

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

MANIFESTAÇÃO DE INTERESSE 20150002/CEL 04/SRH/CE  
SOLICITAÇÃO DE PROPOSTAS (SDP) Nº 01  
PROCESSO – VIPROC Nº 0777305/2016

CONTRATO Nº 02/PFORR/SRH/CE/2016



**EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DOS  
INSTRUMENTOS DE GESTÃO COM FOCO NA OUTORGA,  
COBRANÇA E FISCALIZAÇÃO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS NO CEARÁ**

**RELATÓRIO 11  
SISTEMA DE COBRANÇA EM  
FUNÇÃO DA GARANTIA DE USO**



OUTUBRO/2017



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**CONTRATO N° 02/PFORR/SRH/CE/2016**

**EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DOS  
INSTRUMENTOS DE GESTÃO COM FOCO NA OUTORGA, COBRANÇA E  
FISCALIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO CEARÁ**

**FASE II - CONCEPÇÃO DA ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO DOS  
INSTRUMENTOS DE GESTÃO: OUTORGA,  
COBRANÇA E FISCALIZAÇÃO**

**RELATÓRIO 11 – SISTEMA DE COBRANÇA EM  
FUNÇÃO DA GARANTIA DE USO**

**OUTUBRO/2017**



## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste no **Relatório 11 – Sistema de Cobrança em Função da Garantia de Usos da Fase II - Concepção da Estratégia de Integração dos Instrumentos de Gestão: Outorga, Cobrança e Fiscalização**, relativo aos Estudos de Análise e Integração dos Instrumentos de Gestão com Foco na Outorga, Cobrança e Fiscalização, consoante a Solicitação de Propostas (SDP) N° 01 que resultou no Contrato 02/PFORR/SRH/CE/2016 firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a IBI Engenharia Consultiva S/S.

Os produtos a serem apresentados em forma de relatórios técnicos das atividades desenvolvidas são os seguintes:

- Plano de Trabalho
- Fase I - Atualização da matriz tarifária
  - Relatório 01 - Revisão dos custos fixos e variáveis dos sistemas de recursos hídricos
  - Relatório 02 - Revisão da capacidade de pagamento
  - Relatório 03 - Revisão do subsidio cruzado
  - Relatório 04 - Consolidação da Fase I – Atualização da matriz tarifária
- Fase II - Concepção da estratégia de integração dos instrumentos de gestão: Outorga, Cobrança e Fiscalização

Etapa 1 - Revisão da fórmula de cálculo da cobrança

- Relatório 05 - Adoção de bandeiras tarifárias
- Relatório 06 - Qualidade da água
- Relatório 07 - Eficiência do uso da água
- Relatório 08 - Disponibilidade efetiva
- Relatório 09 - Volume outorgado
- Relatório 10 - Consolidação da Etapa 1 - Revisão da fórmula de cálculo da cobrança

Etapa 2 - Estudos de viabilidade: cobrança

- Relatório 11 - Sistema de cobrança em função da garantia de uso
- Relatório 12 - Seguro para atividades agrícolas
- Relatório 13 - Mecanismos de compensação financeira
- Relatório 14 - Fundo de reserva para eventos extremos
- Relatório 15 - Proposição de novas categorias tarifárias
- Relatório 16 - Consolidação da Etapa 2 - Estudos de viabilidade: cobrança

Etapa 3 – Estudos de viabilidade: outorga

- Relatório 17 - Experiências internacionais com outorga e alocação de água
- Relatório 18 - Análise do fluxo processual de outorga de água

- Relatório 19 - Análise do fluxo da alocação negociada da água
- Relatório 20 - Outorga coletiva de uso da água
- Relatório 21 - Revisão do manual de outorga
- Relatório 22 - Consolidação da Etapa 3 - Estudos de viabilidade: outorga
- Relatório 23 - Etapa 4 - Estudos de viabilidade: fiscalização
- Fase III - Descrição da articulação necessária para adaptação das alterações propostas
  - Relatório 24 - Consolidação da descrição da articulação necessária para adaptação das alterações propostas



## ÍNDICE

## ÍNDICE

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 - ALOCAÇÃO DE ÁGUA .....</b>	<b>11</b>
2.1 - MECANISMOS DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA.....	11
2.2 - OBJETIVOS GLOBAIS DA ALOCAÇÃO.....	13
<b>2.2.1 - Eficiência Econômica .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 - Equidade.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 - Sustentabilidade .....</b>	<b>16</b>
<b>3 - MODELO DE ALOCAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ.....</b>	<b>20</b>
3.1 - OUTORGA DE USO DA ÁGUA .....	20
3.2 - ALOCAÇÃO NEGOCIADA.....	21
<b>4 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA ATUAL.....</b>	<b>24</b>
<b>5 - PROPOSTA .....</b>	<b>27</b>
5.1 - ESTRATÉGIA GERAL .....	27
5.2 - METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO.....	27
<b>5.2.1 - Designe do Sistema.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2.2 - Alocação de água .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.3 - Ajuste nos demais instrumentos de gestão.....</b>	<b>31</b>
<b>6 - VANTAGENS DA METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>7 - AJUSTES NA LEI .....</b>	<b>37</b>
<b>8 - PROPOSTA E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>42</b>
8.1 - DEFINIÇÃO DE REGRA DE OPERAÇÃO COM BASE NO ZONEAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	42
<b>8.1.1 - Definição dos níveis metas e regra de operação.....</b>	<b>42</b>
<b>8.1.2 - Avaliação do impacto da regra .....</b>	<b>50</b>
<b>9 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

## 1 - INTRODUÇÃO

Em ambiente de múltiplos usos, o bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e das disponibilidades hídricas é fundamental para uma boa gestão. Entretanto, as incertezas hidrológicas, as variações das demandas e o grande número de variáveis representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, conferem elevado nível de complexidade à análise dos sistemas de recursos hídricos (CARVALHO, 2008).

A tomada de decisão é um processo não sistemático, uma vez que tipicamente se baseia em experiência pessoal sem o uso de modelos explícitos (RUS et al., 2002). Desta forma, a alocação de água passa a ser um grande desafio para os gestores.

No estado do Ceará, este processo se configura sob duas formas, são elas: a alocação de curto prazo e a alocação de longo prazo, realizada por meio da outorga de direito de uso.

A outorga de direito de uso não é um instrumento de fácil implantação e administração. Sua complexidade advém, de um lado, da própria natureza dos recursos hídricos e do ambiente de incerteza na qual ela está inserida (Azevedo, 2003). Nesse contexto, o uso de alternativas que permitam ao órgão gestor uma maior flexibilidade na análise da alocação de água e dos impactos de um eventual racionamento ou déficit faz-se necessário.

O modelo cearense também possui instrumento de incentivo econômico, a cobrança. Contudo, a alocação negociada, a outorga de uso e a cobrança não estão potencialmente articulados.

Desta forma, este relatório descreve sobre uma alternativa de ajuste no processo de alocação de água denotada de sistema de cobrança em função da garantia de uso. Na descrição foi detalhada a metodologia de implementação do novo sistema abordando a delimitação da área irrigada mínima por unidade usuária para a agricultura de subsistência que deverá ter a garantia de uso preservada durante períodos de escassez, além de apresentar quais as implicações e necessidades de adaptação nos outros instrumentos de gestão, sobretudo na outorga de uso da água.



Foram expostas as vantagens da adoção da nova metodologia em comparação com o modelo atual e apresentados cenários de aplicação. Além disso, foram descritos os ajustes necessários ao arcabouço legal para implantação da proposta e uma minuta do texto para revisão legal.

## **2 - ALOCAÇÃO DE ÁGUA**

## 2 - ALOCAÇÃO DE ÁGUA

A alocação de água configura-se como uma tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos e se refere às regras e aos procedimentos por meio dos quais a distribuição da água é decidida para uso individual ou coletivo, em relação à sua disponibilidade (ROA-GARCÍA, 2014). É um processo que, em muitas vezes, tende a ser marcado por conflitos em virtude da escassez do próprio recurso (em termos de quantidade, qualidade, tempo de disponibilidade ou confiabilidade), que gera, muitas vezes, o desequilíbrio entre a oferta e a demanda.

Ela pode ocorrer de quatro formas: i) alocação entre usos ou intersetorial; ii) entre usuários ou intrasetorial; iii) intertemporal que estabelece a relação entre a alocação de curto prazo (enquanto a oferta é fixa) com o futuro próximo (intersazonal ou interanual) e deste com o futuro mais longínquo; iv) a alocação inter-regional ou interespaçial (SOUZA FILHO, 2005).

### 2.1 - MECANISMOS DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA

Basicamente, a alocação de água pode ser realizada por meio de quatro mecanismos: i) mecanismo administrativo; ii) preço baseado no custo marginal; iii) mercado da água e iv) conferência de consenso (DINNAR, 1997).

No mecanismo administrativo, o Poder Público é o responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos, definindo os volumes a serem utilizados, assim como sua distribuição entre os usuários do sistema. Esse é o mecanismo mais praticado ao longo dos anos em diversos países devido às características especiais da água que levam a falhas de mercado (WORLD BANK, 1993). Tem como fundamento o mecanismo de comando-e-controle que tem, como base, a distribuição de cotas do bem para os usuários, estabelecendo um sistema de direitos de uso.

No Brasil, a outorga de uso da água é o mecanismo administrativo que garante o direito de uso da água, por um prazo determinado, nas condições expressas pela Política Nacional dos Recursos Hídricos. Conforme o Artigo 11 da Lei 9.433 de 1997, “o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de

acesso à água”. Desse modo, a outorga é uma autorização de uso pelo qual o Poder Público atribui a utilização exclusiva de um bem de seu domínio a um particular, para que o explore segundo sua destinação específica (AQUINO *et al.*, 2013).

Conforme Dinnar (1997), o mecanismo do preço baseado no custo marginal da última unidade de água suprida pressupõe que o preço e o custo marginal sejam iguais. Com isso, a alocação é economicamente eficiente evitando a tendência de subvalorização dos recursos. Considerando que o custo marginal variará com o tempo de avaliação e com a demanda, sua aplicação torna-se difícil.

Os mercados de água fazem parte de uma mudança de paradigma das políticas de água de muitos locais no Chile e nos Estados Unidos. A sua implementação tem sido promovida por importantes organizações internacionais como a Organizações das Nações Unidas, o Banco Mundial e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (LE QUESNE *et al.*, 2007).

A alocação via mercado tem por objetivo realocar água de usuários com menor capacidade de pagamento para usuários com maior capacidade de pagamento por curtos períodos, em anos de escassez, ou por longo prazo. Algumas vezes, o mercado requer intervenção ou controle estatal a fim de criar condições satisfatórias à sua ocorrência (DINNAR, 1997).

De acordo com Le Quesne *et al.* (2007), há uma grande variedade de mercados de água. Dentre eles, têm-se os mercados de água abertos e os mercados locais:

- Mercados de água abertos – Nele, os direitos de água são negociados em um mercado livre, em geral, sem interferência ou controle administrativo; Eles se aproximam da venda de outros produtos e serviços na economia de mercado como, por exemplo, a venda de terras;
- Mercados locais – São utilizados para negociar a água temporariamente, sendo importantes para permitir a flexibilidade nos sistemas de recursos hídricos. Esse é o tipo mais comum de mercado de água.

A conferência de consensos consiste na negociação política do uso da água entre a sociedade civil, usuários e poder público. Esse mecanismo incorpora dois conceitos base: i) a arbitragem de conflito como forma de integração social e ii) a ampliação da

democracia no interior da sociedade, como forma de gerenciamento de conflitos. Esses dois conceitos são a base sociológica que legitima esse mecanismo de alocação de recursos (DINNAR, 1997).

Na literatura, existem outras categorizações de mecanismos de alocação. Por exemplo, Sales (1999) enuncia três tipos racionais de modelos de alocação de água: centralismo administrativo, mercado de água e alocação via negociação. O fundamental é que os tomadores de decisão, além de terem acesso aos diversos mecanismos existentes, possam adaptá-los à realidade de cada local e aos objetivos da política de recursos hídricos desenvolvida nele.

## 2.2 - OBJETIVOS GLOBAIS DA ALOCAÇÃO

No contexto da economia da alocação de água, um conceito relevante é o de escassez de água, isto é, quando a demanda excede a oferta hídrica. Isto porque quando a água é um recurso escasso, ela deve ser gerida e distribuída de forma eficiente, no sentido econômico. Para Moraes *et al.* (2009), além de uma alocação de água eficiente, é necessário distribuir o bem-estar entre todos os indivíduos e assegurar a sustentabilidade do recurso.

Dessa forma, a alocação de água deve ser realizada para cumprir alguns objetivos globais que podem ou não estar explícitos na legislação. Esses objetivos, que giram em torno dos pilares do desenvolvimento sustentável (LAYRARGUES, 1997), são: eficiência econômica, equidade e sustentabilidade.

### 2.2.1 - Eficiência Econômica

A eficiência econômica pode ser dividida em dois componentes: eficiência produtiva e eficiência alocativa. O primeiro componente envolve a organização da produção para obter seu valor máximo com todos os recursos disponíveis (HALL; LIEBERMAN, 2003). A eficiência alocativa, foco desta seção, explora todas as possibilidades de ganhos entre agentes sociais e econômicos por intermédio de trocas de bens e serviços.

Uma alocação economicamente eficiente da água é desejável na medida em que maximiza o bem-estar que a sociedade obtém dos recursos hídricos disponíveis. Bem-estar, nesse contexto, refere-se ao bem-estar econômico da sociedade e é determinado pelo bem-estar agregado dos usuários de água (FAO, 2004).

