

# OUTORGA E COBRANÇA DE RECURSOS HÍDRICOS<sup>1</sup>

## Jerson Kelman<sup>2</sup>

### INTRODUÇÃO

A lei 9433/97 definiu cinco instrumentos essenciais à boa gestão dos recursos hídricos:

- Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos
- Cobrança pelo Uso da Água
- Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso
- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
- Plano Nacional de Recursos Hídricos

Este trabalho examina alternativas de uso conjugado dos dois primeiros instrumentos, sob inspiração de um de seus artigos:

*Art. 3º – Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:*

*I – a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade*

Como "simplicidade de procedimentos" é um dos requisitos fundamentais para o sucesso de implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o leitor perceberá que o trabalho se desenvolve num marco conceitual propositadamente mais complexo do que será adotado na vida real. Pretende-se simplesmente criar uma referência teórica contra a qual possam ser comparadas diferentes alternativas de cunho mais pragmático.

### ASPECTOS LEGAIS

A doutrina do "direito ribeirinho" foi formalizada no código Justiniano, publicado no ano de 534. Estabelecia que água corrente não poderia ser apropriada privadamente, assim como o ar, os mares e a vida selvagem,. A doutrina, incluída no Código Civil Francês de 1804, e adotada na Inglaterra em 1820, baseia-se no conceito de que o curso de água seja um bem comum dos proprietários de terras banhadas pelo curso de água. Qualquer um destes proprietários tem direito de fazer uso "razoável" da água, desde que cause mínimo dano aos demais usuários localizados a jusante. Antes de 1820 prevalecia na Inglaterra uma doutrina baseada no "direito por antiguidade", que atribui prioridade de uso a quem utiliza água há mais tempo. Nos EUA a doutrina do direito ribeirinho tem sido adotada nos estados do leste, onde há abundância de água e a doutrina do direito da antiguidade nos estados do oeste, onde há escassez.

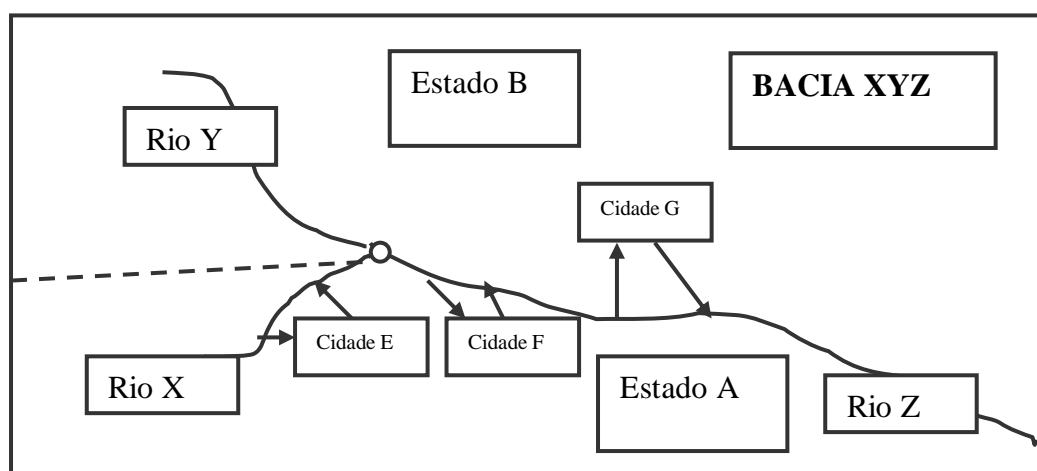
No Brasil, embora também tenhamos regiões de abundância e de escassez de água, a Lei 9433/97 baseia-se na doutrina do direito ribeirinho, na medida em que cria instâncias decisórias para moderar eventuais contradições entre usuários dos recursos hídricos de uma mesma bacia hidrográfica. Entretanto, a Lei generaliza o direito de acesso à água a todos os cidadãos, e não apenas aos proprietários ribeirinhos, ampliando o conceito de "bem comum" para "bem público". Como "bem público" não é o mesmo que "bem de livre acesso", cabe ao Estado regular o uso privado de bem público, como é o caso dos rios, para garantir a sustentabilidade de utilização, inclusive por gerações futuras, e para garantir a preservação do meio ambiente.

