerca de 96,8% de seu território inserido na região semi-árida, caracterizando-se, pela ocorrência de chuvas irregulares no tempo e no espaço, pelas altas temperaturas, pela forte insolação e pelas elevadas taxas de evaporação.

A regularização por mais de um ano das águas superficiais somente é possível a partir dos reservatórios de médio e grande porte, e em consequência, o uso das águas superficiais, que ocorre acentuadamente durante a estação seca, está intimamente associado à política de operação e monitoramento destes reservatórios.

Às peculiaridades ambientais ainda poderiam ser acrescentadas muitas outras de caráter socioeconômicas e culturais que caracterizam o semi-árido, onde a escassez provoca conflitos pelos múltiplos usos da água.

Neste trabalho foram apresentados indicadores para implementação de um dos instrumentos da política ambiental – A Outorga – que deve ser vista como um instrumento de alocação de água entre os mais diversos usos dentro de uma bacia.

A Outorga como instrumento de gestão deve ser instituída de forma a atender as peculiaridades regionais. Assim, a fixação de critérios e normas quanto à permissão ou autorização do uso, e outras providências relacionadas, devem considerar a utilização racional dos recursos hídricos.

A concessão de outorgas no Brasil passa pela avaliação da sustentabilidade hídrica do uso a ser outorgado, comparando o impacto da nova retirada de água no balanço disponibilidade hídrica x demanda total. A definição da disponibilidade passa pelo emprego das chamadas vazões de referências, que indicam a quantidade de água produzida na bacia que pode ser esperada, estando atrelada a uma garantia (ou probabilidade) de ocorrência. Quanto menor for o risco de que ocorram vazões menores que a de referência, ou seja, quanto maior a garantia, menor se torna a vazão de referência.

A definição da vazão de referência passa por um dilema, pois quanto menor a vazão, maior a garantia de atendê-la em sua plenitude. Entretanto, serão mais frequentes os períodos em que as vazões produzidas na bacia

superarão à de referência. Como tais excedentes não poderão ser legalmente utilizados, isso implica em uma subutilização dos recursos hídricos da região.

Como a outorga é um compromisso do ente outorgante com o usuário outorgado, é necessário que as vazões efetivamente fornecidas durante a operação regular dos reservatórios respeitem as condições impostas na outorga concedida. Grandes desvios podem ocasionar graves prejuízos aos usuários, bem como expor o Estado a sérios entraves administrativos e mesmos jurídicos.

Outro fato relevante é que certos usos apresentam uma maior prioridade de atendimento, exigindo, que em períodos de escassez se imponham restrições ou racionamentos no atendimento aos demais usos. Pela legislação brasileira, são usos prioritários em tempo de escassez os abastecimentos humano e animal.

Assim, para aumentar a garantia de atendimento de algumas demandas deve-se diminuir ou a garantia de atendimento aos usos menos prioritários ou diminuir o seu volume médio demandado.

O presente estudo propôs uma nova abordagem para a identificação da vazão outorgável a partir da avaliação do comportamento dos reservatórios e do grau de atendimento às demandas observados a partir da simulação hidrológica dos sistemas hídricos.

Foi utilizado para simulação o modelo Acquanet que permite a adoção do volume de alerta a partir da utilização dos chamados *estados hidrológicos*. Para cada estado podendo ser definidas prioridades diferentes para o armazenamento de água nos reservatórios, atendimento às demandas, bem como volumes demandados e volumes metas.

O sistema representativo da bacia do Canindé foi simulado considerando a definição de dois estado hidrológicos, um seco e o outro úmido, sendo testadas as vazões de referencias mais usuais, Q_{80} , Q_{85} , Q_{90} e Q_{95} , verificando-se o grau de atendimento a cada demanda e a vazão máxima disponibilizada.

Em termos gerais, a Q_{95} foi a única vazão de referência em que foi observado a atendimento integral às garantias estabelecidas, ou seja, todos os usos simulados apresentaram um risco de não serem atendidos de, no máximo, 5%. Para as demais vazões referenciais, sempre foi observado um

risco de desabastecimento superior ao valor nominal, especialmente quanto à irrigação.

A utilização da Q_{90} , entretanto, mostrou-se mais racional, por permitir um incremento considerável na área irrigada em comparação à Q_{95} (7.246,84 ha a mais no total, considerando as cinco barragens), e apresentar níveis de atendimento às demandas prioritárias satisfatórios, com apenas um reservatório apresentando valores um pouco abaixo do estabelecido (Pedra Redonda apresentou 94,2% de garantia contra os 95% requeridos para os abastecimentos humano e animal), e com o risco de falha no atendimento à irrigação ficando bem próximo dos 10% estabelecidos, com desvio máximo de 2,8%. Além disso, as áreas irrigadas que sofreram racionamento durante a operação ainda apresentam garantias da ordem de 80%, valor bem razoável para culturas temporárias onde se pode admitir um maior risco.