Um critério utilizado na economia para julgar se a alocação do recurso é ou não eficiente é o Ótimo de Pareto. Ele foi originalmente concebido como um critério de avaliação do bem-estar social. A aplicação do seu conceito inaugurou uma nova linha de pensamento e desencadeou importantes mudanças no estudo da economia. Ele enuncia que o bem-estar máximo de uma sociedade é alcançado quando não existir outro estado, tal que seja possível aumentar o bem-estar de um indivíduo sem diminuir o bem-estar de outro (GARCIA, 1996). Ou seja, a alocação eficiente será aquela quando não existir mais trocas que possam aumentar o ganho de utilidade de um usuário sem diminuir a utilidade do outro (PINDYCK e RUBINFELD, 2005).

Ao longo dos anos, o conceito de Ótimo de Pareto foi ampliado, mudando sua perspectiva de análise e passou a ser denominado de “Pareto Potencial” ou critério de Kaldor-Hicks. Esse critério diz que uma mudança na alocação é considerada desejável se aqueles indivíduos que ganham com a mudança puderem compensar aqueles que perdem e ainda ser melhor do que eram anteriormente (FAO, 2004).

O critério de Kaldor-Hicks, diferentemente do “ótimo de Pareto”, possibilita a existência de prejudicados, contudo é imprescindível que os ganhos sejam maiores que as perdas e aqueles “perdedores” tenham a possibilidade de serem compensados suficientemente pelas perdas, mesmo que efetivamente não o sejam (POMPEU, 2013). Assim, esse critério aumenta a utilidade prática do conceito de eficiência de Pareto, viabilizando a sua aplicação ao caso concreto com o uso do princípio da compensação.

Outro critério de eficiência econômica é a Melhoria de Marshall. Essa melhoria ocorre quando o valor líquido do benefício da mudança é positivo, isto é, o valor ganho com a troca é maior que o valor perdido na mesma.

Para Johanson *et al.* (2002), a alocação eficiente de recursos hídricos é a que maximiza o benefício social líquido usando as tecnologias e o suprimento de água existentes. Em curto prazo, a alocação eficiente maximiza benefícios líquidos sobre custos variáveis e resulta na equalização do benefício marginal para o uso dos recursos entre os setores de forma a maximizar o bem-estar social,

Porém, apesar de a eficiência econômica ser um fator importante, há outros critérios que os tomadores de decisão também precisam considerar tais como, a distribuição de custos e benefícios em toda a sociedade (equidade) e a sustentabilidade.

### **2.2.2 - Equidade**

A equidade trata como a riqueza é distribuída na sociedade ou, mais especificamente, como se dá uma alocação justa entre os diferenciados setores usuários.

Na alocação de recursos escassos, duas teorias da justiça oferecem perspectivas úteis, são elas: a justiça distributiva e a justiça processual. A primeira tem por objetivo responder à questão de como a sociedade ou um grupo poderia alocar recursos escassos ou produtos entre indivíduos com necessidades ou reivindicações diferentes (SOUZA FILHO, 2005); a justiça processual aborda as regras de tomada de decisão utilizadas para determinar os resultados da distribuição (JOST; KAY, 2010).

A justiça distributiva para recursos prioritários, como a água, mostra que as sociedades priorizam alguns critérios de consideração da justiça, tais como a maximização da utilidade e a distribuição igualitária. Estes critérios foram desenvolvidos na Teoria da Justiça Utilitarista de Jeremy Bentham (1789) e na Teoria da Justiça de John Rawls (1971 e 2002).

Jeremy Bentham construiu o critério da Utilidade a partir da constatação de que as ações humanas são determinadas positivamente pela busca do prazer e negativamente pela fuga da dor. Além de considerar que o interesse comum é a soma dos anseios dos indivíduos que compõem o agrupamento social (ROSA, 2010).

Com isso, ele define que as escolhas sociais são construídas a partir de utilidades (felicidades e tristezas) individuais numa escala de utilidades sociais; construção realizada através da agregação dessas utilidades individuais. Esta agregação, por sua vez, pressupõe a comparação das utilidades (necessidades, gostos ou vontades) entre os indivíduos (SOUZA FILHO, 2005). Assim, a distribuição eticamente correta de recursos escassos para os utilitaristas é aquela que eleva ao máximo o grau de satisfação dos beneficiários.

Entretanto, com o surgimento da economia neoclássica, abandona-se a tentativa de medir diretamente o bem-estar social por meio da felicidade ou utilidade e adota-se o

conceito de preferência. Nesse contexto, o critério de equidade é formulado como o critério de Kaldor-Hicks ou potencial de Pareto (descrito no item anterior). Com base nesse critério, para alcançar a equidade, deve-se adotar uma política que aumente o bem-estar dos beneficiados em um montante superior à perda dos prejudicados (MARTINEZ, 2009). Em um sistema econômico, o critério de eficiência de Marshall ou Kaldor-Hicks, pode ser igualmente definido com a maximização do benefício líquido.

John Rawls, em 1971, reuniu uma série de conceitos de várias origens, inclusive do utilitarismo, e lançou a Teoria da Justiça com Equidade. Segundo Oliveira e Alves (2010), essa teoria não propõe a eliminação das diferenças em uma sociedade injustamente desigual, mas apresenta-se como uma referência na busca de uma ordem social mais justa, ou seja, capaz de articular as diferenças, amenizar as desigualdades e priorizar os anseios dos menos favorecidos. Para Souza Filho (2005), a justiça de Rawls estabelece que possa haver desigualdades entre os agentes desde que a desigualdade na alocação sirva para melhorar as condições do setor mais desfavorecido pela mesma.

O autor supracitado postula que a justiça com equidade provém de um acordo celebrado por aqueles comprometidos com ela. Esse acordo deve ser válido do ponto de vista da justiça política. Essas condições devem situar, de modo equitativo, as pessoas e não deve permitir que alguns tenham posição de negociação mais vantajosa que a de outros.

Pode-se dizer que a teoria de Rawls concentra-se na busca de princípios de justiça aplicáveis aos membros de uma sociedade e suas principais instituições. Assim, por mais eficientes e organizadas que sejam as instituições sociais e suas normas, se estas não promovem ações justas nos relacionamentos entre esses membros, tais instituições e normas devem ser reformuladas ou, até mesmo, substituídas por outras que, de forma mais eficiente, busquem promover a justiça.

### **2.2.3 - Sustentabilidade**

De acordo com Castello (2007), a noção mais remota de sustentabilidade é encontrada no contexto da exploração pesqueira. Nesse contexto, a sustentabilidade está associada ao objetivo maior da administração pesqueira, que é obter o rendimento

máximo (ou captura máxima) sustentável. Esse rendimento consiste na quantidade máxima de capturas que se pode retirar de uma unidade populacional de peixes ao longo dos anos sem colocar em risco a sua capacidade de regeneração no futuro.

Como adjetivo de desenvolvimento, o conceito de sustentabilidade surgiu em face da percepção de uma crise ambiental global causada pelo incessante padrão de crescimento da produção e do consumo nos países ricos (NASCIMENTO, 2012).

Na dimensão política, três fatos marcaram e difundiram o termo sustentabilidade como adjetivo de desenvolvimento, são eles: a publicação do relatório *The Limits of Growth* pelo Clube de Roma em 1972, a Conferência de Estocolmo na Suécia em 1972 e a publicação do relatório de *Brundtland* pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD em 1987.

Entretanto, as bases para colocar em prática o conceito de desenvolvimento sustentável só foram apresentadas na Agenda 21<sup>1</sup>, documento aprovado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, ocorrida em 1992 no Rio de Janeiro. Essa agenda fez ressurgir, no plano internacional, a necessidade do planejamento estratégico, descentralizado e participativo, em oposição ao modelo de desenvolvimento econômico atual, considerado injusto socialmente e perdulário do ponto de vista ambiental (MORAES, 2008).

Em recursos hídricos, o alcance da sustentabilidade exige que a água seja usada e alocada de forma que os sistemas hídricos se mantenham dentro de sua capacidade de regeneração, a fim de manter os ecossistemas e suas funções (ROA-GÁRCIA, 2014). Para isso, faz-se necessária a adoção de estratégias de conservação de água tendo em vista a garantia de atendimento das necessidades das gerações presentes, sem comprometer as gerações futuras. A conservação da água refere-se a todas as políticas e medidas de gestão ou práticas do usuário que visam a conservar e combater

---

<sup>1</sup> A “Agenda 21” foi elaborada como um plano de ação estratégica para o desenvolvimento sustentável. Apresenta-se como um instrumento que visa a identificar atores, parceiros e metodologias para a obtenção de consensos e os mecanismos institucionais necessários para sua implementação e o seu monitoramento (DAMASCENO, 2009).

a degradação dos recursos hídricos. Assim, ela envolve, de forma integrada, gestão, tecnologia, educação e economia.

A sustentabilidade de um sistema pode ser medida por meio de indicadores os quais devem considerar a premissa segundo a qual cada sistema co-evolui de forma diferente dentro da relação Natureza-Sociedade. Hashimoto *et al.* (1982) propuseram que a sustentabilidade dos sistemas hídricos fosse avaliada em relação ao risco de colapso através de três indicadores: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade.

O primeiro indicador mede a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas. A resiliência irá medir o tempo que um sistema irá se recuperar de uma falha, caso ela venha a ocorrer. Algumas implicações podem advir ao sistema caso ocorram falhas prolongadas com uma recuperação lenta, desejando-se que o sistema retorne a um estado satisfatório o mais rápido. Enquanto que a vulnerabilidade mede a severidade das falhas (déficit de atendimento a uma determinada demanda) a que o sistema está sujeito.

Nesse contexto, em síntese, a sustentabilidade hídrica remete à necessidade de uma governança<sup>2</sup> do recurso e de ações e/ou estratégias de gestão de risco.

---

<sup>2</sup> A governança (Dietz *et al.*, 2003; Folke *et al.*, 2005) refere-se ao contexto político e social, que são parte da gestão dos recursos naturais. Lebel *et al.* (2006) consideram a Participação e Deliberação como atributos relevantes para uma boa governança. A participação facilita a interação entre os agentes e a deliberação permite o intercâmbio de conhecimentos e informações sem a necessidade de atingir a um consenso.

### **3 - MODELO DE ALOCAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ**

### 3 - MODELO DE ALOCAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ

A alocação da água no Estado do Ceará é realizada de duas formas: no longo prazo e no curto prazo (alocação de água sazonal e interanual). O mecanismo para alocação de longo prazo é do tipo comando controle (outorga de uso), enquanto que a alocação de curto prazo de caráter regional é definida pela Macro Alocação Negociada da Água. Os dois mecanismos estão descritos a seguir.

#### 3.1 - OUTORGA DE USO DA ÁGUA

A outorga é o mecanismo administrativo que garante o direito de uso da água, por um prazo determinado, nas condições expressas pela Política Nacional dos Recursos Hídricos. Conforme o Artigo 11 da Lei 9.433 de 1997, “*o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água*”. Deste modo, a outorga é uma concessão de uso, ou seja, um contrato administrativo pelo qual o Poder Público atribui a utilização exclusiva de um bem de seu domínio à particular, para que o explore segundo sua destinação específica (Aquino *et al.*, 2013).

Os procedimentos para emissão das outorgas de uso no Ceará consideram os seguintes critérios: (i) Uso insignificante:  $Q < 2.000$  l/h. (ii) Águas Superficiais: máxima outorgável: 9/10 da vazão de referência ou 1/3 no caso de lagoas; Águas Subterrâneas: máxima outorgável: vazão de referência. A máxima outorgável para Águas Superficiais é Q90 para rios perenizados, canais, lagos e lagoas. Já para as águas subterrâneas, adota-se a vazão de teste ou capacidade de recarga do aquífero (Azevedo, 2003, p. 486).

O volume máximo outorgável (vazão de referência) é definido pela Lei Estadual nº 14.844 de 28 de dezembro de 2010 (Ceará, 2010) e consiste em 90% da vazão com 90% de garantia. Observa-se que o volume alocável de longo prazo é uma função da garantia do suprimento desejado. Maiores garantias estão associadas a volumes menores.

A garantia ótima pode ser diferente para diferentes usos e diferentes usuários, por este motivo a garantia de 90% não é necessariamente o volume alocável que levará a máxima eficiência do sistema hídrico. A lei não especifica se esta garantia é de

frequência de falha anual ou mensal ou é a garantia volumétrica (razão entre volume ofertado e volume demandado).

O processo para a solicitação da outorga perpassa diversas instâncias internas da Secretária de Recursos Hídricos - SRH e da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH. Conceitualmente, apenas usuários que possuem outorga de uso poderão estar submetidos à cobrança de uso da água. A COGERH atualmente utiliza contrato de uso como instrumento adicional à outorga. Este contrato define uma relação bilateral entre o usuário e a agência (COGERH) e não têm sua institucionalização bem definida no arcabouço do sistema jurídico-institucional do sistema, tendo implicações que necessitam ainda ser avaliadas, assim como sua legalidade no atual sistema.

### 3.2 - ALOCAÇÃO NEGOCIADA

A alocação negociada de água apoia-se na participação de diversos usuários, sociedade civil, poder público congregados nos comitês de bacias, bem como na existência das comissões gestoras e em alguns casos das comissões de usuários, com a interveniência do estado através da realização de mobilizações sociais, elaboração de estudos técnicos que definem os cenários das bacias e regiões hidrográficas.

Nos eventos de alocação, negociada o ano é dividido em dois períodos: época de chuva e a certeza da seca. No mês de junho, os estoques de água dos reservatórios já estão definidos e a alocação é realizada para o período seguinte, considerando aporte zero aos reservatórios.