---

<sup>1</sup>Trabalho parcialmente apresentado no XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, 1997 e publicado como capítulo no livro editado por Antonio Carlos de Mendes Thame, A Cobrança pelo uso da água. São Paulo, 2000, p. 93-113.

<sup>2</sup> Professor da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, jerson@kelman.com.br

Segundo a Constituição de 1988, os rios podem ser de domínio da União ou dos estados. Seria razoável que a Constituição atribuísse o domínio de um rio X ao Estado “A” apenas quando os usos e usuários deste rio, todos localizados no Estado “A”, não afetassem quaisquer usos e usuários localizados em outros estados. Se assim fosse, o rio X da Figura 2 não poderia ser de dominialidade do Estado A, já que a poluição causada pela cidade E, localizada às margens do rio X, no Estado A, poderia afetar a utilização do rio Z pela cidade G, localizada no Estado B. Entretanto, os constitucionalistas entendem que o rio X é de domínio do Estado A porque tem nascente e foz neste Estado. Analogamente, o rio Y é de domínio do Estado B e o rio Z, por fazer fronteira entre dois estados, é de domínio da União. De acordo com este entendimento, as empresas de saneamento das cidades E e F devem obter outorga para captação de água e para diluição da carga poluente remanescente respectivamente dos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado A e da União.



**Figura 1 – Rio Z é fronteira entre estados A e B**

Como a água que passa pelo rio X é a mesma que passa pelo rio Z, é evidente que a dominialidade do Estado A sobre o rio X não pode ser absoluta. Por exemplo, a cidade E não pode secar ou poluir o rio X porque tal ação impactaria negativamente todos os usuários de recursos hídricos localizados a jusante, não só do Estado A, como é o caso da companhia de saneamento da cidade F, como também do Estado B, como é o caso da companhia de saneamento da cidade G. Se a dominialidade do Estado A sobre o rio X não pode ser absoluta, quais seriam as condicionalidades?

O inciso V do Art. 1º da Lei 9433/97 proclama que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” e o artigo 4º diz que “a União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum”. Uma forma sensata de implementar esta articulação consiste em condicionar o poder de outorga dos Estados à manutenção de vazão mínima, atendidos padrões de qualidade, no ponto a jusante em que a água passa a ser de domínio da União. Em qualquer circunstância é desejável que a União delegue aos Estados o poder de outorga e, junto com ele, a arrecadação derivada da cobrança pelo uso de recursos hídricos (Art.14 da Lei 9433/97). Assim, o poder de outorga do rio Z deveria ser delegado ao consórcio formado pelos Estados A e B, se este fosse o desejo de ambos os Estados.

## OUTORGA

### Quantidade

A outorga garante ao usuário o direito de uso da água. Cabe ao poder outorgante (Governo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal) examinar cada pedido de outorga para verificar se existe água suficiente, considerando-se os aspectos quantitativos e qualitativos, para que o pedido possa ser atendido. Uma vez concedida, a outorga de direito de uso da água protege o usuário contra o uso predador de outros usuários que não possuam outorga. Em situações de escassez, seja para captação seja para diluição de efluentes, os não-outorgados deverão ser reprimidos para garantir a utilização da água e conseqüentemente os investimentos daqueles que seguiram o procedimento legal.

A outorga de direito de uso de água não deve ser confundida com concessão de serviço público, como é o caso de abastecimento de água, tratamento de esgoto urbano ou produção de energia elétrica. A concessão destes serviços segue regras próprias, não relacionadas com o uso coletivo do recurso hídrico. O poder outorgante de direito de uso de água é o Governo Federal ou os governos estaduais, conforme o caso. A outorga tem prazo de validade limitado (Lei 9433, artigo 16) e não implica na alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de uso (Lei 9433, artigo 18). Já o poder concedente de serviço público é o governo municipal, no caso de abastecimento de água e de coleta/tratamento de esgoto, ou o Governo Federal, no caso de produção de energia elétrica.

A importância da outorga é mais bem percebida através de um exemplo. Suponhamos que João, fazendeiro, tenha implantado uma fruticultura irrigada, de alto custo. Passados um par de anos, antes mesmo que João tenha feito a primeira colheita, Carlos, vizinho a montante de João, decide utilizar uma grande quantidade de água para irrigar uma nova lavoura. Para dramatizar, imaginemos que o Carlos consuma tanta água que inviabilize a fruticultura de João. O que sucede?

