

# O custo da garantia da água bruta: o caso dos rios intermitentes do Ceará.

**José Nilson B. Campos**  
**Vanessa Ribeiro Campos**  
**Francisco Antônio Mota**

**RESUMO:** A hidrologia da região semi-árida do Brasil tem como características marcantes: a intermitência da maioria dos rios; a alta variabilidade dos deflúvios anuais e a intensa evaporação. A intermitência dos rios associada a solos cristalinos de baixa produção de águas subterrâneas torna necessária a construção de reservatórios para prover água com confiabilidade. Assim, as grandes incertezas hidrológicas obrigam aos gestores a manutenção de águas estocadas para enfrentamento das secas. Por sua vez, a intensa evaporação, em estoques de águas mantidos ao longo do tempo, diminui os rendimentos hidrológicos dos reservatórios. Analisa-se no artigo o custo da garantia da água em uma amostra de 40 reservatórios no Ceará. Utilizou-se simulação Monte Carlo para avaliar o volume regularizado em estado de equilíbrio. Foram avaliados os custos da regularização de vazões para as garantias de 99, 98, 95, 90, 85 e 80%. Observou-se que o custo da água bruta torna-se 203% mais caro quando a garantia passa de 80 para 99%. Observou-se também que para altas garantias, como 99%, o custo de regularização de vazões em reservatórios ineficientes chega a 35 vezes o custo em reservatórios eficientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Custo de água, garantia da água, reservatórios.

**ABSTRACT:** The hydrology of Brazilian Semi-Arid has as characteristics: the intermittency of a number of rivers, the high variability of the annual river discharges, and an intense evaporation. The intermittency of the rivers makes surface reservoirs as the main, and sometimes the unique, way to guarantee water supply. The high stream flow variability makes necessary to keep water stored for long time waiting for a drought that, for sure, will come. In turn, the intense evaporation in water stored results in low efficiency of reservoirs. Some authors consider these inevitable losses as inefficiency of the water management, when, in fact, that is a price to pay for the guarantee of the water supply. The Monte Carlo Method was used to estimate the yield at equilibrium state. In the article the cost of water was estimated in a sample of 40 reservoirs in Ceará State. It was observed that for 99% guarantee the cost of water are 203% more expensive than the cost for 80% guarantee. It was also observed that the cost of water yield can be up to 35 times more expensive in inefficient reservoirs than in the most efficient.

**KEY WORDS:** Cost of water, guarantee of water, reservoirs.

## INTRODUÇÃO

O reconhecimento da água como um bem dotado de valor econômico é um dos princípios basilares da política brasileira de recursos hídricos. Desse princípio, inserido na Lei 9433/97, decorre a cobrança pelo uso da água como um instrumento de gerenciamento e elemento de motivação para o uso eficiente. Como cobrar? O que cobrar? Quanto cobrar? São questões ainda presentes nos meios técnicos e políticos que lidam com o problema. No que se refere a quanto cobrar, a avaliação dos custos de regularização da água é elemento técnico indispensável para o estabelecimento político do preço da água bruta.

No Semi-Árido brasileiro, o regime hidrológico da maioria dos cursos de água tem as seguintes caracte-

rísticas: 1) acentuada intermitência intra-anual, com um intervalo de vazão nula com duração de seis a nove meses por ano, por vezes ultrapassando 18 meses quando da ocorrência de secas intensas; 2) - elevada variabilidade interanual dos deflúvios; 3) elevada taxa de evaporação. Em síntese, em condições naturais os rios permanecem secos a maior parte do ano. A construção de reservatórios-barragens constituiu-se na política pública mais praticada para a sobrevivência das populações na região.

A questão da garantia da água é ponto crucial. Para se aumentar a garantia há necessidade de aumentar o tempo de estocagem das águas nos reservatórios. Por sua vez, maior tempo de estocagem significa maior tempo de oportunidade para evaporação e,

em consequência, menores eficiências hidrológicas dos reservatórios. A combinação da variabilidade dos deflúvios anuais com as altas taxas de evaporação está fortemente relacionada com a eficiência dos reservatórios. Esse é o dilema vivido por gestores públicos e sertanejos no gerenciamento das reservas hídricas.

Uma análise na lógica econômica da cobrança da água bruta é apresentada por Asad et. al. (1999), os quais colocam que em um mundo ideal os usuários devem pagar o custo econômico *cheio* da água que é formado por: 1) o custo de uso que corresponde ao custo financeiro marginal de fornecer a água ao usuário e 2) O custo de oportunidade o qual reflete o valor da água no melhor uso alternativo.

Neste artigo estimam-se os custos de regularização de vazões para obtenção da água bruta com garantias de 80,85, 90,95, 98 e 99% em uma amostra de 40 reservatórios do Estado do Ceará. Na composição final dos custos foram considerados os custos de construção e operação dos reservatórios avaliados em uma pesquisa nos arquivos do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). As vazões regularizadas foram estimadas utilizando-se a operação fictícia dos reservatórios aplicando-se as técnicas de simulação Monte Carlo para obtenção das condições em estado de equilíbrio.

## REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura, apresentada a seguir, está dividida em duas partes: na primeira apresenta-se o contexto nacional e internacional no qual a cobrança da água está inserida. Na segunda apresenta-se uma revisão de estudos realizados para o ambiente dos rios intermitentes do Nordeste, particularmente para o Estado do Ceará.

### A Cobrança da água nos contextos Internacional e Nacional

A cobrança da água bruta como instrumento de gestão tem início na França no âmbito da Lei de Águas de 1964 durante a reestruturação da política de águas daquele País. A idéia central era que “a água deve pagar a água”; Isto é, que as despesas com a infra-estrutura de administração do sistema de água, principalmente com despoluição, deveriam ser supridas pela cobrança com o uso da água. Na seqüência da implantação do modelo Francês muito se debateu e pesquisou sobre a cobrança de água bruta no Mundo. Algumas visões são apresentadas a seguir.