Assim, o processo de negociação é dividido em duas partes: a definição de parâmetros e a reunião de alocação. A primeira é feita numa reunião ordinária, sendo definido os limites máximo e mínimo de vazão a ser liberada tanto nos reservatórios isolados como nos sistemas integrados. Esses parâmetros dão origem aos intervalos das simulações de esvaziamento dos reservatórios. As reuniões de alocação ocorrem em sistemas hídricos formados por um único reservatório. Já nos sistemas integrados, que são os vales perenizados, ocorrem os seminários de planejamento.

Neste processo são elaborados cenários de alocação por técnicos da COGERH e, quando se trata de reservatório federal, o DNOCS participa dessa elaboração, cuja

base de dados é composta pelo cadastro de usuários, dados dos reservatórios e dados oriundos do monitoramento dos estoques e qualidade de água. Os modelos necessários ao processo de negociação e à outorga são modelos de estimativa da demanda, modelos de simulação de reservatórios e modelos de qualidade da água.

Os cenários são apresentados aos membros dos comitês de bacia que estabelecem um acordo relativo ao uso da água no vale perenizado durante o seminário de alocação, sendo, portanto, definida a vazão final para a operação dos reservatórios. Já para os outros corpos hídricos que não compõem o vale perenizado são apresentados cenários contendo faixas de vazões a serem liberadas já aprovadas pelos comitês de bacias para que as comissões gestoras/comissões de usuários possam, dentre esses parâmetros, definir as vazões finais. Caso haja discordância por parte das comissões de usuários/comissões gestoras em relação às faixas de vazão aprovadas e aqueles desejem operar acima da faixa, volta-se para os comitês para que sejam analisados os argumentos para a mudança do nível de vazão. Se houver conflito nessas instâncias, prevalece a decisão do comitê. Mas, se houver conflito entre este e a instância técnica, o conselho estadual de recursos hídricos tem a prerrogativa de solucionar o conflito.

Ao final desses encontros, as discussões e deliberações são registradas em ata, elaboradas pela COGERH, que servem como documento oficial para a operação dos reservatórios. Os acordos relativos às vazões aprovadas passam a ser acompanhados por comissões de operações, que tem por atribuição avaliar e monitorar a liberação da vazão acordada, podendo fazer ajustes quando necessário, desde que se considere a priorização estabelecida em lei.

De modo geral, pode-se afirmar que, a partir de 1997, a COGERH seguiu o exemplo da alocação participativa dos grandes vales para os açudes isolados e depois ampliou para os sistemas hídricos isolados (açudes, canais, adutoras, lagoas), adotando os mesmos princípios metodológicos.

## **4 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA ATUAL**

#### 4 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA ATUAL

O modelo de gestão utilizado no Ceará tem potencialmente elementos associados a mecanismos de decisão política participativa (alocação negociada e planejamento de recursos hídricos) e discricionária (outorga), incentivos econômicos (cobrança) e aparelho coercitivo. Estes elementos existem potencialmente, mas não estão articulados.

A outorga (mecanismo de alocação de longo prazo) visa assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso. A instituição que possui a atribuição de outorgar o direito de uso é a Secretaria de Recursos Hídricos. O seu pedido passa por três fases de avaliação: técnica, de empreendimento e jurídica. Além disso, o volume máximo outorgado consiste em noventa por cento da vazão com 90% de garantia (Q90).

Atualmente, a regra de operação do cálculo das garantias de longo prazo não é a regra de operação utilizada para o cálculo das disponibilidades hídricas de curto prazo. Isto impõe uma discrepância entre as garantias outorgadas e as garantias efetivas dos sistemas hídricos. Desta forma, avalia-se que os usuários de água não têm direito adquirido mesmo lhes sendo concedido a outorga. Além disso, a lei não especifica se esta garantia é de frequência de falha anual, mensal ou é a garantia volumétrica (razão entre volume ofertado e volume demandado).

Os usuários que possuem direito de uso da água estão submetidos à cobrança de uso da água. O modelo de cobrança utilizado no Ceará foi descrito no Relatório 06 – Qualidade de Água. Ele é o tipo monomial com a tarifa em função do volume de consumo.

O atual sistema cobra um preço médio anual que não se modifica com a disponibilidade hídrica. Desta forma, em períodos de escassez, quando os custos operacionais e de financiamento de infraestrutura são maiores, tem-se uma arrecadação menor.

Outrossim, cobra-se de quem tem outorga de uso, mas a alocação negociada garante acesso a água de acordo com o uso histórico.

O instrumento de outorga é caracterizado por muitos usuários como um entrave burocrático ou uma penalidade, em virtude da percepção da água como um bem livre. Este é um dos entraves da efetivação deste instrumento por parte do Estado e requer uma maior fiscalização das retiradas de água e do cumprimento das regras estabelecidas no acordo entre usuário e instituição de gestão.

Legalmente, a outorga deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado. Porém, a implementação do enquadramento<sup>3</sup> ainda não foi executada. Brites (2010) cita como limitação da aplicação deste instrumento: a falta de conhecimento, de ações de gestão e a dificuldade metodológica.

Assim, ressalta-se a importância de os órgãos outorgantes serem cautelosos no deferimento dos pedidos encaminhados por usuários específicos, para não inviabilizar a qualidade ambiental do corpo de água e a disponibilidade hídrica para os diversos usos.

Avalia-se que o modelo de alocação do estado do Ceará poderia sofrer alguns ajustes com vistas a:

- Incorporar mecanismo que permita alocação de água economicamente eficiente (os usuários de maior valor econômico) e equitativa;
- Permitir a associação da outorga e da cobrança e entre a alocação de longo prazo e curto prazo;
- Incorporação de mecanismo que reduza as perdas sociais e viabilize financeiramente a operação do sistema com vistas a variabilidade climática.

Deste modo, nesse relatório é exposta uma alternativa de ajuste do processo de alocação. Esta alternativa trata da utilização de um sistema de cobrança em função de múltiplas garantias.

---

<sup>3</sup> O enquadramento dos corpos d'água é o instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 1997) que “visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes q qual orem destinadas; e diminuir os custos de combate à poluição”.



## 5 - PROPOSTA

## 5 - PROPOSTA

### 5.1 - ESTRATÉGIA GERAL

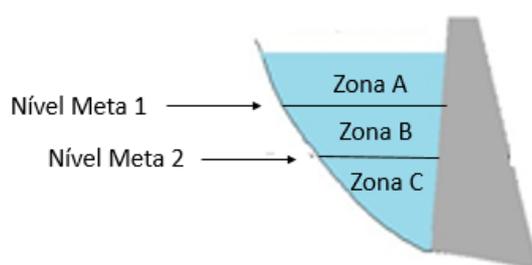
No sistema de cobrança em função da garantia, a outorga teria que ser emitida com diferentes garantias de longo prazo, por exemplo, (G3=85%, G2=90% e G1=95%), sendo essas garantias definidas na Lei Estadual.

As garantias diferenciadas estariam associadas à prioridades em anos secos,  $P3 < P2 < P1$ . Os usuários pagariam preços (Pr) diferentes e crescentes com o acréscimo das prioridades  $Pr3 < Pr2 < Pr1$ . Assim, um volume alocável de longo prazo teria que ser definido para cada bacia e subsistema. Aqui haveria uma associação direta entre direito de uso, definido pela outorga, e a cobrança pelo uso da água. Os usuários revelariam, ao escolherem a prioridade e o preço que desejam, a sua disposição a pagar pela água, sendo esta uma inferência do preço de escassez em períodos secos.

### 5.2 - METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

#### 5.2.1 - Design do Sistema

A implantação do sistema proposto requer a adoção de uma política de operação de reservatórios baseada no zoneamento, no qual a alocação de água já estaria definida para cada uma das zonas. O zoneamento seria realizado com base na construção de níveis metas (**Figura 5.1**).



**Figura 5.1 - Ilustração do zoneamento do reservatório**

Considerando um reservatório com três zonas A, B e C (**Figura 5.1**) e três garantias de uso tem-se a seguinte estrutura:

- Zona C – está associada a maior garantia de uso (G1) consequente ao maior preço e maior prioridade;

- Zona B – o volume disponível é alocado para os usuários que possuem as duas maiores garantias (G1 e G2);
- Zona A - o volume disponível seria alocado para todos os usuários.

Nesta estrutura, as garantias, os preços e as prioridades se relacionam conforme o **Quadro 5.1** considerando a seguinte ordenação:

$$\left\{ \begin{array}{l} G1 > G2 > G3 \\ P1 > P2 > P3 \\ Pr1 > Pr2 > Pr3 \end{array} \right.$$

**Quadro 5.1 - Associação entre as garantias de uso, preço da água e prioridade de uso.**

Volume alocável	Garantias	Preço	Prioridade de uso
R <sub>T1</sub>	G1	Pr1	P1
R <sub>T2</sub>	G2	Pr2	P2
R <sub>T3</sub>	G3	Pr3	P3

A definição dessa estrutura deve ser realizada no Plano Operacional de Seca do hidrossistema. Segundo Souza Filho *et al* (2016), este plano tem como objetivo definir a regra de operação do sistema em situação de diferentes estados de seca (diferentes severidades) e as regras de alocação de ação associadas a estes níveis.

Segundo os mesmos autores, o planejamento operacional de seca contempla, basicamente, seis grandes classes de atividades:

- Análise do quadro jurídico e institucional: (i) a identificação das partes interessadas e instituições avaliando as responsabilidades e interesses; (ii) análise das ferramentas atuais de gestão: sistema de direitos de água, processo de alocação de água, operação do sistema;
- Nível de tolerância de risco e o número de estados de seca;
- Definição dos limiares dos estados de seca: esses limiares podem ser definidos por índices de seca conforme descritos no Relatório de Seguro Agrícola;
- Desenvolvimento de Modelos de Simulação e otimização para análise das ações de seca;

- Tomada de decisão: (i) definição dos gatilhos (níveis metas do reservatório); (ii) definição da restrição de uso (oferta de água) para cada estágio de seca.
- Definir as diferentes alternativas de alocação de água para cada estágio da seca e identificação de mananciais alternativos.

No processo de construção do plano de seca, os comitês de Bacia definiriam as garantias para cada uma das zonas do reservatório, isto é, o risco tolerável. Com isso, seria definido o volume alocável. Este volume estaria associado aos usos atuais e aos usos previstos da bacia propiciando uma associação entre a alocação de longo prazo e o processo de participação pública.

A garantia de uso é conceituada neste modelo em função da frequência de falhas em cada zona do reservatório (Equação 1). A frequência de falhas na zona ( $FF_z$ ) é definida como a frequência do tempo de simulação em que o reservatório permaneceu num nível inferior ao nível observado (Equação 2).

$$G = 1 - FF_z \quad (1)$$

$$FF_z = \frac{\sum f}{n} \quad (2)$$

Onde,

$n$  é o período de tempo da simulação ( $t=1,2,3\dots n$ );

$$f = \begin{cases} 1, & \text{e o nível meta 't + 1' for inferior ao nível no tempo 't'} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A definição dos níveis metas baseia-se na construção de uma curva que pode ser calculada conforme a metodologia dos seguintes passos:

(i) O primeiro nível meta é construído, inicialmente, a partir de uma curva de disponibilidade tomando como ponto inicial um volume  $V_1$  do reservatório no mês de janeiro. Utiliza-se a equação do balanço hídrico com vazão afluente zero, transferência mensal zero e retirada mensal desejada para o cálculo da acumulação dos onze meses subsequentes. Esta curva indica o limite inferior de acumulação do reservatório partindo do ponto inicial  $V_1$ .

(ii) uma segunda curva é construída tomando-se como o volume do décimo segundo mês o mesmo valor  $V_1$ . Utiliza-se a equação do balanço para o cálculo dos onze meses anteriores, novamente desconsiderando as afluições e as transferências dos reservatórios. Essa segunda curva indica o limite superior da curva meta e tem por objetivo reduzir a transição busca entre os estados de secas.

(iii) partindo novamente do ponto  $V_1$ , uma terceira curva é construída utilizando a equação do balanço de massa com o volume afluente igual ao volume correspondente de um determinado quantil da série histórica de vazões. Neste trabalho, o valor da afluência mensal é igual ao da mediana da série histórica de vazões. Assim, construiu-se uma matriz de probabilidade de não excedência, e selecionou-se o ano correspondente a mediana das vazões da série histórica. Tomou-se o valor de vazões afluentes deste ano correspondente. Aplicou-se a equação do balanço hídrico com retirada mensal igual ao da curva 1.

(iv) a definição do nível meta ( $VMeta$ ) se dará pela utilização dos valores correspondentes, mês a mês, pelo máximo entre a curva 1 ( $C_1$ ) e curva 3 ( $C_3$ ), e o mínimo entre esse resultado ( $CR$ ) e a curva 2 ( $C_2$ ).

- $CR = \text{máximo}(C_1, C_3)$
- $VMeta = \text{mínimo}(CR, C_2)$

(v) na sequência, são construídos os outros níveis metas inferiores, repetindo-se o procedimento adotado em (i) a (iv), e modificando os valores do ponto inicial.

Podem ser utilizados modelos de otimização para encontrar os níveis metas ótimos do reservatório conforme a garantia de uso.

### **5.2.2 - Alocação de água**

Cada zona do reservatório teria um volume alocável predefinido. Esse seria o valor da retirada total ( $R_T$ ) a ser rateado entre os diversos usos. Parte dessa retirada seria ofertada pela Secretária de Recursos Hídricos por meio de chamadas públicas.

O abastecimento humano se manteria como uso prioritário, desta forma, haveria uma chamada especial apenas para esse setor.