Portanto, para regiões com características semi-áridas, em que as variações das vazões afluentes são mais acentuadas e são verificados períodos mais severos de estiagem, a Q_{90} apresenta menor desvio entre as garantias nominais e as efetivamente observadas durante a operação do reservatório, confirmando a regra já praticada pela maioria dos Estados inseridos ou com áreas significativas nesta região característica. Assim a vazão regularizada com 90% de garantia deve ser utilizada como vazão de referência para concessão da Outorga de Recursos Hídricos de águas acumuladas em reservatórios de regularização plurianual localizadas no semi-árido brasileiro.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no trabalho desenvolvido e objetivando auxiliar futuras pesquisas na área de gestão de recursos hídricos, seguem algumas sugestões de trabalho:

- Desenvolver simulações em regiões com características hidrológicas diferentes da considerada no presente estudo, buscando identificar se os resultados aqui obtidos quanto aos critérios de outorga podem, ou não, ser estendidos para outras regiões climáticas;
- Considerar aspectos econômicos na definição dos riscos de não-atendimento relacionados às vazões outorgadas. Como visto, quanto maior o risco assumido, maior a área irrigada. Assim, avaliar do ponto de vista econômico-financeiro, qual seria o risco máximo admissível em função das características locais como clima, solo, culturas, métodos de irrigação e valor agregado;
- Avaliar o intervalo de confiança das vazões regularizadas a partir da utilização de modelos chuva-vazão. A deficiência crônica de dados fluviométricos obriga a utilização de séries sintéticas obtidas, geralmente, a partir de um modelo chuva-vazão. A determinação dos parâmetros do modelo com maior acuidade é essencial para uma boa estimativa do comportamento do reservatório e de sua capacidade de regularização. Assim, a análise de sensibilidade dos parâmetros com relação à vazão regularizada permitiria uma maior segurança ao gestor quando da operação do reservatório.

10. BIBLIOGRAFIA

AZAMBUJA, C. **Disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba – Utilização do modelo MODSIMP-32**. Dissertação de mestrado – EESC/USP, SP, 2000.

AZEVEDO, J. R. G. **Geração de Séries Sintéticas dos Parâmetros Climatológicos Influentes no Cálculo da Demanda D'água Derivada para Irrigação**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 1., Recife, 1992. Anais. Recife, Ed. Universitária da UFPE/GRH-UFPE/ABRH, Vol. 1, p.323-330. 1992.

AZEVEDO, L. G. T., Gates, T. K., FONTANE, D. G., LABADIE, J. W., PORTO, R. L. **Integration of water quantify and quality in strategic river basin planning. Water Resources Planning and Management**, vol. 126, n. 2 March/April, p. 85-97. 1997

AZEVEDO, L. G. T. e PORTO, R. L. L. **MODSIM: Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas** - manual do usuário e estudos de casos. 1997.

AZEVEDO, L.G.T., Porto, R.L.L. e ZAHED Filho, K. **Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo**. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 1997.

BARTH, F. T., POMPEU, C. T., FILL, H. D., TUCCI , C. E. M., KELMAN, J., BRAGA JR., B. P. F., **Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos**, Nobel/ABRH, São Paulo. 1987.

BERNARDO, J. M. **Definição de caudais ecológicos em cursos de água de regime mediterrâneo?Algumas reflexões de um biólogo**. In: 3º Congresso da Água, 7º SILUBESA, Lisboa, Portugal. Anais. p.545-550. Portugal, 1996.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5.ed. Imprensa Universitária/UFV, Viçosa, 1989.

BRAGA, Benedito; REBOUÇAS, Aldo da C. **Águas Doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo:Escrituras, 2002.

BRAGA, A. C. F. M et Al. **Determinação do Padrão de Racionamento de Água em Reservatórios**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

BRASIL. **Constituição Federal, Coletânea de Legislação de Direito Ambiental** / Organizadora Odete Medauar; obra coletiva de autoria da Editora Revista dos Tribunais – 4. ed. Rev., atual. E ampl. – São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2005.

CAMPOS, J. N. B. **Dimensionamento de reservatórios: o Método do Diagrama Triangular de Regularização**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora, 2005.

CAMPOS. N, STUDART. T, **Gestão de Águas: princípios e práticas**, ABRH, Porto Alegre, 2001.