Merret (2005) analisou a questão da cobrança da água bruta na Inglaterra sob quatro dimensões: legislação, desafios técnicos, a racionalidade econômica e a política. Ele defendeu que o instrumento regulatório de racionamento (Comando & Controle) fosse abolido e substituído pelo instrumento econômico. Entretanto, ele considera que seja fundamental que essa aplicação, aumentar o valor cobrado para diminuir o consumo, seja restrita aos períodos de secas e que os usuários domésticos não tenham que arcar desnecessariamente com tarifas elevadas por toda a vida. Em síntese, o autor aceita a cobrança como instrumento, porém adverte que a mesma não deve onerar em períodos normais os usuários domésticos. Em outras palavras, que não alimentem a vontade de arrecadar dos gestores públicos.

De acordo com Correia (2005) a cobrança pelo uso da água e pela assimilação de efluentes tem pelo menos dois objetivos distintos, porém complementares: 1) induzir comportamentos adequados dos usuários e 2) alavancar recursos para prover as necessidades em investimentos. Para ele, os economistas tendem a sobrevalorizar os instrumentos econômicos porque enxergam neles uma forma de induzir comportamentos racionais nos agentes econômicos. Nesse contexto, dedicam tratados para avaliar valores e custos que fundamentariam um sistema bem fundamentado e racional. Ele conclui que “Não se conhece até hoje nenhum caso em que os valores cobrados se baseiem em cálculos econômicos apesar destas questões virem a ser teorizadas desde há algumas décadas”.

As múltiplas visões da gestão das águas chegaram ao Brasil na década de 1980, principalmente, nos simpósios da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. A carta de Foz de Iguaçu, emanada do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos em 1989, delineou os princípios e diretrizes que nortearam a formulação das políticas de águas nas esferas estaduais e Federal.

Na cronologia do estabelecimento das leis de água e da cobrança pelo uso, os Estados de São Paulo e Ceará iniciaram o processo. O Estado de São Paulo instituiu o Sistema por meio da Lei Estadual 7.633 de 1991 e o Estado do Ceará com a Lei 1.996 de 1992. Ambos adotaram os princípios da Carta de Foz de Iguaçu, os quais viriam a ser acolhidos também na Lei Nacional. Assim, a Lei 9.433 de 1997 estabeleceu no Fundamento II que a água é um recurso limitado, dotado de valor econômico e que a cobrança tem os seguintes objetivos: 1) reconhecer a água como bem

econômico; 2) dar ao usuário uma indicação do real valor 3) incentivar a racionalização do uso da água e 4) obter recursos financeiros para o financiamento de programas formulados nos planos de recursos hídricos (KETTELHUT et. al., 1999).

Uma abordagem ligando os conceitos de alocação de água e garantia é apresentada por Asfora e Cirilo (2005) para a bacia do rio São Francisco. Os autores apresentam curvas de garantia de atendimento para diferentes pontos da bacia hidrográfica e concluem que a metodologia apresentada fornece subsídios para uma melhor avaliação de custos e benefícios decorrentes das transferências de águas entre usos que requeiram diferentes garantias.

### A Cobrança da água no contexto Estadual

Pesquisas em cobrança e avaliação de custos de água bruta são abundantes na literatura. O Estado do Ceará, como pioneiro no Brasil na cobrança de água bruta, promoveu muitos estudos sobre o tema que formam uma boa fonte de pesquisa para cobrança da água em rios intermitentes. Os estudos precursores datam das décadas de 1980 e 1990 e seguem até os anos recentes. Porém, a questão do custo da garantia, particularmente para os rios intermitentes do Semi-Árido, é um tema ainda a requerer muitas pesquisas.

Campos e Vieira (1993) levantam a questão dos limites dos volumes outorgáveis e a relação com a garantia. Para os autores, na falta de critérios de definição da garantia com que se opera um reservatório é muito tentador aumentar do volume de água outorgado em detrimento da garantia do fornecimento.

Mota (1995) fez um estudo pioneiro para avaliação do custo de regularização da água bruta em reservatórios do Ceará. Foi utilizada uma amostra de 40 reservatórios de média e grande capacidade e avaliada a vazão regularizada com 90% de garantia anual. O autor escolheu essa garantia por ser a mesma inserida na Lei Estadual que estabelece que o volume máximo outorgável em uma bacia hidrográfica deve ser 90% do volume regularizado com 90% de garantia anual. Para avaliar os custos da regularização Mota considerou os custos de projeto das barragens, de desapropriação das terras alagadas, de construção e de operação do reservatório.

Lanna (1995) fez um estudo específico para a bacia do rio Curu no Estado do Ceará, no qual utilizou o conceito de custo incremental médio da oferta de água bruta. Para considerar as diferenças entre usos e usuários, o autor elaborou um estudo de capacidade

de pagamento e propôs um esquema de subsídios cruzados para nivelar desigualdades e oportunidades. A estrutura de preço proposta por Lanna admitiu o custo da água em US \$ 30,00/1.000 m<sup>3</sup>. No cálculo desse custo, Lanna avaliou o fator de recuperação de capital com uma taxa de desconto de 8% a.a. e um horizonte de tempo de 50 anos. As vazões regularizadas foram obtidas a partir do Plano Estadual de Recursos Hídricos (SRH, 1992) as quais se referem a uma garantia mensal de 90%.

Araújo (1996) fez uma avaliação de custos da água e utilizou duas amostras: uma das bacias litorâneas utilizadas para abastecer a cidade de Fortaleza e outra das bacias interioranas. O autor utilizou o conceito de volume regularizado com 90 % de garantia anual. Para as bacias litorâneas o autor obteve valores entre 13 e 19 dólares por mil metros cúbicos regularizados; enquanto para as bacias interioranas encontrou valores entre cinco e 11 dólares por mil metros cúbicos. O autor avaliou os custos de operação, de bombeamento interno do sistema, de manutenção e da administração do sistema de suprimento de água.