No intuito de obter uma alocação justa, define-se a garantia máxima para usuários que possuam área produtiva agrícola máxima de 3ha por unidade de usuário. Esse valor caracterizará o pequeno agricultor que não está inserido em um perímetro irrigado.

O pequeno agricultor e o setor de abastecimento humano não participarão do sistema de cobrança em função da prioridade, tendo sua demanda atendida em todas as zonas do reservatório.

Assim, a retirada total ( $R_T$ ) para cada zona é dada por:

$$R_T = Q_{AH} + Q_{G100} + Q_L$$

Em que,

$Q_{AH}$  – Vazão alocada para o abastecimento humano;

$Q_{G100}$  – Vazão associada à garantia máxima usada para a manutenção do pequeno agricultor;

$Q_L$  – Vazão alocável entre os usuários do sistema exceto o abastecimento humano e os usuários que possuem garantia máxima. Este é o volume a ser ofertado nas chamadas públicas com diferentes níveis de preço e prioridade e será denotado como vazão líquida.

Neste processo de alocação saber-se-ia, automaticamente, em função do sistema de prioridades definidos na outorga, quais usuários teriam direito a água e quais não teriam. Esta lista seria publicada pela Secretaria de Recursos Hídricos no Diário Oficial do Estado sendo que os usuários que tiverem suas garantias nominais efetivamente reduzidas, receberiam uma compensação financeira.

### **5.2.3 - Ajuste nos demais instrumentos de gestão**

Planos operacionais de seca dos hidrossistemas devem ser estabelecidos na Lei Estadual de Recursos Hídricos para a efetivação do modelo descrito. Esses planos devem ter conteúdos similares, diferenciando-se apenas em relação às características específicas de cada uma dessas regiões. A Disponibilidade Hídrica de longo prazo (volume alocável) deverá ser definida nesse plano e aprovada pelo Comitê de Bacia.

O valor total cobrado deve custear os serviços de OAM, e o excedente de arrecadação obtido em anos úmidos seria destinado a um fundo de regularização, que pode ser usado para custear a compensação financeira e o aumento dos custos operacionais em período de escassez.

Esse valor passará a variar, também, em função da disponibilidade hídrica. Considerando a **Figura 5.1**, o modelo padrão, isto é, o modelo aplicado na zona em que a água é alocada para todos os usuários (Zona A) será:

$$\text{Cobrança} = (T(u) + T_L(u)) \times K_u \times K_{FDE}$$

Onde:

$T(u)$  - tarifa do usuário  $u$  em função do volume consumido;

$T_L(u)$  - Corresponde a tarifa de água imposta sobre a qualidade de água. Esta possui duas parcelas: a primeira referente ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos e a segunda, referente à cobrança associada à qualidade da água recebida pelos diferentes setores usuários;

$K_u$  é o coeficiente que adapta o mecanismo de cobrança à eficiência de uso;

$K_{FDE}$  é o coeficiente do fator de disponibilidade efetiva.

Conforme a escassez torna-se mais severa, tem-se a inserção de uma tarifa equivalente a demanda da outorga:

$$\text{Cobrança} = (T(u) + T_L(u) + T_G(u)) \times K_u \times K_{FDE}$$

Em que  $T_G(u)$  é a tarifa referente a demanda outorgada das Zonas B e C. Maiores garantias estão associadas a maiores preços, desse modo, a tarifa associada à Zona C é maior que a tarifa da Zona B.

$T_G(u)$  é do tipo preço público e todos os usuários que tiverem disposição a pagar realizam seus pedidos de outorga ao poder público que ratearia a vazão líquida entre estes usuários. Esse valor deve ser definido pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos e regulamentado por meio de decreto.

O pagamento da cobrança deverá ser um dos critérios para a manutenção da outorga de uso. Esta passa a ser emitida com múltiplas garantias.



Nenhum usuário pode captar água sem outorga. Para isso, faz-se necessário a operacionalização de um sistema de coerção que garanta a efetividade do direito de uso por intermédio do poder de polícia do Estado para a identificação do infrator (fiscalização) e punição do mesmo (regras claras de multa e pagamento de danos).

## **6 - VANTAGENS DA METODOLOGIA**

## 6 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA METODOLOGIA

Observam-se algumas vantagens da metodologia:

- Propicia a associação direta entre o direito de uso definido pela outorga e a cobrança pelo uso da água, bem como entre a alocação de longo e curto prazo;
- Define uma regra de alocação para anos secos, reduzindo os conflitos de uso que se acirram nesses anos;
- Garante eficiência econômica por meio do sistema de preços diferenciados;
- Mantém a legitimidade e sustentabilidade política pela participação dos usuários na definição das garantias e na Junta de Vigilância;
- Assegura equidade por meio da definição da garantia máxima para a agricultura de subsistência e com a compensação financeira;
- Tem sustentabilidade financeira por meio da manutenção do excedente de arrecadação de anos úmidos no fundo de regularização;
- Tem uma boa capacidade de adaptação ao associar mecanismos de construção de consenso e incentivos financeiros no processo de tomada de decisão;
- Proporciona previsibilidade dos resultados de forma a permitir maior robustez (estabilidade/capacidade de adaptação).

Pode-se dizer que o sistema levaria a desestruturação do atual modelo alocação negociada e que o sistema de gestão perderia legitimidade social.



## 7 - AJUSTES NA LEI

## 7 - AJUSTES NA LEI

Para a implantação do sistema de cobrança em função de múltiplas garantias sugere-se os seguintes ajustes na legislação:

**Art. 3º** A Política Estadual de Recursos Hídricos atenderá aos seguintes princípios:

**I** – (...)

**II** – (...)

**III** – (...)

**IV** – (...)

**V** – (...)

**VI** – (...)

**VII** – (...)

**VIII** - o uso prioritário dos recursos hídricos, em situações de escassez, é estabelecido conforme a garantia de uso.

**IX** – (...);

**X** – (...).

**Art. 6º** (...)

**§ 1º** A outorga de direito de uso de recursos hídricos tem por objetivo efetuar o controle do uso e assegurar o direito de acesso à água, condicionada às garantias de uso estabelecidas nos Planos de Bacias Hidrográficas.

**§** A outorga de direito de uso de recursos hídricos será expedida com maior garantia para o consumo humano.

**§ 2º** (...)

**§ 3º** (...)

**Art. 11.** A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensa pela Secretaria dos Recursos Hídricos, de forma total ou parcial, em definitivo ou por prazo

determinado, sem qualquer direito de indenização ao usuário, nas seguintes circunstâncias:

I – (...)

II – (...)

~~III - necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas;~~

IV – (...)

V – (...)

VI – (...)

VII – (...)

VIII – (...)

**Art. 16.** Será cobrado o uso dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, segundo as peculiaridades das Bacias Hidrográficas, na forma como vier a ser estabelecido pelo CONERH, por meio de Resolução, a qual será enviada ao Governador do Estado do Ceará, que fixará o valor das tarifas por Decreto, obedecidos os seguintes critérios:

I – (...)

II – (...)

III – a cobrança pela utilização dos recursos hídricos considerará a garantia de uso estabelecida no instrumento de outorga sendo o maior preço associado a maiores garantias exceto para a agricultura de subsistência com área produtiva máxima de 5 ha.

§ Único – O excedente da cobrança obtido em anos úmidos será direcionado ao fundo de regularização visando o pagamento de indenizações aos usuários e o custeio das despesas operacionais em períodos de escassez hídrica.

## **Seção IV**

### **Dos Planos de Recursos Hídricos**

Subseção I (...)

Subseção II - Dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas

**Art. 20.** (...).

**§ 1º** (...)

**§ 2º** (...)

**§ 3º** Os planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas serão compostos pelos planos operacionais de seca e plano de segurança hídrica.

**Art.** O Plano Operacional de Seca em Hidrossistema visa estabelecer a regra de operação do sistema nos anos normais e secos tendo o seguinte conteúdo mínimo:

I – Zoneamento do reservatório em diferentes estados de seca sendo estabelecido no máximo cinco estados: sem seca relativa, seca moderada, seca severa, seca extrema e seca excepcional;

II – Definição dos limiares e gatilhos dos estados de seca;

III – Definição dos níveis toleráveis de risco do sistema com a determinação dos níveis de racionamento em cada zona do reservatório por meio dos Comitês de Bacia e da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos;

IV – Obtenção das garantias de uso para cada um dos estados de seca.

**Art.** O Plano Operacional de Seca em Cidades visa definir como gerenciar a oferta alocada para o centro urbano durante a seca tendo o seguinte conteúdo mínimo:

I – Identificação de novos mananciais para oferta hídrica;

II – Ações de gestão da demanda com vistas a racionalização do uso da água;

III – Estabelecimento de medidas para a gestão integrada de águas urbanas.

**Art.** O Plano de Segurança Hídrica em bacias hidrográficas visa minimizar as vulnerabilidades na gestão de recursos hídricos através da implementação de medidas estruturais e não-estruturais tendo o seguinte conteúdo mínimo:

I - Construção de cenários futuros de usos da água e clima com vistas a condicionar a avaliação dos sistemas;

II - Identificação e hierarquização das vulnerabilidades dos sistemas de abastecimento de água em relação a quantidade e qualidade;

IV - Definição de estratégias de mitigação das vulnerabilidades e gestão de riscos com vista a promoção da segurança hídrica;

V - Programação de ações estruturais e não estruturais.

**Art. 46.** Compete aos Comitês de Bacias Hidrográficas:

**I** – (...);

**II** - Propor a elaboração e aprovar os Planos de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica;

**III** – (...);

**IV** – (...);

**V** - Acompanhar a implementação dos planos de recursos hídricos da bacia hidrográfica e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

**VI** – (...);

**VII** – (...);

**VIII** – (...);

**IX** – (...);

**X** – (...);

**XI** – (...)

**XII**- Fiscalizar a captação de água pelos usuários e identificar infratores.

## **8 - PROPOSTA E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO**

## 8 - PROPOSTA E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

Os sistemas de recursos podem ser classificados para efeito da análise aqui pretendida em três grupos:

- Sistemas locais: constituído de um reservatório e de demandas urbanas e irrigação;
- Vales perenizados: constituído de múltiplos reservatórios abastecendo grandes demandas urbanas e irrigação;
- Grandes Sistemas Integrados através de Transposição de Bacia, caso atualmente do sistema Jaguaribe-Metropolitano.

A metodologia deverá ser adotada para sistemas hídricos superficiais. A delimitação do sistema de recursos hídricos é o passo inicial. Nesta delimitação, deve-se observar que a vinculação entre os diversos componentes do sistema deve se dar no horizonte de curto e médio prazo, como discutido anteriormente. Para tanto deve-se utilizar como critério haver ligação hidráulica através da calha do rio no período seco (perenização) ou transferência hídrica por canais ou adutoras entre os centros de oferta e da demanda no sistema em foco.

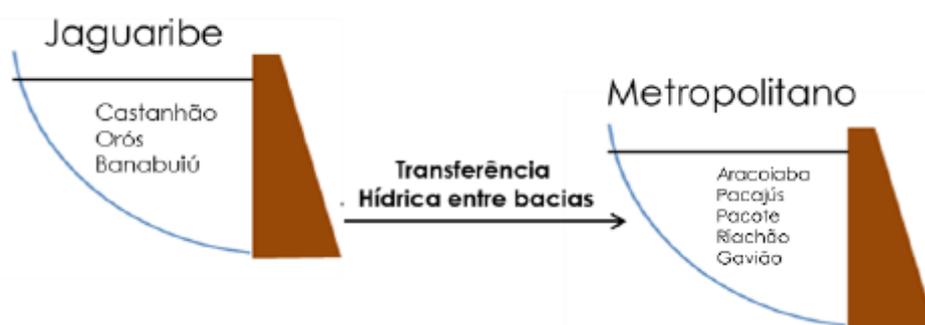
### 8.1 - DEFINIÇÃO DE REGRA DE OPERAÇÃO COM BASE NO ZONEAMENTO DO RESERVATÓRIO

Nessa seção foi exposta a utilização de níveis metas na alocação de água. Esta aplicação foi realizada para o sistema Jaguaribe-Metropolitano e está dividida em duas partes: (i) a definição dos níveis metas e regra de operação por meio da utilização da metodologia de reservatório equivalente; (ii) a análise do impacto da regra de operação por meio da simulação do sistema de reservatórios desagregados.

#### 8.1.1 - Definição dos níveis metas e regra de operação

O sistema Jaguaribe-Metropolitano foi estudado de forma agregada para a definição dos níveis metas (limiares das zonas dos reservatórios). Para isso, tomou-se os três principais reservatórios da bacia do Jaguaribe (Castanhão, Orós e Banabuiú) e os cinco principais da bacia Metropolitana (Aracoiaba, Pacajús, Pacoti, Riachão e Gavião) construindo-se dois reservatórios equivalentes. Optou-se por essa simplificação do sistema para que se diminuísse o número de variáveis de decisões na otimização do processo de construção dos níveis metas.

Assim, agregaram-se as vazões afluentes, evaporações, CAV e demandas dos reservatórios para a construção do Reservatório Equivalente Jaguaribe (REJ) e o Reservatório Equivalente Metropolitano (REM), conforme mostra o desenho esquemático na **Figura 8.1**. Para a construção do REJ, consideraram-se os reservatórios Castanhão e Orós em série e o Banabuiú paralelo a estes dois. No REM, os reservatórios foram considerados em série.