CARDOSO, S. L. M. e MONTEIRO, R. A. **Gestão de Águas Doces / org.** Carlos José Saldanha Machado, Rio de Janeiro, Interciência, 2004.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba e Jundiaí**. Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

CARVALHO, N. L. **Estudo de Viabilidade para Transposição de Águas do Rio Preto (Bahia) para o Rio Gurguéia**. Teresina, SEPLAN-PI, 1995.

CNRH - **Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 16** – Diretrizes Gerais para a Outorga. Brasília. 2001.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Projetos de Irrigação no Vale do São Francisco**. CODEVASF. Brasília, 2002.

COSTA, F. J. L. da. **Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial** – 1ª edição – Brasília – Banco Mundial, 2003.

CUNHA, P.; POZZEBON, E. J.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA; L. M. C. **Procedimentos para pedidos de outorga de direito de uso da água para irrigação**. In: HAMADA, E. (Ed.). *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, cap. IV, 2003.

FERRAZ, A.R.G.; BRAGA Jr., B.P.F. **Modelo decisório para a Outorga de direito ao uso da água no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 3, jan/mar 1998, p. 5.

FILL, H. D. **Informações Hidrológicas**. In: BARTH, F. T. et al. *Modelos para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. São Paulo, NOBEL/ABRH, p.95-210. 1987.

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, Fortaleza, 1990.

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. 3 ed. Campina Grande: UFPB, 1999.

HENKES, S. L. **Gestão dos Recursos Hídricos: Acertos e Erros na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí/SC- Brasil**. Dissertação de Mestrado, 2002.

HIEZ, G. et al. **Aplicação do Método do Vetor Regional a Análise da Pluviometria Anual da Bacia Amazônica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., Anais. Rio de Janeiro, ABRH/APRH, 1995. Vol. 1, p.367-377. Rio de Janeiro, 1991.

KELMAN, J. **Modelos Estocásticos no Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. In: BARTH, F. T. et al. Modelos para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo, NOBEL/ABRH, 1987.

LABADIE, J. W. **Reservoir System Optimization Models**. In: Decision Support Systems Applied to Water Resources Engineering, São Paulo, 1994.

LABSID. **Sistema de Suporte a Decisões Aplicado à Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos**. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2004.

LANNA, A. E. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Brasília 1995.

LIMA, G.; PEIXOTO, L.S. & MAUAD, F.F. **A Aplicação do Modelo de Simulação MIKE BASIN 2000 no Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos**, In: 22^o Iberian Latin-American Congress on Computational Methods In Engineering, Campinas, SP, 2001.

MUÑOZ, R. H. (Org). **Interfaces da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas**. MMA/SRH. 2000.

PEREIRA, J. S. e LANNA, A. E. L. **Análise de Critério de Outorga nos Direitos de Uso da Água**. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (Anais). Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Salvador, 1996.

POMPEU, C. T. **Regime Jurídico da Política das Águas Públicas**. São Paulo: CETESB, 1976.

PORTO, R. L. **Estudos de Operação do Reservatório de Ponto Novo no Rio Itapicuru**, Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia. 1999.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativa para a Outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso**. Porto Alegre. Tese de Doutorado, 2000.

SAMANI, Z. A.; HARGREAVES, G. H. **A crop water evaluation manual for Brazil**. Logan, International Irrigation Center, 1985.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Gestão das Águas: 6 anos de percurso**. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1997.

SEMAR. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, **Lei de recursos hídricos do Estado do Piauí nº 5.165**, Piauí, 2000.

SEMAR. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí. **Estudo para a Elaboração de Normas de Operação e Manutenção da Barragem Petrônio Portela e Respectivo Reservatório**. Relatório Final – Tomo III. Teresina, 2006.

SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; ANDRADE FILHO, L. S. ; SILVA, T. C. ; SILVA, Y. A. ; RODRIGUES, M. A. . **Sistema de informações geográfica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do Rio do Peixe**. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 1996. v. 1. p. 265-271, Salvador, 1996.

SILVA, L. M. C & MONTEIRO, R. A. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: Uma das Possíveis Abordagens**. In: MACHADO, C. J. S. (Org). **Gestão de Águas Doces**, 135-178, Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

SUDENE. PLIRHINE, **Plano Integrado de Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil**. Recife, 1980.

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.

VIEIRA, V. P. B. **Desenvolvimento Sustentável e Gestão de Recursos Hídricos no Nordeste Semi-Árido**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2, Fortaleza, 1994. Anais. Fortaleza, ABRH, 1995.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)