Observe-se a diferença de conceitos entre Mota e Araújo. O primeiro avaliou os custos envolvidos com a regularização de vazões enquanto o segundo analisou custos com o suprimento de água, inclusive os custos de operação de reservatórios, porém sem considerar a recuperação dos custos com a construção das barragens.

Fontenele (1999) propôs uma metodologia para a cobrança da água no Estado do Ceará tomando como base a avaliação do custo marginal social de longo prazo o qual segundo o autor é o considerado mais adequado por Winpenny (1994), Duborg (1995) e Herrington (1997).

Medeiros (2000) desenvolveu uma pesquisa em âmbito nacional da outorga e cobrança pelo uso da água bruta. O trabalho dá uma resposta estruturada às questões que povoaram os debates em simpósios da Associação Brasileira de Recursos Hídricos após a década de 1980. De acordo com a autora são quatro os usos de água possíveis de cobrança: 1) Água bruta disponível no ambiente como fator de produção ou bem de consumo final; 2) Uso de serviços de captação, regularização, transporte, tratamento e distribuição de água; 3) Usos de coleta, transporte, tratamento e destinação final de esgotos; e 4) Uso da água disponível no ambiente como receptor de resíduos. A cobrança no Estado do Ceará insere-se no item 2, basicamente na regularização das vazões dos rios intermitentes.

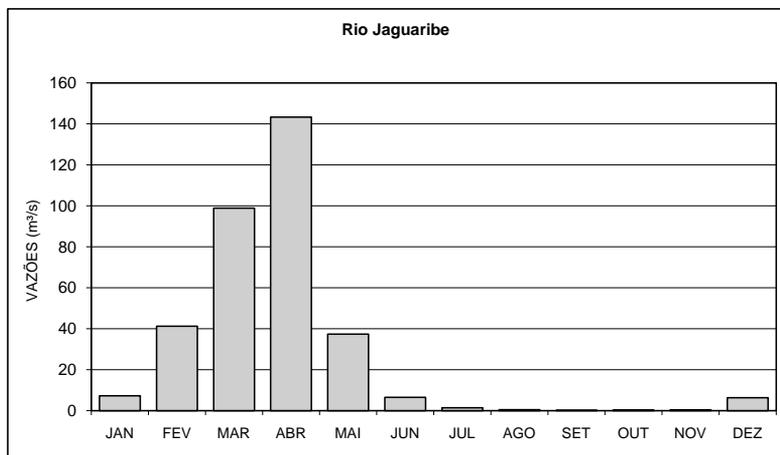
Thomas (2002) apresentou uma proposta para cobrança de água baseada em escassez, na qual utiliza o conceito de escassez de outorga, definido como a relação entre o volume já outorgado em uma bacia hidrográfica e o volume total outorgável. O autor buscou introduzir um conceito que permitisse utilizar uma única grandeza, a escassez para outorga, para caracterizar qualquer uso da água em qualquer local da bacia para possibilitar uma base de cálculo única e um preço unitário único para todos os usos. Como estudo de caso o autor aplicou a metodologia à bacia do Paraíba do Sul.

Campos (2006)<sup>1</sup> analisou a cobrança da água bruta no contexto das ciências do Direito. Segundo a autora, a cobrança da água é um tributo porque estão presentes, em sua caracterização, todos os elementos do conceito legal. A autora considera a cobrança na

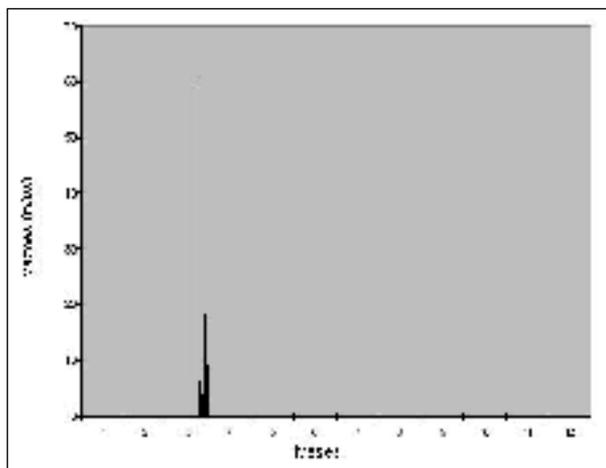
Lei de Águas como uma intervenção no domínio econômico e aponta os critérios materiais, temporais e pessoais da hipótese de incidência da mesma.

A questão das relações entre as vazões regularizadas com diferentes garantias, sem análise dos custos envolvidos, foi abordada por Barcelos et al (2006). Os autores estudaram 32 reservatórios no Estado do Ceará e determinaram as relações entre os volumes anuais regularizados, em estado de equilíbrio, para garantias anuais e mensais de 80, 85, 90 e 95%. Os autores obtiveram coeficientes de correlação variando de 0,998 a 0,999 que demonstram a forte correlação entre vazões regularizadas em estado de equilíbrio para garantias diferentes. Avaliamos que esse fato decorre da aplicação do conceito de estado de equilíbrio, no qual as incertezas decorrentes das condições iniciais do reservatório são retiradas.

**FIGURA 1 – Hidrograma de vazões médias mensais do rio Jaguaribe em Iguatu, no Estado do Ceará.**



**FIGURA 2 – Hidrograma de vazões diárias no rio Jaguaribe, em Iguatu no Estado do Ceará, no ano de 1958.**



## DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Semi-Árido brasileiro apresenta um clima caracterizado por uma grande variabilidade espacial e temporal das precipitações pluviais. A precipitação varia de cerca de 400 mm/ano a 800 mm/ano com uma média em torno de 650 mm. Aproximadamente 80% das chuvas anuais concentram-se no quadrimestre fevereiro-maio. A evaporação na região é extremamente elevada podendo atingir, em alguns locais, valores superiores a 3.000mm/ano, medidos pelo evaporímetro de Piche.

Nesse contexto, a maioria dos rios é intermitente, com períodos de vazões nulas que duram cerca de oito meses e podem ultrapassar 18 meses quando da ocorrência de secas mais intensas. Uma grande parte da região assenta-se sobre solos cristalinos, de baixo potencial de águas subterrâneas, fato agravado pela baixa qualidade das águas dos poços.