**Figura 8.1 - Desenho esquemático do sistema Jaguaribe-Metropolitano agregado**  
Considerou-se a vazão do reservatório equivalente igual à soma das afluições dos reservatórios isolados:

$$Q_{eqv\ k,j} = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Onde,

$Q_{eqv\ k,j}$  = Vazão afluente do reservatório equivalente k no mês j ( $hm^3/mês$ );

$Q_{i,j}$  = Vazão afluente do reservatório i no mês j ( $hm^3/mês$ );

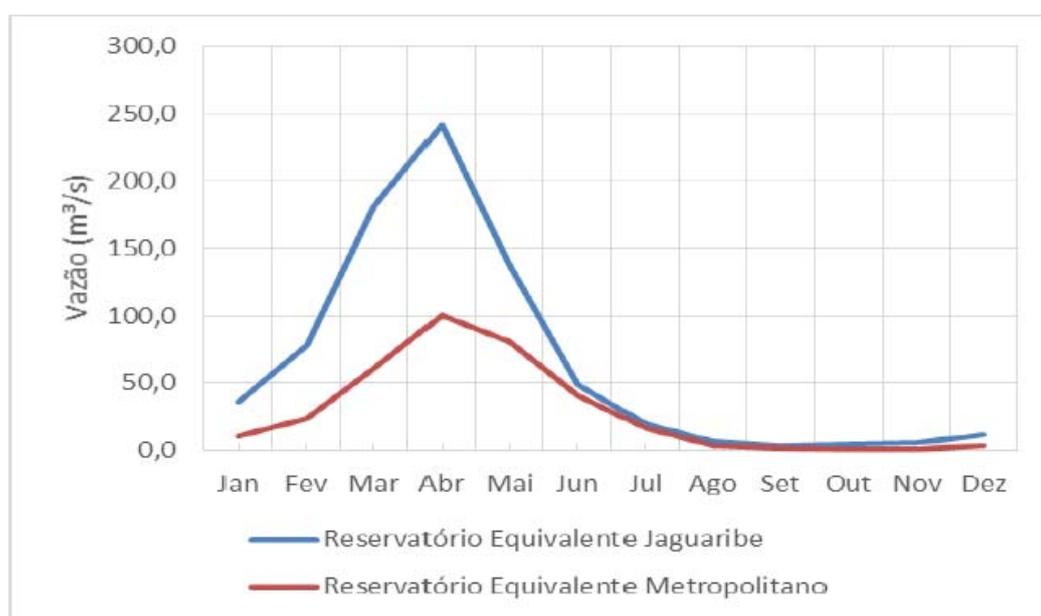
n = quantidade de reservatórios do sistema;

j = mês.

Para o cálculo das vazões equivalentes foram utilizados os valores de vazões disponíveis no relatório de estudos de regionalização para as bacias dos reservatórios do Estado do Ceará, publicado por UFC/COGERH (2013). Nesse relatório, as séries de vazões foram geradas utilizando-se o modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) com discretização mensal. Essas vazões compõem uma série para o

período entre janeiro de 1912 e dezembro de 2012, o qual representa o período de análise do estudo.

Os reservatórios equivalentes apresentam vazões máximas no mês de abril, tendo o reservatório Jaguaribe em média 240 m<sup>3</sup>/s de vazão afluente neste mês, enquanto o reservatório Metropolitano apresenta 100 m<sup>3</sup>/s de vazão afluente média. Ambos apresentam vazão próxima a zero nos meses de setembro e outubro, demonstrando claramente a variabilidade interanual da região (**Figura 8.2**).



**Figura 8.2 - Vazão média mensal (m<sup>3</sup>/s) dos reservatórios equivalentes Jaguaribe e Metropolitano**

O cálculo da evaporação média mensal do reservatório equivalente foi realizado tomando-se a média das evaporações mensais de cada reservatório do sistema:

$$E_{eqv k,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{i,j}$$

Onde,

$E_{eqv k,j}$  = Evaporação média do reservatório equivalente k no mês j (m);

$E_{i,j}$  = Evaporação média do reservatório i no mês j (m);

n = quantidade de reservatórios do sistema;

j = mês.

Foram utilizados os dados de evaporação disponível no banco de dados das normais climatológicas do INMET. Esses dados são observados em evaporímetros de pichê com distribuição mensal. As curvas cota-área-volume foram obtidas junto à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH.

Para a obtenção da curva cota-área-volume do reservatório equivalente criou-se uma regra de prioridade de esvaziamento para cada reservatório do sistema. No REJ, definiu-se que o reservatório Banabuiú iniciará seu esvaziamento em paralelo com o Castanhão, esvaziando-se completamente quando este último estiver com acumulação em torno de 450 hm<sup>3</sup>. O reservatório Orós tem seu esvaziamento iniciado em série com o Castanhão, chegando ao volume mínimo de 100 hm<sup>3</sup> quando o Castanhão estiver em 450 hm<sup>3</sup>. No REM, com os reservatórios considerados em série, optou-se pelo esvaziamento completo do Aracoiba e do Pacajús quando o Pacoti-Riachão estiver com 50 hm<sup>3</sup>. Neste mesmo volume, o reservatório Gavião iniciará o esvaziamento. Quando o Pacoti-Riachão atingir o colapso, o volume do Gavião estará em 5 hm<sup>3</sup>.

Agrupou-se os reservatórios de acordo com a prioridade de esvaziamento definida, criando-se cotas de referência. O volume máximo e o volume mínimo de cada reservatório são colocados nesse sistema de cotas, e, em seguida, faz-se a distribuição dos volumes no sistema de referência. Dessa forma, para cada cota do reservatório equivalente, teremos um volume associado de cada reservatório.

Por fim, calcula-se a área referente a cada volume de cada reservatório através da relação entre Área-Volume. O cálculo do volume e da área do reservatório equivalente se dará, então, pela soma dos volumes e áreas de cada uma das cotas do sistema de referência.

Considerou-se a demanda do reservatório equivalente (**Quadro 8.1**) igual a soma das demandas dos reservatórios isolados:

$$Deqv = \sum_{i=1}^n D_i$$

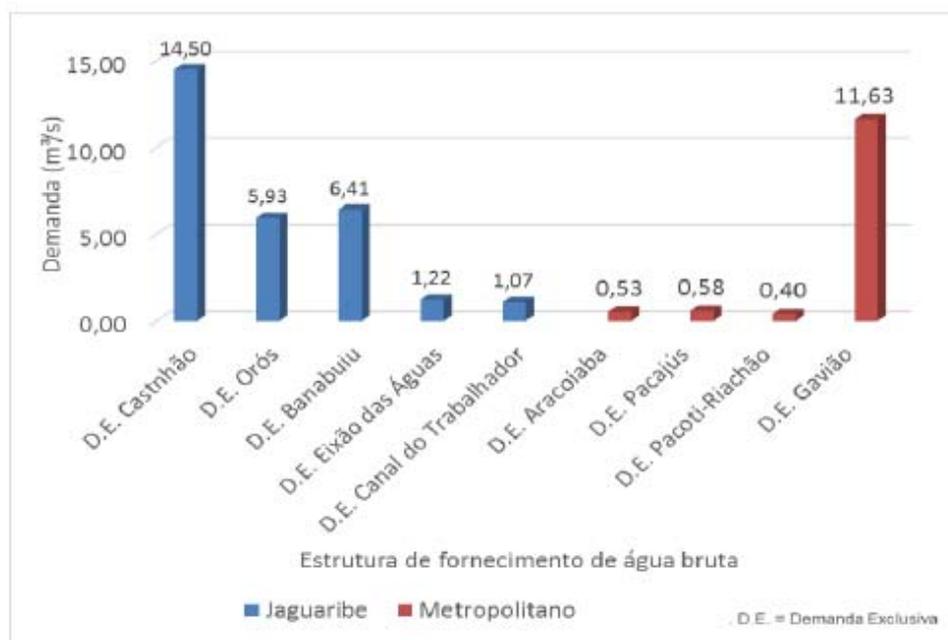
Onde,

n = quantidade de reservatórios do sistema

$D_i$  = Demanda do reservatório i (hm<sup>3</sup>/mês) exposta na **Figura 8.3**;

**Quadro 8.1 - Demanda dos reservatórios equivalentes Jaguaribe e Metropolitano.**

	Jaguaribe	Metropolitano
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	29,1	13,2

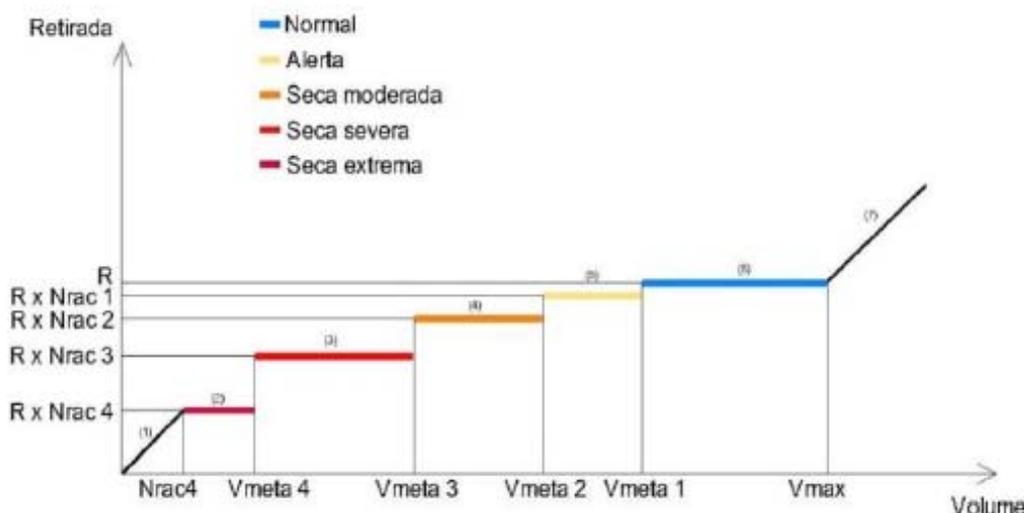


**Figura 8.3 - Demanda dos reservatórios isolados.**

A regra de operação dos reservatórios (**Figura 8.4**) foi baseada em sete estágios de liberação descritos a seguir:

- no primeiro estágio (1) o reservatório está com volume menor que o necessário no período para suprir a retirada no nível de racionamento 4 ( $R \cdot N_{rac4}$ ). Nesta situação libera-se o volume de água disponível no reservatório, secando-o.
- No segundo estágio (2) há um volume do reservatório ( $V$ ) menor que o nível meta 4. Utiliza-se um coeficiente de racionamento  $N_{rac4}$ , que multiplicado a retirada  $R$ , irá definir o valor da retirada naquela situação. O mesmo acontece para os estágios (3), (4), (5), quando o estoque está abaixo dos respectivos volumes metas (3, 2 e 1), aplicando-se um coeficiente de racionamento  $N_{rac3}$ ,  $N_{rac2}$ ,  $N_{rac1}$ , respectivamente para os três níveis.
- No sexto estágio (6), há um volume do reservatório ( $V$ ) suficiente para o suprimento de toda a vazão regularizada, neste caso a liberação é igual à vazão de referência.

- No sétimo estágio (7), o volume do reservatório é maior que o volume máximo de conservação (caso não haja comportas). O volume liberado será a vazão de referência (R) somada ao vertimento (V-Vmax).



**Figura 8.4 - Desenho esquemático da regra de operação com salvaguardas.**

Para efeito de aplicação foram utilizados os coeficientes de racionamento, frequência de falhas expostos no **Quadro 8.2**.

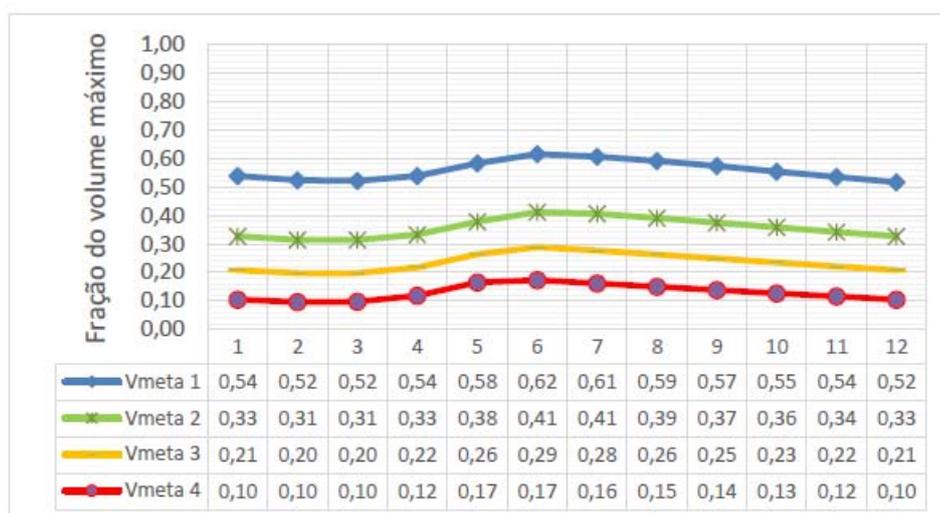
**Quadro 8.2 - Definição do nível de risco tolerável.**

% Falha (Porcentagem do tempo em que o reservatório se encontra abaixo do nível considerado)					
Reservatório	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema
Jaguaribe	60	35	15	5	0
Metropolitano	40	20	10	2	0
Coeficientes de racionamento (fração da demanda de referência)					
Reservatório	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema
Jaguaribe	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7
Metropolitano	0,0	0,0	0,1	0,2	0,6

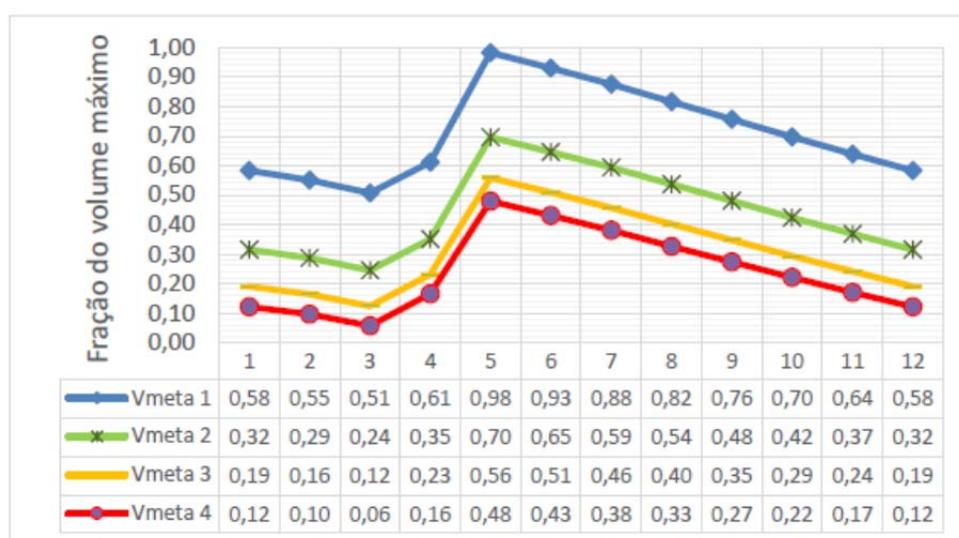
A definição dos níveis metas baseia-se na construção de uma curva calculada conforme apresentada na seção 5.2.1 desse relatório. Optou-se por escolher a mediana das aflúências na construção da curva em (iii) de forma Ad-Hoc. Esta escolha implica, principalmente, na definição dos níveis metas nos meses de maiores

precipitações. Sugere-se que, em trabalhos futuros, estes valores sejam modificados para a verificação de quais quantis geram melhores níveis metas.