O hidrograma anual médio do rio Jaguaribe, o maior rio do Ceará que drena cerca da metade do território do Estado, caracteriza bem o regime hidrológico local: nos meses de julho a novembro, quase que todos os anos, os rios permanecem secos (Figura 1). Observe-se no hidrograma de vazões diárias no Jaguaribe em Iguatu durante o ano de 1958 (Figura 2) que apenas dois dias daquele ano escoou alguma vazão no rio. Assim, de julho de 1957 a janeiro de 1959, o rio Jaguaribe permaneceu basicamente seco por 18 meses. Em outras palavras, em condições naturais o Estado do Ceará não tem água confiável para as suas populações e atividades econômicas.

A construção de grandes e pequenos reservatórios constituiu-se na política pública adotada pelos governos para propiciar fornecimento de água confiável para as populações. O Estado do Ceará, com mais de 90% do seu território inserido no Semi-Árido, caracteriza-se por grande dependência de reservatórios superficiais como fonte de água para abastecimento humano e atividades de irrigação e industriais.

## BREVE HISTÓRICO DA COBRANÇA NO ESTADO DO CEARÁ

A formulação do modelo institucional do Estado do Ceará, baseada nos novos paradigmas da política mundial de águas, tem início com a criação da Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH-Ce) no ano de 1987. Uma das primeiras ações da SRH foi a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) concluído em 1990 e publicado

em 1992. O plano foi desenvolvido em três blocos: 1) Os estudos hidrológicos do vale do Jaguaribe o qual cobre aproximadamente metade do território cearense; 2) Estudos hidrológicos das demais bacias hidrográficas do Estado e 3) Formulação do novo modelo institucional.

O modelo institucional proposto acolheu os princípios mundiais de gestão de águas como: A água como bem econômico; a gestão descentralizada; a participação pública nas decisões e a outorga, a cobrança e o enquadramento das fontes de água. O modelo também apontou a necessidade de um órgão gestor, não usuário de água, para exercer com imparcialidade, as funções inerentes à gestão das águas.

Na implementação do PERH as primeiras ações de impacto foram a elaboração e promulgação da Lei de Águas do Ceará em 1992 e a criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), no ano de 1993, para exercer as funções de órgão gestor proposta no PERH. A cobrança foi instituída por meio do Decreto nº 24.264 de 12 de novembro de 1996 que regulamentou a Lei 1.996 de 24 de julho de 1992. O Decreto atribuiu à COGERH a competência para praticar a cobrança. Atualmente, os recursos financeiros oriundos da cobrança são suficientes para a administração da COGERH e para o funcionamento dos comitês de bacias.

A prática dos instrumentos de Gestão ficaram divididas entre a SRH-Ce e a COGERH. À primeira, com o poder de polícia, cabem a organização do sistema de outorga e os atos de competência de instituições de Estado. À segunda cabem as ações gerenciais das águas estaduais e a organização do sistema de cobrança de água bruta. Na organização do sistema de cobrança de águas brutas a COGERH realizou vários estudos e participou de vários contextos políticos.

O início da cobrança da água bruta no Estado do Ceará se dá por meio de um acordo com a Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE). A CAGECE, até o ano de 1996, administrava os reservatórios que eram usados como fonte para o abastecimento de água da cidade de Fortaleza (sistema Pacoti, Riachão e Gavião e canal do Trabalhador que traz águas do vale do Jaguaribe). Houve negociação e acordo político entre as duas companhias. A COGERH passou a administrar os reservatórios e cobrar pela água bruta. A CAGECE economizou os gastos com a administração dos açudes e pôde pagar à COGERH a água bruta sem onerar os usuários de

água do sistema público. Assim, a COGERH qual começou a ter fonte própria de renda e iniciou a melhorar os serviços de administração das águas brutas. A cobrança estendeu-se rapidamente para outras grandes cidades do Estado. Os recursos financeiros arrecadados são aplicados na administração dos serviços da administração do fornecimento de água bruta, especialmente dos reservatórios e na organização dos usuários nas bacias hidrográficas.

Ainda no âmbito da mesma negociação, a CAGECE transferiu para a COGERH a administração dos serviços de abastecimento de água bruta do distrito industrial de Maracanaú. As indústrias recebiam água bruta de uma adutora com captação no açude Acarape do Meio, no município de Acarape. Nesse caso, os serviços cobrados referem-se à regularização de vazões, adução das águas até as indústrias e à manutenção da infra-estrutura hídrica.

## METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar as relações entre custo de regularização de vazões e a garantia do suprimento de água nos açudes do Estado do Ceará, foram levantados os dados referentes aos trabalhos de construção e manutenção de 40 açudes. Formada a amostra, em função das disponibilidades dos registros históricos dos serviços de construção, foram avaliados os volumes regularizados em estado de equilíbrio utilizando-se a metodologia proposta por Campos (2006)<sup>2</sup>. O detalhamento da metodologia é apresentado nas seções seguintes.

### Os custos dos reservatórios

Para formar a amostra foi feita uma pesquisa nos arquivos do DNOCS onde foram selecionados 40 reservatórios no Estado do Ceará que dispunham dos dados relativos às seguintes etapas de serviço: 1) estudos e projetos; 2) construção da barragem; 3) operação e manutenção do sistema reservatório/barragem; 4) desapropriação das terras alagadas. Os custos foram anualizados considerando-se uma taxa de desconto de 8% ao ano.

Convém salientar que os custos estimados referem-se ao ato de regularizar uma unidade de volume de água bruta com uma determinada garantia, o que é diferente da ação de fornecer uma unidade de volume de água a um dado usuário.

### O conceito de garantia

A garantia de atendimento da oferta de água nos estudos dos Planos de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH, 1992) foi avaliada segundo três diferentes abordagens: o conceito de garantia mensal, o conceito de garantia anual e o conceito de garantia com volume de alerta.

A garantia de suprimento de água em escala anual é definida pela Equação 1, a qual tem a forma:

$$G_A = \frac{n_A}{N_A} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo  $G_A$  a garantia anual em percentagem;  $n_A$  o número de anos nos quais não houve falha no suprimento de água e  $N_A$  o número total de anos simulados.

A garantia de suprimento de água em escala mensal é definida pela Equação:

$$G_M = \frac{n_m}{N_M} \cdot 100 \quad (2)$$

Sendo  $G_M$  a garantia mensal em percentagem;  $n_m$  o número de meses nos quais não houve falha no suprimento de água e  $N_M$  o número total de meses simulados.

O conceito de garantia com volume de alerta refere-se a adotar um volume de segurança a partir do qual somente as retiradas para abastecimento humano são permitidas. Nesta pesquisa avaliaram-se os custos da água relativos a garantias anuais.

### Equação do regime do reservatório

No estudo de reservatórios a equação de regime do sistema (Equação 3) tem a seguinte forma:

$$\emptyset(K, G, M) = 0 \quad [3]$$

onde  $K$  denota a capacidade do reservatório,  $G$  a garantia no fornecimento de água e  $M$  o volume anual regularizado. Para valores de  $K$  crescentes, com  $G$  constante, o valor de  $M$  cresce assintoticamente para um valor  $M^*$ , o qual representa o valor máximo que pode ser regularizado naquele local do rio com a garantia  $G$ .

Para  $K$  constante, o valor de  $M$  cresce quando o valor de  $G$  decresce. A taxa de crescimento, em valor absoluto  $|dM/dG|$ , é mais suave para maiores valores da evaporação no local. Quanto maior a garantia que

se deseja dar ao fornecimento de água, maior o tempo de permanência da água no reservatório e, portanto maior o tempo de oportunidade para a evaporação.

### Determinação do volume regularizado pelo reservatório

A determinação do volume regularizado foi obtida através da simulação dos reservatórios aplicando-se a formulação paramétrica citada. O balanço hídrico pode ser representado pela Equação 4, como se segue:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - M_t - \left(\frac{1}{2}\right) \times (A_{t+1} + A_t) \times E_t \quad (4)$$

onde  $Z_{t+1}$  e  $Z_t$  – o volume do reservatório no início dos anos (t+1) e t;  $I_t$  – volumes afluentes ao reservatório durante o t-ésimo ano;  $M_t$  – retirada do reservatório durante o t-ésimo ano;  $A_{t+1}$  e  $A_t$  – áreas do lago no início dos anos (t+1) e t;  $E_t$  – lâmina de evaporação no período t.

A Equação é válida para valores de  $Z_{t+1}$  entre K (capacidade do reservatório) e 0 (reservatório vazio). Se  $Z_{t+1} > K$  adota-se  $Z_{t+1} = K$ ; se  $Z_{t+1} < 0$ , adota-se  $Z_{t+1} = 0$ .

A morfologia do lago é descrita através das equações 5a e 5b:

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad (5a)$$

$$A(h) = 3\alpha h^2 \quad (5b)$$

$Z(h)$  denota o volume armazenado com o lago com uma profundidade  $h$ ,  $A(h)$  a área do lago a uma profundidade  $h$  e  $\alpha$  o fator de forma do reservatório. O valor de  $\alpha$  pode ser calculado pela divisão da capacidade pela profundidade máxima da água. Chega-se a

$$A = 3\alpha^{1/3} \cdot Z^{2/3} \quad (6)$$

Substituindo-se na Equação 4 o valor de  $A$  obtém-se a Equação 7:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - M_t - 3\alpha^{1/3} \left( \frac{Z_{t+1}^{2/3} + Z_t^{2/3}}{2} \right) E_t \quad (7)$$

Dividindo-se todos os termos da Equação 7 pelo volume afluente médio anual ( $\mu$ ) chega-se à forma dimensional da equação do balanço hídrico do método do Diagrama Triangular de Regularização.

Os valores de  $M_t$  e  $E_t$  são adotados como constantes ao longo dos anos e perdem os subscritos t.

$$z_{t+1} = z_t + i_t - f_M - f_E \left( \frac{z_{t+1}^{2/3} + z_t^{2/3}}{2} \right) \quad (8)$$

O valor de  $f_E$ , denominado fator adimensional de evaporação, é estimado pela Equação 9.

$$f_E = \frac{3\alpha^{1/3} \cdot E}{\mu^{1/3}} \quad (9a)$$

$$f_K = \frac{K}{\mu} \quad (9b)$$

$$f_M = \frac{M}{\mu} \quad (9c)$$

Onde  $f_E$ ,  $f_K$  e  $f_M$  representam, respectivamente, o fator adimensional de evaporação, o fator adimensional de capacidade e o fator adimensional de retirada (Campos 2006)<sup>2</sup>.

Assim, a equação do balanço hídrico do reservatório é transformada em uma representação paramétrica da forma:

$$f_M = \Phi(CV, G, f_K, f_E) \quad (10)$$

onde CV representa o coeficiente de variação dos deflúvios anuais, G a garantia do reservatório (adotada como constante e igual a 90%) neste estudo,  $f_K$  é capacidade adimensional,  $f_E$  é o fator adimensional de evaporação e  $f_M$  é a retirada adimensional. Essa é a formulação adimensional do Método do Diagrama Triangular de Regularização

### O regime hidrológico

Os dados dos regimes hidrológicos dos reservatórios foram obtidos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (SRH, CEARÁ, 1992). Os regimes de escoamento foram admitidos como pertencentes a uma população gama com dois parâmetros, estimados pelo método dos momentos a partir do volume anual médio escoado e ao coeficiente de variação dos deflúvios anuais. Esses valores, obtidos do Plano Estadual de Recursos Hídricos, permitiram estimar os fatores dimensionais da equação do balanço hídrico, quais sejam: fator adimensional de capacidade, fator adimensional de evaporação e coeficiente de variação dos deflúvios anuais.