Os níveis metas simulados está apresentado nas **Figuras 8.5 e 8.6**.

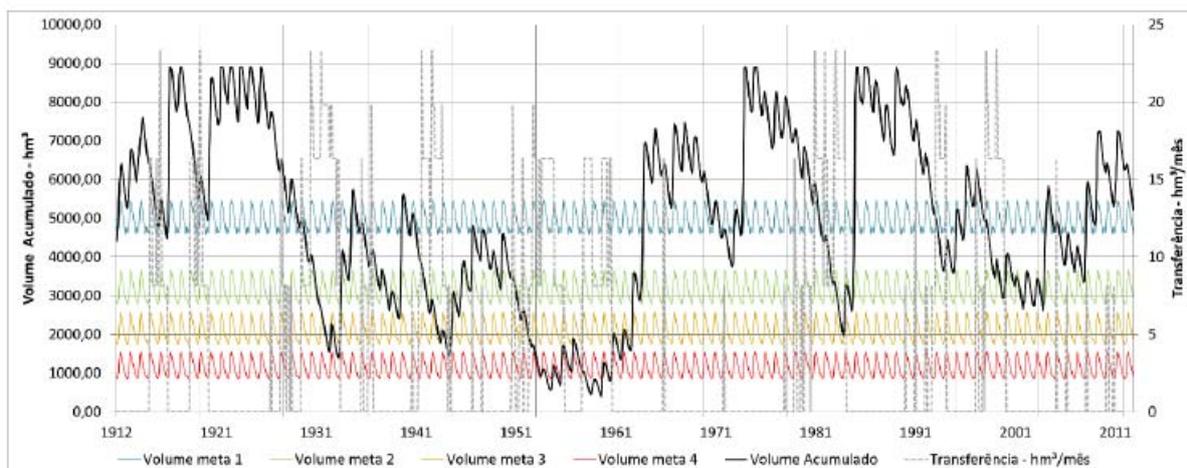


**Figura 8.5 - Níveis Metas do Reservatório Equivalente Jaguaribe.**

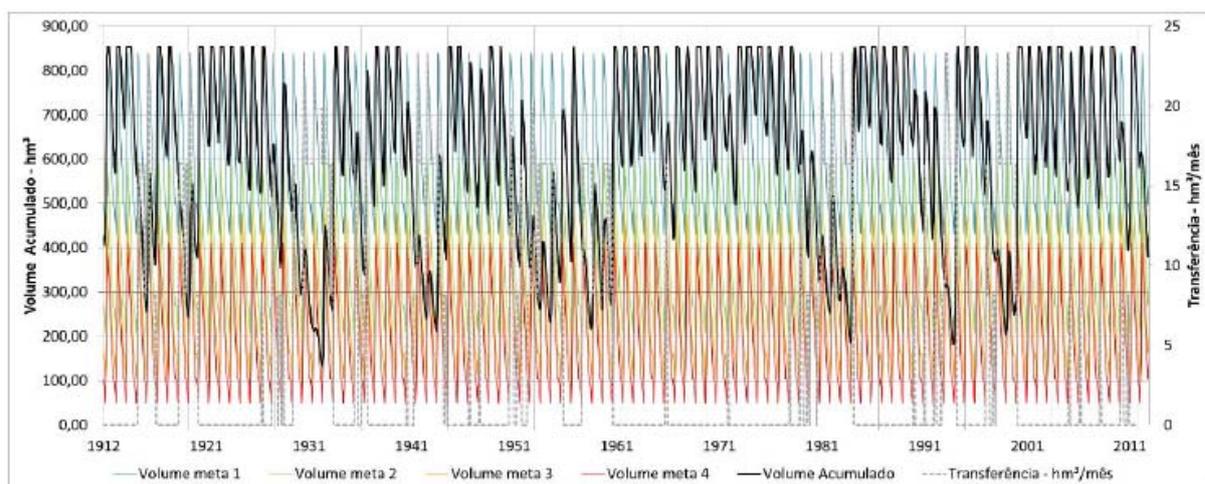


**Figura 8.6 - Níveis Metas do Reservatório Equivalente Metropolitano.**

A operação do sistema equivalente a partir da regra de operação formada com os níveis metas apresentou a evolução mostrada na **Figura 8.7** (Jaguaribe) e na **Figura 8.8** (Metropolitano).



**Figura 8.7 - Simulação da operação do Reservatório Equivalente Jaguaribe com os níveis metas**



**Figura 8.8 - Simulação da operação do Reservatório Equivalente Metropolitano com os níveis metas**

O reservatório Jaguaribe apresentou baixa acumulação no ano de 1960, em torno de 600 hm<sup>3</sup>, estando inserido no estado de Seca Extrema. Neste estado, o reservatório apresentou a frequência de 4,7 % do tempo. No estado de Seca Severa, o reservatório permaneceu por 8,1% do tempo, enquanto que no estado de seca e alerta, 10,81% e 25,66%, respectivamente. O reservatório esteve em 50,7% no estado de normalidade do sistema.

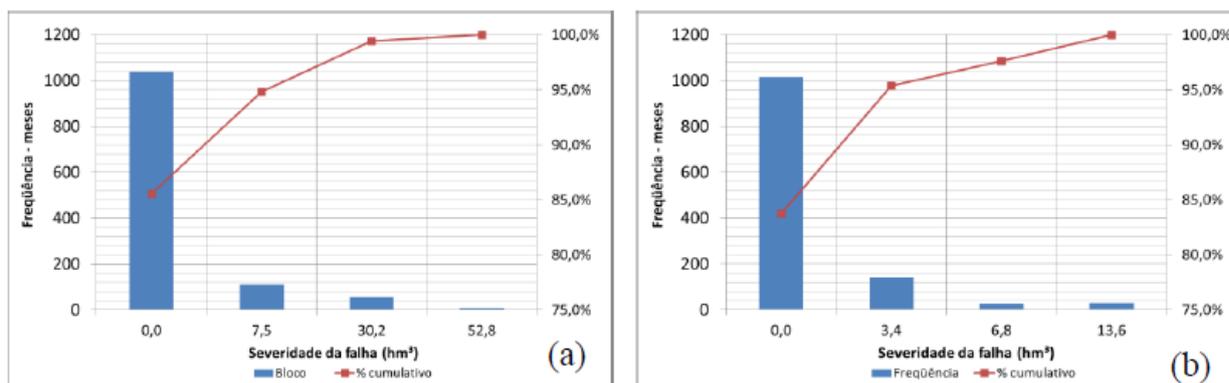
O **Quadro 8.3** apresenta resumidamente esses valores e inclui também a frequência de tempo do reservatório Metropolitano. Nesta simulação, nenhum dos reservatórios do sistema atingiu o colapso.

**Quadro 8.3 - Frequência do tempo simulado em que os Reservatórios Equivalentes Jaguaribe e Metropolitano apresentaram nos estados de seca, na operação Nível Meta.**

	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema	Colapso
<b>Jaguaribe</b>	50,74%	25,66%	10,81%	8,09%	4,70%	0,00%
<b>Metropolitano</b>	62,54%	24,17%	9,08%	1,90%	2,31%	0,00%

A **Figura 8.9** apresenta o histograma das severidades dessa operação, indicando o déficit de atendimento da demanda. No sistema Jaguaribe, é possível observar que a falha acontece em grande parte nos estados de seca que representam menores severidades. A falha de 7,5 hm<sup>3</sup> esteve presente em 9,2% dos meses simulados, e a maior severidade neste reservatório, no valor de 52,8 hm<sup>3</sup> (70% da demanda de referência) ocorreu em menos de 1% do período simulado. No Metropolitano, 11,6% dos meses tiveram falhas que ocasionaram uma severidade de apenas 3,4 hm<sup>3</sup> no mês e em 2,5% do tempo deixou de atender 13,6 hm<sup>3</sup>. Nenhum dos dois sistemas deixaram de atender 100% de suas demandas.

**Figura 8.9 - Histograma das severidades das falhas da operação do sistema Jaguaribe-Metropolitano com a regra de operação com Níveis Metas 3: (a) Jaguaribe; (b) Metropolitano.**



### 8.1.2 - Avaliação do impacto da regra

A modelagem do sistema em reservatórios equivalentes não é feita na operação real do sistema. Diante disso, aplicou-se a regra de operação descrita na seção anterior ao sistema de reservatórios desagregado, visando analisar os impactos em longo prazo da definição dos níveis metas para os diferentes reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Para tanto, optou-se por desenvolver uma planilha de cálculo, utilizando o software Excel®, que desse suporte a modelagem do sistema Jaguaribe –Metropolitano com a incorporação dos níveis metas para os reservatórios desagregados.

Algumas regras de transferência entre os reservatórios dentro da mesma bacia foram incorporadas nesse processo. Esta regra visa a utilização das águas dos reservatórios mais a jusante pelos reservatórios mais a montante num momento em que estes últimos sinalizem a possibilidade de não atenderem suas demandas. Cabe destacar que essa regra de transferência foi criada do modo Ad-Hoc e indica o início e o fim das transferências somente entre os reservatórios dentro da mesma bacia.

Assim, criou-se uma regra baseada nos níveis de acumulação dos reservatórios doadores (montante) e receptores (jusante) para o acionarem o gatilho da transferência entre eles, conforme mostra o **Quadro 8.4**.

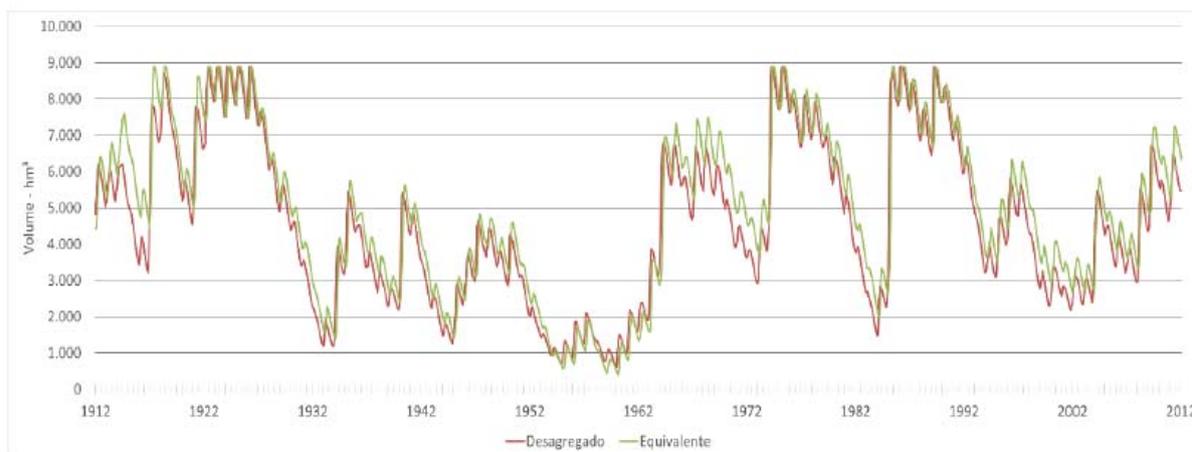
A transferência entre os sistemas Jaguaribe Metropolitano ocorreu baseado na matriz de trade-off de transferências hídricas, respeitando os valores propostos para cada cenário construído. Além disso, tomou-se como os níveis metas para cada reservatório isolado integrante da bacia do Jaguaribe o mesmo definido para o seu reservatório equivalente. Na bacia do Metropolitano, definiu-se o estado de seca mensal a partir da soma dos estoques de cada um dos reservatórios integrantes dessa bacia.

**Quadro 8.4 - Gatilhos de transferência entre os reservatórios dentro da mesma bacia**

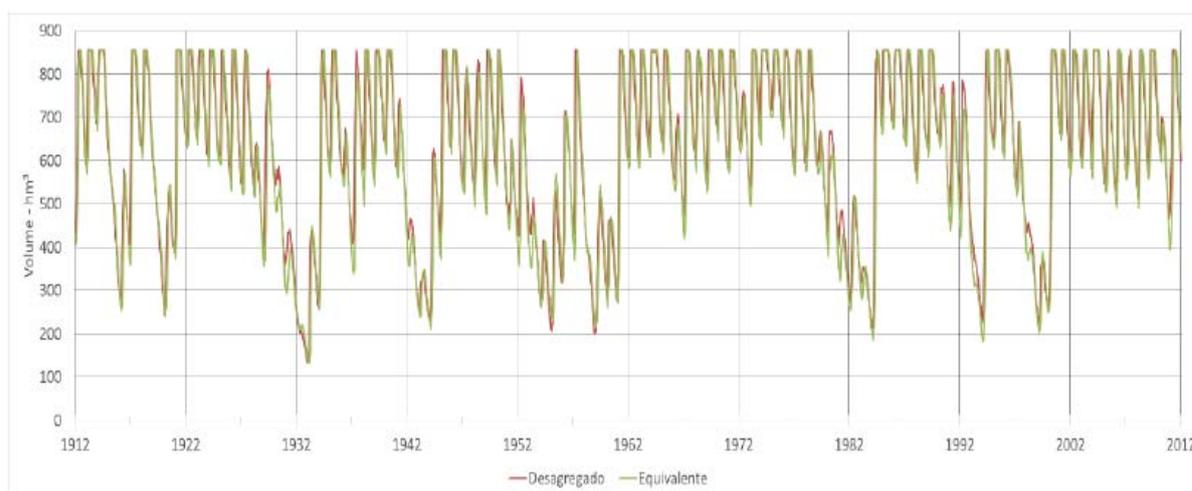
Montante	Jusante	Gatilho de início	Gatilho de fim	Vazão de transferência (m <sup>3</sup> /s)
Orós	Castanhão	Volume Castanhão < 400 hm <sup>3</sup> e Volume Orós > 150 hm <sup>3</sup>	Volume Castanhão > 400 hm <sup>3</sup> ou Volume Orós < 150 hm <sup>3</sup>	16,0
Banabuiú	Castanhão (eixão)	Volume Castanhão < 1000 hm <sup>3</sup> e Volume Banabuiú > 500 hm <sup>3</sup>	Volume Castanhão > 1000 hm <sup>3</sup> ou Volume Banabuiú < 500 hm <sup>3</sup>	5,0
Aracoiaba	Pacajús	Volume Pacajús < 120 hm <sup>3</sup> e Volume Aracoiaba > 10 hm <sup>3</sup>	Volume Pacajús > 120 hm <sup>3</sup> ou Volume Aracoiaba < 10 hm <sup>3</sup>	4,0
Pacajús	Pacoti-Riachão	Volume Pacoti-Riachão < 300hm <sup>3</sup> e Volume Pacajús > 20 hm <sup>3</sup>	Volume Pacoti-Riachão > 300hm <sup>3</sup> e Volume Pacajús < 20 hm <sup>3</sup>	10,0
Pacoti-Riachão	Gavião	Sempre que não houver vertimento no Gavião	Quando houver vertimento no Gavião	12,0

A análise de desempenho foi realizada verificando a acumulação dos reservatórios e o atendimento das demandas. Para isso, utilizou-se os critérios de frequência de falhas em cada nível, frequência de permanência no nível e resiliência do sistema para análise dos reservatórios e severidade das falhas da operação e vulnerabilidade para a análise do suprimento das demandas. As análises foram realizadas para todas as regras de operação definidas. Ao fim, compararam-se as diferentes regras de operação para saber o impacto de cada uma na operação real do sistema.

O resultado da operação do sistema em suas formas agregada (com reservatórios equivalentes) e desagregada (com o sistema de reservatórios) estão apresentadas nas **Figuras 8.10 e 8.11**. Pode-se observar a posição das curvas Equivalente e Desagregado para esta regra de operação. A operação com o Jaguaribe resultou em uma correlação de 0,96 enquanto a do Metropolitano 0,94, demonstrando a boa aproximação entre as duas curvas. A utilização do reservatório equivalente demonstrou, como nas outras simulações, uma boa aproximação ao sistema desagregado.



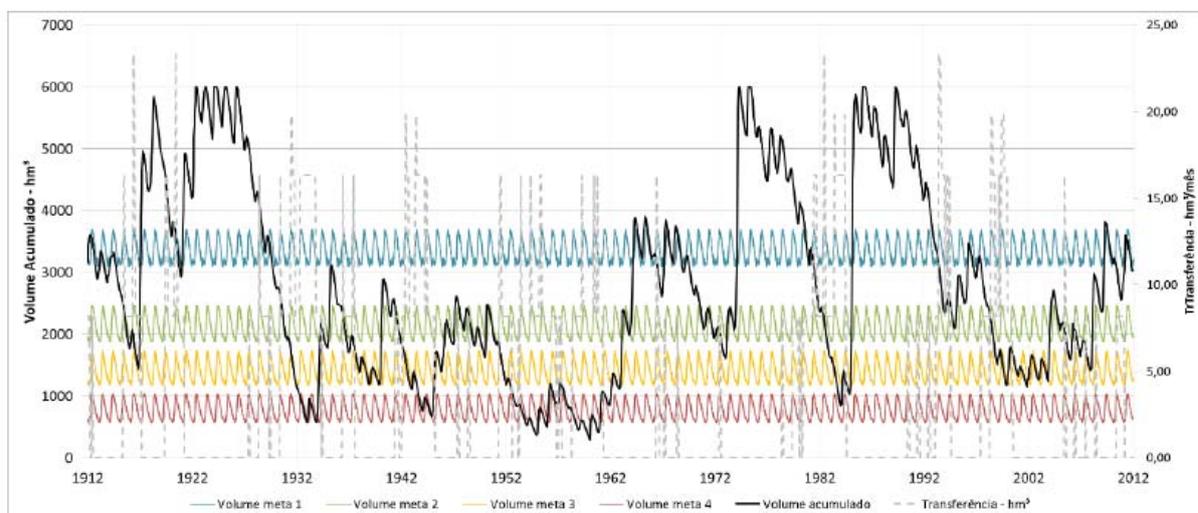
**Figura 8.10 - Operação do sistema Jaguaribe com os níveis metas 3 para o sistema equivalente e desagregado.**



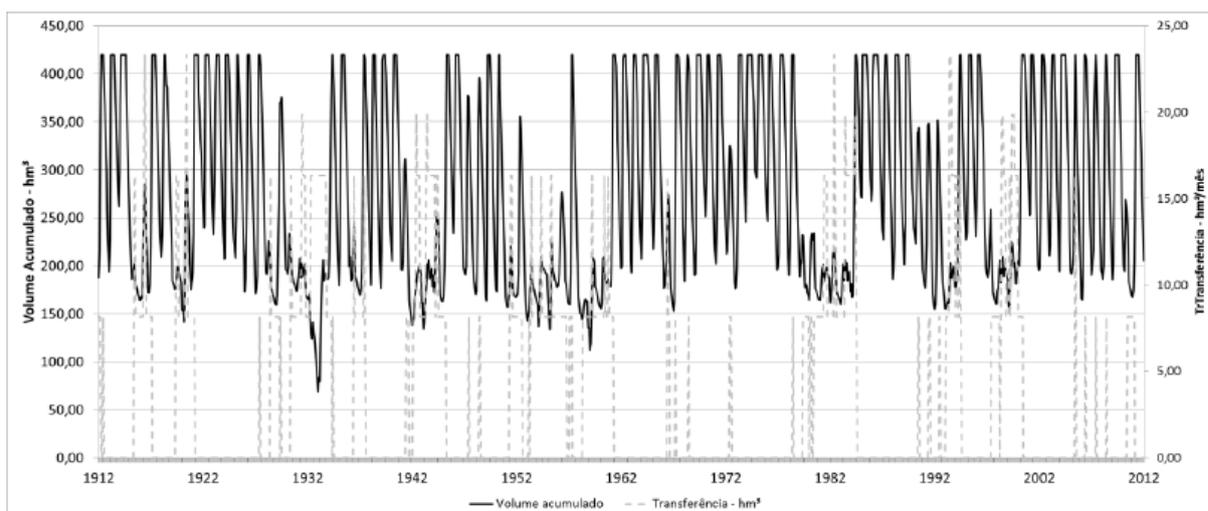
**Figura 8.11 - Operação do sistema Metropolitano com os níveis metas para o sistema equivalente e desagregado.**

As **Figuras 8.12, 8.13 e 8.14** apresentam o resultado da operação com níveis metas dos reservatórios Castanhão, Pacoti-Riachão e Gavião, respectivamente.

O reservatório Castanhão apresenta os menores volumes acumulados, aproximadamente 300 hm<sup>3</sup>, no ano 1960. Este representa o ano de menor acumulação da simulação para este reservatório. Observou-se que 1932 foi o ano com baixa acumulação para o Pacoti-Riachão, restando um com volume de 70 hm<sup>3</sup> neste ano. Nesta simulação, nenhum reservatório atingiu o colapso.

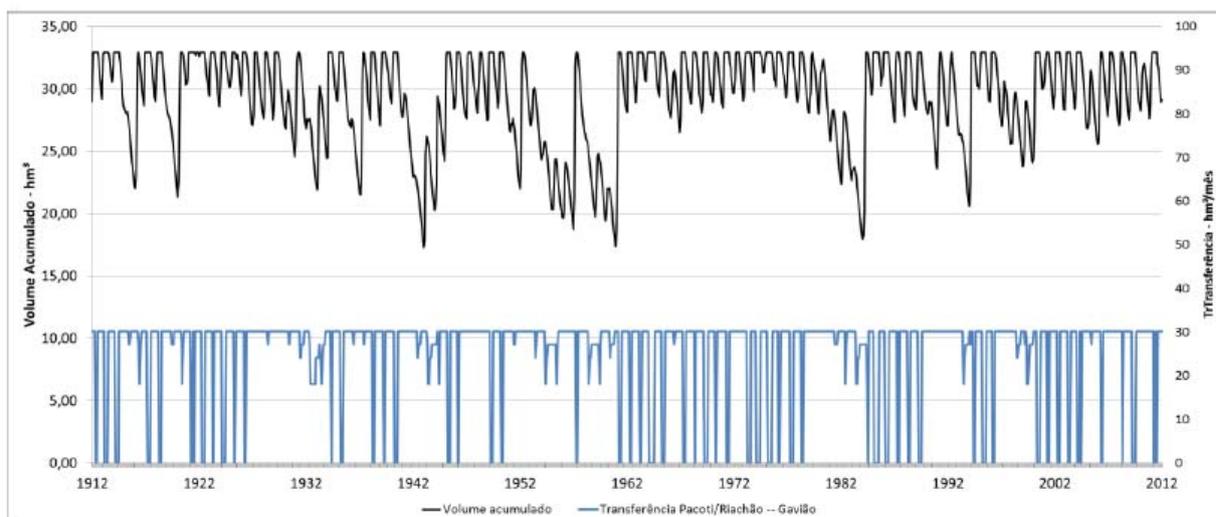


**Figura 8.12 - Operação do reservatório Castanhão para a regra de operação Nível Meta.**



**Figura 8.13 - Operação do reservatório Pacoti-Riachão para a regra de operação Nível Meta.**

O **Quadro 8.5** apresenta a frequência do tempo de permanência em cada nível de seca e o **Quadro 8.6** mostra a falha em cada um desses níveis para todos os reservatórios integrantes do sistema Jaguaribe e para o sistema Metropolitano (a falha e frequência no nível são as mesmas para todos os reservatórios desse sistema).



**Figura 8.14 - Operação do reservatório Gavião para a regra de operação Nível Meta.**

**Quadro 8.5 - Frequência do tempo simulado que os reservatórios do sistema Jaguaribe e Metropolitano apresentam nos estados de seca, para a operação Nível Meta.**

	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema	Colapso
Sistema Jaguaribe	42,3%	30,0%	13,2%	10,7%	3,8%	0,0%
Castanhão	31,0%	27,6%	20,2%	14,1%	7,1%	0,0%
Orós	60,5%	17,2%	9,1%	10,1%	3,1%	0,0%
Banabuiú	62,3%	23,6%	8,1%	6,0%	0,0%	0,0%
Sistema Metropolitano (Aracoiaba, Pacajús, Pacoti-Riachão e Gavião)	66,0%	22,6%	7,6%	1,8%	2,0%	0,0%

**Quadro 8.6 - Frequência de falha dos reservatórios do sistema Jaguaribe e Metropolitano apresentaram em cada estado de seca, para operação Nível Meta**

	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema
Sistema Jaguaribe	57,7%	27,7%	14,5%	3,8%	0,0%
Castanhão	69,0%	41,4%	21,2%	7,1%	0,0%
Orós	39,5%	22,3%	13,2%	3,1%	0,0%
Banabuiú	37,7%	14,1%	6,0%	0,0%	0,0%
Sistema Metropolitano (Aracoiaba, Pacajús, Pacoti-Riachão e Gavião)	34,0%	11,4%	3,8%	2,0%	0,0%

O Castanhão apresentou as maiores falhas de todo o sistema. Nessa operação, observa-se que este reservatório tem algum tipo de falha em 41,4% do período simulado, significando que em 58,6% do tempo o reservatório atendeu plenamente a sua demanda exclusiva. Esse valor é dado pela soma da frequência do tempo do estado normal e alerta, haja vista que, na formulação desta regra, o racionamento acontece somente a partir do estado de Seca. Os reservatórios da RMF, no entanto, apresentam, aproximadamente, 88,6% do tempo em estado Normal e Alerta, significando o atendimento pleno das demandas da região. Um estado de seca mais intenso, apresenta-se em 2,0% do período simulado nesta bacia.