Utilizou-se a técnica de simulação Monte Carlo, a partir de séries sintéticas de 5000 anos de extensão,

com vistas a obter a vazão regularizada em estado de equilíbrio, cujos resultados são independentes da condição inicial do reservatório.

Convém alertar as diferenças entre o horizonte de simulação com horizonte de planejamento. A vazão regularizada, quando se trabalha com séries curtas, é uma função de variáveis como o volume inicial, o horizonte de simulação, além dos parâmetros adimensionais.

### RESULTADOS

Aplicando-se os modelos definidos anteriormente aos dados dos quarenta reservatórios estudou-se a relação entre o custo de regularização de vazões e a garantia. Os valores obtidos de todos os açudes

estão apresentados em anexo (tabelas A1 e A2). Um estudo estatístico foi desenvolvido com uma amostra de 40 reservatórios do Estado do Ceará, os quais estão apresentados na Tabela 1. A Figura 3 apresenta o gráfico de Box&Wisher no qual é possível ver o crescimento dos custos com a garantia e também do erro padrão e desvio padrão.

O custo médio de regularização de vazões varia de 159,62 R\$/1000m<sup>3</sup>, para 80% de garantia a 484,71 R\$/1000m<sup>3</sup> para 99% de garantia. Esse expressivo aumento, de 203,5%, explica-se pela necessidade de manter água estocada por longo tempo para altas garantias, o que resulta no aumento do tempo de oportunidade para a evaporação, a qual é muito intensa no Estado do Ceará.

**FIGURA 3.** Custos médios de regularização de vazões em função das garantias do fornecimento de água para 40 reservatórios no Estado do Ceará. .

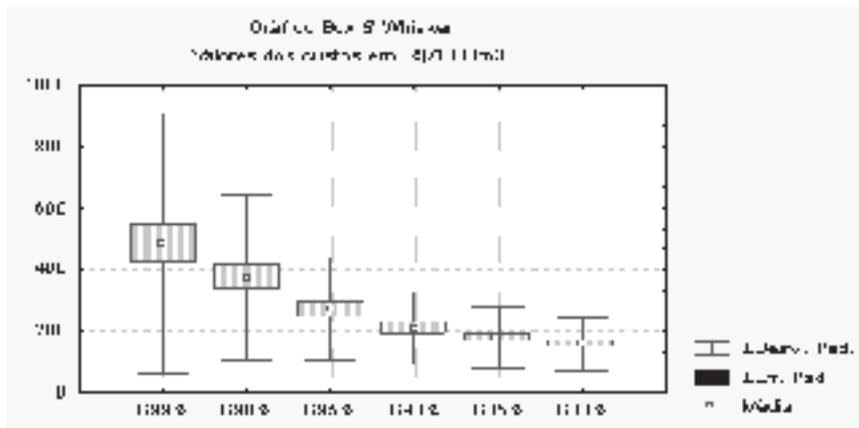


TABELA 1

Estatísticas dos custos de volumes regularizados em 40 reservatórios do Estado do Ceará. Valores em R\$/1000m<sup>3</sup>

GARANTIA	Media	Desvio	Máximo	Mínimo	Cv
99	487,85	421,39	1748,76	50,47	0,86
98	378,20	275,46	1166,73	46,44	0,73
95	273,89	165,73	722,89	40,76	0,61
90	211,77	115,42	514,85	36,10	0,55
85	181,04	97,35	460,86	32,91	0,54
80	161,09	86,94	426,01	30,45	0,54

Observou-se que para o reservatório Saboya a vazão regularizada com garantias de 98% e 99% é nula, o que significa uma baixa eficiência hidrológica. Veja na Tabela A1 que esse reservatório é o de maior fator adimensional de evaporação ( $f_E = 0,73$ ). Assim, a combinação de características como evaporação intensa, baixo deflúvio médio e bacia hidráulica aberta conduzem a reservatórios ineficientes que não dão sustentação a atividades que requeiram alta confiabilidade.

Para 99% de garantia o maior custo foi de 1.748,76 R\$/1000m<sup>3</sup>, correspondente ao reservatório Morgado, enquanto que o menor foi de 50,47 R\$/1000m<sup>3</sup>, para o reservatório Pedras Brancas, ou seja, cerca 35 vezes menor. Essa grande diferença é explicada pela junção de características hidrológicas, geotécnicas e geomorfológicas desfavoráveis. Dentro de uma política racional de produção de água, onde se inicia pelos reservatórios de maiores eficiências econômicas, essas diferenças entre eficiências são indicadores dos custos crescentes de obtenção de água bruta. Também, pode-se concluir que o custo incremental de obtenção de água bruta através da construção de reservatórios pode se tornar extremamente elevado, justificando que se pense em busca de fontes externas às bacias hidrográficas locais.

Note-se que as relações entre garantias de 99% e 80% no reservatório mais ineficiente, Açude Morgado, é de 5,63(1748,76 / 310,51) enquanto que no reservatório mais eficiente, Pedras Brancas, a relação é de 1,66(50,47/30,45). Isso nos aconselha a estabelecer uma política de fornecimento de água onde as atividades que requerem alta confiabilidade sejam atribuídas aos reservatórios mais eficientes com baixos valores do fator adimensional de evaporação.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cobrança pelo uso das águas brutas no Estado do Ceará, nos termos da nova política de águas, iniciou em 1996 com o Decreto 24.254/96. A definição dos valores foram decorrentes de negociações políticas entre o Órgão Gestor e os usuários (CAGECE e setor industrial).

O custo de regularização de vazões em rios intermitentes do Estado do Ceará cresce rapidamente com o aumento da garantia do fornecimento de água. Essa característica decorre de condições hidrológicas e morfológicas desfavoráveis, alto fator de evaporação, associadas à necessidade de aumentar o tempo de permanência das águas nos reservatórios para os períodos secos. O valor médio dos custos cresce cerca de 200% quando a garantia passa de 80 para 99%.

A política de açudagem praticada no Nordeste resultou em reservatórios ineficientes e eficientes, com valores díspares dos custos de água bruta. Nos casos de elevada garantia (99%) os custos de obtenção de água bruta em reservatórios ineficientes podem ser 35 vezes os custos em reservatórios eficientes. É recomendável que se planeje a operação dos sistemas hídricos atribuindo aos reservatórios eficientes a função de fornecer água às atividades que requerem maiores garantias. Esse fato pode tornar a busca de fontes externas de água, como transferência entre bacias ou dessalinização, alternativas de maior efetividade de custo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo apoio ao Projeto Integração e Avaliação Econômica da Cobrança, Outorga e Enquadramento, convênio 01.04.948.00. Especiais agradecimentos aos revisores pelas excelentes sugestões e criteriosa análise que procederam nesse artigo.

**TABELA A1**  
**Valores dos adimensionais  $f_K$  (fator adimensional de capacidade),  $f_E$  (fator adimensional de evaporação)**  
**do DTR dos reservatórios, dos deflúvios médios anuais e custos anualizados de 40 reservatórios**  
**no Estado do Ceará.**  
**(valores do outubro de 2006).**

	Reservatório	$f_K$	$f_E$	$\mu$ ( $hm^3$ )	K ( $hm^3$ )	Custo anual (R\$)
1	Morgado	1,34	0,57	0,94	1,26	80.443
2	Japiassu	1,65	0,48	0,88	1,45	60.652
3	Casa Nova	1,28	0,27	1,28	1,64	97.145
4	Francisco Alves	0,37	0,28	4,52	1,67	94.619
5	Ipueira Funda	0,88	0,38	1,93	1,70	136.205
6	Soares	0,50	0,47	4,20	2,10	68.671
7	Joacy	1,13	0,28	2,52	2,85	110.656
8	Iraúna	1,47	0,26	2,06	3,03	144.298
9	Canindé	0,28	0,23	13,11	3,67	185.674
10	Desterro	0,80	0,37	4,97	3,98	166.058
11	Juvenal	2,70	0,40	1,51	4,08	134.454
12	Reparo	2,52	0,37	1,74	4,38	168.471
13	Encanto II	1,92	0,34	2,37	4,55	135.954
14	Premuoca	1,20	0,38	4,35	5,22	366.952
15	Castro Filho	3,72	0,41	1,51	5,62	181.356
16	Campo Barro	4,18	0,39	1,35	5,64	100.985
17	Potiretama	0,89	0,40	7,11	6,33	120.892
18	Flávio Ribeiro	3,73	0,22	1,71	6,38	247.744
19	Cairu	3,90	0,39	1,79	6,98	65.854
20	Mucuí	1,20	0,45	5,86	7,03	188.231
21	Puiu	1,78	0,34	4,78	8,51	288.672
22	Saboya	2,16	0,73	4,77	10,30	133.402
23	Saldanha	3,85	0,52	2,97	11,43	408.887
24	Canafistula	1,44	0,47	9,12	13,13	329.104
25	Trici	0,67	0,43	24,50	16,42	1.340.565
26	Trapiá	2,01	0,33	9,04	18,17	406.018
27	Arritiba	1,64	0,30	11,92	19,55	458.927
28	Mundaú	2,85	0,15	7,47	21,29	2.313.050
29	Carão	0,77	0,41	30,06	23,15	1.311.428
30	Umari	3,40	0,23	8,46	28,76	1.259.371
31	São José	2,53	0,23	11,53	29,17	290.848
32	Favelas	1,01	0,52	29,83	30,13	2.168.722
33	Realejo	1,31	0,46	24,09	31,56	1.782.054
34	Rch. dos Carneiros	0,68	0,10	54,86	37,30	2.356.437
35	Tejussuoca	1,21	0,13	33,58	40,63	1.442.331
36	Patu	1,15	0,10	62,37	71,73	3.810.708
37	Cipoada	3,13	0,43	27,44	85,89	1.153.661
38	Atalho	0,56	0,10	192,50	107,80	10.468.383
39	Edson Queiroz	1,66	0,13	149,69	248,49	14.734.244
40	Pedras Brancas	3,47	0,16	125,09	434,06	2.867.413

Fonte: MOTA (1995). Custos atualizados para outubro de 2006 pelos autores.

**TABELA A2**  
**Custos de regularização de vazões em 40 reservatórios no Estado do Ceará para garantias de 99 a 80%-**  
**Valores em reais por 1000m<sup>3</sup>**