A severidade de cada um desses níveis pode ser observada nos histogramas apresentados na **Figura 8.15** para cada reservatório do sistema. À exceção do reservatório Orós, todos os outros reservatórios do sistema apresentaram a maior frequência de falhas de atendimento nos estados de seca, que representam menores severidades.

A pior falha ocorrida na operação do reservatório pode ser representada pela vulnerabilidade. Esta mede a severidade das falhas a que o sistema está sujeito, podendo ser expressa como sendo o somatório das severidades de um determinado período de tempo.

O reservatório Castanhão apresentou um período máximo de 146 meses (julho de 1950 a fevereiro de 1963) em que ocorreu alguma falha no atendimento de sua

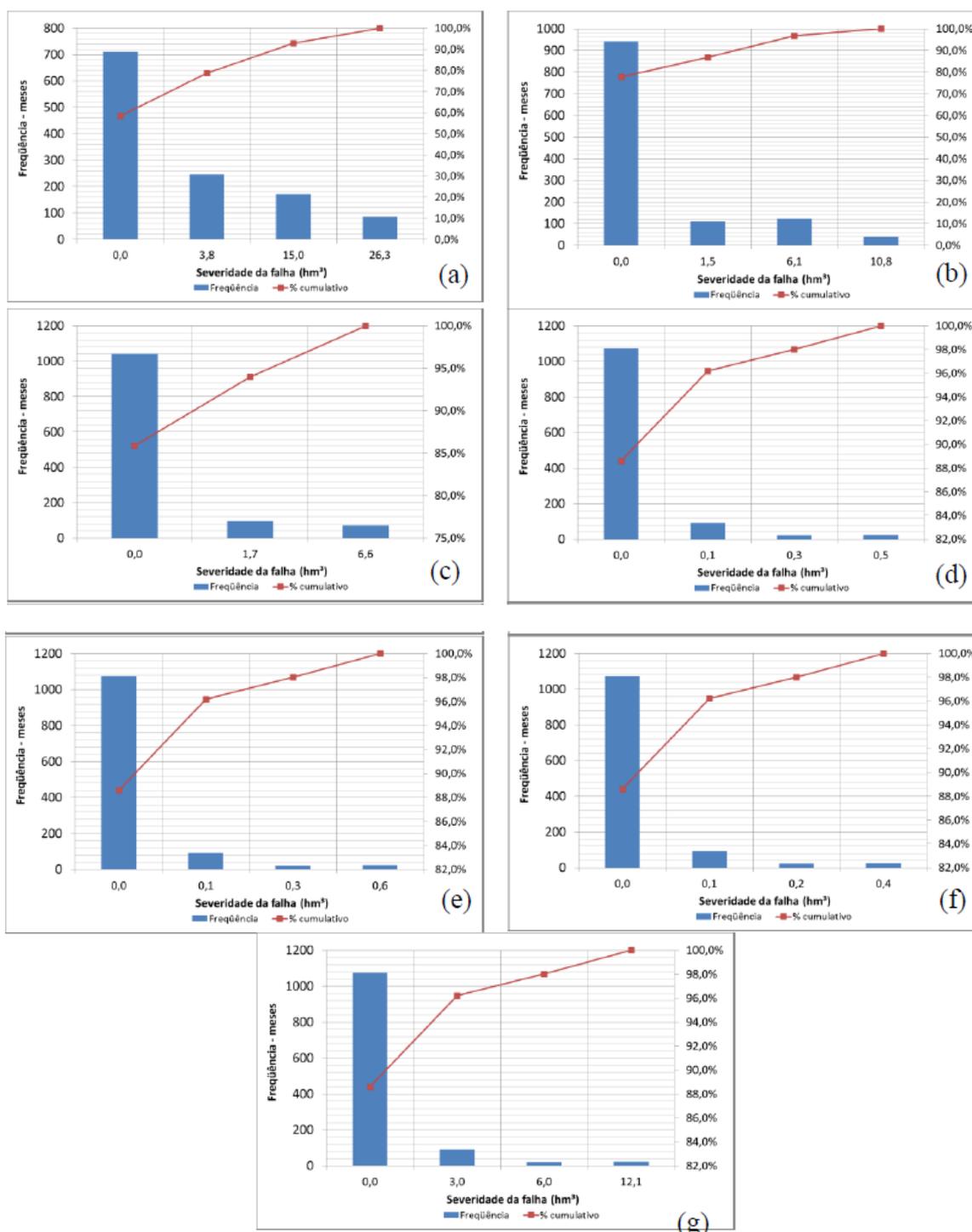
demanda. Nesse período, o reservatório deixou de atender um valor total de 2769,0 hm<sup>3</sup>, resultando em 7,3 m<sup>3</sup>/s (19,0 hm<sup>3</sup>/mês) em média de falha.

O reservatório Gavião apresentou uma vulnerabilidade máxima de 135,7 hm<sup>3</sup> em um período de 18 meses, resultando em 2,9 m<sup>3</sup>/s de déficit médio neste período (maio de 1932 a outubro de 1933). O **Quadro 8.7** apresenta a maior vulnerabilidade e o período de tempo em que ela ocorreu para cada um dos reservatórios integrantes do sistema.

Calculou-se também a resiliência dos reservatórios para a regra de operação dada. Esta informação mede o tempo médio que o reservatório demora para retornar a um determinado nível após ter ido para um nível inferior.

Os reservatórios do sistema Metropolitano demoram, em média, 4,6 meses para retomar o atendimento da sua demanda plena a partir do momento em que a deixou de atender. O tempo que o reservatório Castanhão, em média, precisa para retornar ao seu estado de normalidade é de 60 meses após deixá-lo, e cerca de 11 meses para voltar ao estado de seca Severa após entrar no estado de Seca extrema.

O **Quadro 8.8** mostra a resiliência em meses dos reservatórios analisados em cada um dos níveis de seca.



**Figura 8.15 - Histograma das severidades das falhas da operação do sistema Jaguaribe-Metropolitano com a regra de operação com Níveis Metas para o sistema desagregado: (a) Castanhão; (b) Orós; (c) Banabuiú; (d) Aracoiaba; (e) Pacajús; (f) Pacoti-Riachão; (g) Gavião.**

**Quadro 8.7 - Vulnerabilidade máxima dos reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitano, para a operação Nível Meta**

	Máxima	Período em que ocorreu	Média do período	
	(hm <sup>3</sup> )	(meses)	(hm <sup>3</sup> /mês)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>Castanhão</b>	2769,0	146,0	19,0	7,3
<b>Orós</b>	909,9	130,0	7,0	2,7
<b>Banabuiú</b>	559,6	118,0	4,7	1,8
<b>Aracoiaba</b>	6,2	18,0	0,3	0,1
<b>Pacajús</b>	6,7	18,0	0,4	0,1
<b>Pacoti-Riachão</b>	4,6	18,0	0,3	0,1
<b>Gavião</b>	135,7	18,0	7,5	2,9

**Quadro 8.8 - Tempo de resiliência (meses) dos reservatórios integrantes do sistema Jaguaribe-Metropolitano, para a regra de operação Nível Meta.**

	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema
	Sistema Jaguaribe	43,7	33,6	25,1	6,6
Castanhão	59,7	23,9	18,4	10,8	0,0
Orós	26,6	24,5	17,8	5,4	0,0
Banabuiú	28,6	19,0	18,3	0,0	0,0
Sistema Metropolitano (Aracoiaba, Pacajús, Pacoti-Riachão e Gavião)	10,8	4,6	2,2	1,5	0,0

A definição de uma política de operação de reservatórios que permita a interação entre a alocação de longo prazo e de curto prazo é de grande importância para a gestão eficiente, equitativa e sustentável dos recursos hídricos.

A regra de operação mostrada acima pode ser modificada de forma que se torne apta para a implantação num sistema real de reservatórios. Vale ressaltar que essa regra é apenas uma demonstração do zoneamento de reservatórios. Recomenda-se, ainda, que novas simulações possam ser realizadas incorporando os anos de 2013 a 2016, haja vista que esses constituem uns dos períodos mais secos da história do Estado

## 9 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 9 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, S. H. S.; SILVA, S. M. O.; SILVA, D. C.; SOUZA FILHO, F. A. **Alocação de longo prazo no estado do Ceará.** In: Gerenciamento de Recursos Hídricos no Semiárido. Org. Souza Filho, F. A.; Campos, J. N. B.; Aquino, S. H. S., FINEP/UFC/FCPC, ed. Edição Gráfica e Editora, Fortaleza – CE, pp. 257 – 275. 2013.
- CARVALHO, M. A. de.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; SCHARDONG, A.; Porto, R. L. L. Sistema de suporte à decisão para a alocação de água em projetos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 10 – 17, 2009.
- CASTELLO, J. P. Gestão sustentável dos recursos pesqueiros, isto é realmente possível?. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 2 (1), p.47-52, 2002.
- DINAR, A., ROSEGRANT, M. W, MEIZEN-DICK, R. **Water Allocation: Mechanisms, principles and examples.** World Bank: Policy Research Working Paper #1779, Washington, DC. 1997.
- FAO. **Economics of water allocation.** In: Economic Valuation of water resources in agriculture, FAO Water Report 27, Org. Turner, K.; Georgiou, S.; Clark, R.; Brouver, R., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2004.
- GARCIA, F. **Manual de economia política.** São Paulo: Nova Cultural, 1996.
- HALL, R. E.; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações.** São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 603p. 2003.
- HASHIMOTO, T., STEDINGER, J., LOUCKS, D. P. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resources Research**, 18 (1), pp.14-26. 1982.
- JOHANSSON, R. C; TSUR, Y; ROE, T. L; DOUKKALI, R; DINAR, A. Pricing irrigation water: a review of theory and practice. **Journal of Water Policy**, n. 4. 2002.
- JOST, J. T.; KAY, A. C. **Social justice: History, theory, and research.** In: Handbook of social psychology, 5ed., v.2. Fiske, S. T.; Gilbert, D. and Lindzey, G. (Eds), pp. 1122-1165. Hoboken, NJ: Wiley. 2010.
- LAYRARGUES, P. P. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: Evolução de um conceito?. **Proposta**, v.25, n.71, p.5-10, 1997.

LE QUESNE, T.; PEGRAM, G.; HEYDEN, C. V. D. Allocating scarce water: A primer on water allocation, water rights and water markets. **Water Security Series**, 44p. 2007.

LOPES, A. B.; LIMA, I. R. **Contabilidade e controle de operações com derivativos**. São Paulo: Thompson, 2003.

MARTINEZ JÚNIOR, F. **Aplicação de instrumentos econômicos à gestão ambiental: introdução da cobrança pela utilização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo**. 1997. 253 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MARTINEZ, A. P. Análise de custo-benefício na adoção de políticas públicas e desafios impostos ao seu formulador. **Revista de Direito Administrativo**, v.251, p. 29-58, 2009.

MORAES, F. S. B. A regulação do mercado brasileiro de derivativos. **Revista da SIRJ**, n. 26, p. 247 – 259, 2009.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 51 – 74, 2012.

POMPEU, I. G. Direito e economia, estudo interdisciplinar. In: XXIII Congresso Nacional do CONPEDI/UNINOVE, **Anais...**, São Paulo, 2005.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. Ed. Prentice-Hall Brasil, 6ª ed., 672p. 2005.

ROA-GÁRCIA, M. C. Equity, efficiency and sustainability in water allocation in the Andes: Trade-offs in a full world. **Water Alternatives**, v. 7, n.2, p. 298-319, 2014.

ROBERTSON, A. W. et al. Climate risk management for water in semi-arid regions. **Earth Perspectives**, p. 1-12, 2014.

ROCHA, M. D.; CASTRO, B. J. D. Avaliação de projetos de investimento em sistemas de abastecimento de água: o caso de Anápolis, Goiás. In: VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, **Anais...**, Cuiabá, p. 2-13, 2009.

ROSA, G. F. C. Jeremy Bentham e a constituição do conceito de direito no pensamento jurídico moderno. **Revista Estudos Jurídicos UNESP**, v. 14 n.20, p. 1-34, 2010.

RUS, I.; BIFFL, S.; HALLING, M. **Systematically Combining Process Simulation and Empirical Data in Support of Decision Analysis in Software Development.** In: *Proceeding of the SEKE'02*, pp. 827-833, Itália, 2002.

SALAS, J. D; HALL, W. A.; SMITH, R. A. **Disaggregation and aggregation of water system.** In: *Operation of complex water systems*, Erice, Italy, 399p. 1981.

SKESS, J. R.; LEIVA, A. J. **Analysis of risk instruments in an irrigation sub-sector in México.** Lexington: Global Ag Risk Inc. 72p. 2005.

SOARES, I. M. **Gestão de recursos hídricos e ação coletiva: uma análise da efetivação da cobrança pelo uso da água.** 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência Política, Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.

SOUZA FILHO, F. A. **Alocação de Água Sazonal e Anual: Modelos Matemáticos, Experimentação Comportamental e Justiça Alocativa.** 2005. 439 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005.

UFC/COGERH. **Relatório dos Estudos de regionalização de parâmetros de modelo hidrológico chuva-vazão, para as bacias totais e incrementais dos reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.** Convênio UFC/COGERH/FCPC, Fortaleza, 24p. 2013.

WORLD BANK. **Water Resources Management.** In: *A World Bank Policy Paper.* Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Washington, D.C., 141p. 1993.



Rua Silva Jatahy, Nº 15, Ed. Atlantic Center, 7º Andar  
Meireles - Fortaleza/CE  
CEP.: 60.165-070  
Fone / Fax: (85) 3198.5000  
[ibi@ibiengenharia.com.br](mailto:ibi@ibiengenharia.com.br)