	99%	98%	95%	90%	85%	80%
Saboya	1748,76*	1166,73*	550,11	251,48	170,72	132,54
Morgado	1748,76	1039,74	699,5	457,91	353,89	310,51
Saldanha	1639,65	1166,73	722,89	514,85	420,68	358,99
Favelas	1226,26	859,61	564,91	383,39	325,43	290,36
Trici	813,9	579,81	388,72	329,35	284,52	246,99
Realejo	734,22	561,15	408,1	305,15	250,64	220,64
Mundaú	713,46	667,18	576,65	506,28	460,86	426,01
Ipueira Funda	660,39	530,67	390,24	303,28	272,18	244,53
Japiassu	652,58	539,7	350,1	268,44	225,27	192,40
Castro Filho	647,7	540,46	405,44	320,98	277,05	244,15
Premuoca	624,98	508,98	394,26	305,65	255	233,23
Carão	518,24	387,72	275,51	219,1	195,24	173,05
Reparo	503,73	427,41	334,18	265,5	230,78	195,56
Juvenal	470,85	404,98	304,23	243,71	207,89	185,9
Umari	403,83	364,04	311,12	268,24	241,56	234,01
Soares	399,25	251,24	176,17	139,67	112,61	93,61
Casa Nova	371,85	325,02	265,63	216,48	189,58	171,23
Flavio Ribeiro	370,5	333,99	287,41	251,9	227,29	208,45
Campo Barro	368,17	308,82	234,85	188,68	163,37	145,71
Canafistula	358,92	272,08	194,87	145,46	120,35	103,1
Mucuí	321,76	246,18	181,68	133,97	109,88	99,68
Desterro	321,4	256,41	190,03	150,99	135,83	99,03
Atalho	320,79	279,45	233,52	211,04	191,55	173,69
Iraúna	312,56	272,52	221,69	186,74	160,71	148,19
Puiu	300,7	263,23	205,15	168,97	145,81	130,33
Edson Queiroz	290,18	267,46	227,46	197,96	177,82	163,94
Encanto II	273,12	238,86	188,14	153,12	133,43	120,4
Fco Alves	270,34	218,66	183,55	149,71	125,72	105,81
Cipoada	253,21	208,8	153,42	120,41	102,43	90,41
Joacy	240,56	208,78	167,66	136,61	117,72	110,66
Rch dos Carneiros	218,85	193,84	159,11	143,12	131,91	120,6
Patu	212,91	190,35	165,44	142,47	126,49	120,4
Trapia	203,42	177,95	142,18	116,03	101,59	105,81
Canindé	195,54	172,71	145,27	114,99	91,08	75,17
Cairu	177,98	150,93	115,53	92,82	80,51	72,37
Arribita	175,16	156,71	124,2	104,07	90,06	80,8
Potiretama	168,43	135,53	98,93	74,59	66,87	60,45
Tejussuoca	154,51	138,54	118,91	102,34	90,19	84,15
Sao José	75,97	68,71	58,16	49,25	44,04	40,4
Pedras Brancas	50,47	46,44	40,76	36,1	32,91	30,45

\* Valores admitidos iguais aos máximos da coluna- (açude não regulariza com essa garantia)

## Referências

- ARAÚJO, J.C. 1996. *Estudos de Tarifa d'água e hidrológicos*. Fortaleza: CNPq/COGERH, Relatório Técnico.
- ASAD, M. AZEVEDO, L.G., KARIN, E.K. E SIMPSON, L. 1999. "Management of Water Resources: bulk water pricing in Brazil." World Bank Technical Paper 432. World Bank. Washington D.C.
- ASFORA, M. e CIRILO, J.A. (2005) "Reservatórios de Regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias" **Revista de Gestão de Águas da América Latina**.vol. 2 n. 2, pp.27-38
- BARCELOS, D.G., STUDART, T.M.C., CAMPOS, J.N.B. e NASCIMENTO, L.S.V. 2006. *Relações entre vazões regularizadas com diferentes garantias*. IN: CAMPOS, J.N.B. e STUDART, T.M.C. (Editores). Hidrologia de reservatório: A construção de uma teoria. ASTEF, Fortaleza, Ce.
- CAMPOS, J.N.B. 2006<sup>2</sup> "Dimensionamento de reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização". 2 ed. Expressão Gráfica. Fortaleza-Ce 112p.
- CAMPOS, J. N. B.; VIEIRA, V.P.P.B. 1993. "Gerenciamento dos recursos hídricos: a problemática do Nordeste". Revista de Administração Pública. V. 27. nº. 2 abr/jun 1993. pp. 83-91 Fundação Getúlio Vargas: Rio de Janeiro.
- CAMPOS, L.R. 2006<sup>1</sup>. "Cobrança de Água: uma nova fiscalidade. Os (des)caminhos da tributação ambiental". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas.
- CORREIA, F.N. 2005 "Algumas reflexões sobre os mecanismos de gestão de recursos hídricos e a experiência da União Européia" **Revista de Gestão de Águas da América Latina**. vol. 2 n. 2, pp. 5-16
- DUBORG, W.R.1995 "Pricing for Sustainable Water Abstraction in England and Wales: a comparison of theory and practice." Norwich, CSERGE Working Paper WM 95-03.
- FONTELE, E.S. 1999. "Proposta metodológica para implantação de um sistema de cobrança pelo uso dos recursos hídricos do Estado do Ceará". Revista Econômica do Nordeste. V. 30. n. 3. jul-set. 1999. pp. 296-315 Banco do Nordeste do Brasil: Fortaleza, Ce.
- HERRINGTON, P. 1997. "Pricing water properly". In: O RIORDAN, T. (Ed. ). **Ecotaxation**. London; Earthscan Publications, p. 263-268.
- KETTELHUT, J.T.S., RODRIGUEZ, F.A. GARRIDO, R.J., PAIVAA, F. e CORDEIRO NETTO, O. e RIZO, H. 1999 Aspectos legais e gerenciais. In: "O estado das Águas no Brasil" Agência nacional de Energia Elétrica ANEEL, Brasília DF
- LANNA, A.E.L. 1995. "Cobrança pelo uso da água na bacia do rio Curu-Ce". COGERH – Companhia de Gestão de Águas do Ceará. Relatório Técnico. Fortaleza, Ce.
- MEDEIROS, M.M.R. 2000. "Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso". Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- MERRET, S. 2005. "The Price of Water". IWA Publishing London 2005
- MOTA, F. A. 1995. "Análise dos custos do volume regularizado e da eficiência hídrica de reservatórios do Ceará". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ce.
- SRH- CE SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ. 1992. "Plano Estadual de Recursos Hídricos". Imprensa Oficial do Ceará. Fortaleza, Ce.
- WINPENNY, J. (1994). "Managing the water as an economic resource." London: Routledge, 1994.
- THOMAS, P.T *Proposta de uma metodologia para cobrança de água considerando a escassez*. Diss. De Mestrado UFRJ Rio de Janeiro, RJ, 2002. 139 f..

**José Nilson B. Campos** Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UFC. PhD em Recursos Hídricos. Professor Visitante da UFC. Presidente do Conselho Científico da Fundação cearense de Meteorologia. E-mail: nilson@ufc.br

**Vanessa Ribeiro Campos** Administradora da CAGECE, Mestre em Engenharia de Produção. E-mail: nessarc@fortalnet.com.br

**Francisco Antônio Mota** Engenheiro Civil do Ministério da Integração Nacional, Mestre em Recursos Hídricos.