Numa situação em que o sistema de outorga não está implantado, João perde o investimento e serve de exemplo contra iniciativas empreendedoras assemelhadas. A tendência é de manutenção do subdesenvolvimento, dada a inexistência de **garantia** quanto a disponibilidade de água, assumida como insumo básico do processo produtivo. Se o sistema está implantado, Carlos não se aventuraria a fazer o investimento sem a correspondente outorga. Entretanto, o pedido de outorga de Carlos seria provavelmente negado pela impossibilidade de atender ao acréscimo de demanda. Caso o Carlos insista em desviar água do rio, mesmo sem outorga, João poderia acionar a polícia.

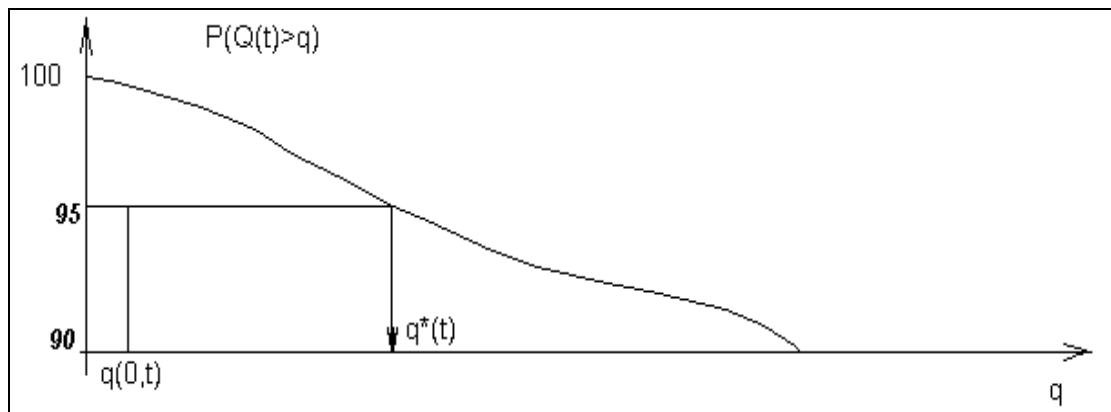
Outros casos poderiam ser formados a partir da mesma situação básica. Por exemplo, suponhamos que José e Lucas sejam industriais cujas fábricas utilizem água de um mesmo rio. A fábrica de José capta água com certa qualidade, cuja caracterização tenha sido fundamental no correspondente projeto industrial. Suponhamos que Lucas decida produzir um novo produto que gere um efluente líquido que, lançado livremente no curso d'água, inviabilize o funcionamento da fábrica de José. Nesta situação Lucas não conseguirá a outorga. Entretanto, caso o novo produto de Lucas seja de alto retorno econômico, a melhor alternativa seria viabilizar a outorga através da "internalização" do custo que estaria acarretando à fábrica de José, seja tratando do efluente de sua própria fábrica, seja financiando o custo de adaptação do processo produtivo da fábrica de José.

Como se percebe, a outorga tem valor econômico para quem a recebe, na medida em que oferece garantia de acesso ao bem escasso. Sem a existência de outorgas, os usuários se comportariam como comensais mal-educados, sentados em torno de uma mesa ao centro da qual se encontra um bolo: todos tendem a comer rápida e atabalhoadamente porque qualquer adiamento de consumo poderá resultar no desaparecimento do "recurso" em boca alheia. Com

a outorga, cada usuário sabe que tem um pedaço do bolo reservado em seu nome, podendo adiar o consumo para a ocasião que melhor lhe apetecer.

Um grande complicador no processo de emissão de outorgas tem origem no fato de que o conceito de "volume outorgável" admite diferentes formulações porque a vazão fluvial é uma variável aleatória, e não uma constante. Utilizando o exemplo acima, a divisão do bolo entre comensais é dificultada pelo fato de que não se sabe ao certo qual o tamanho do bolo. O máximo que se pode almejar conhecer é sua distribuição de probabilidades. Para levar em conta a sazonalidade, pode-se caracterizar o volume outorgável por 12 distribuições, uma para cada mês do ano.

Para facilidade de raciocínio, imagine-se a situação em que todos os pedidos de outorga sejam para uso quantitativo<sup>3</sup>. Suponhamos que o volume outorgável de um local na beira de um rio, num certo intervalo de tempo  $\Delta t$  (ano, mês, semana, ou dia) seja  $Q(t)$ . É indiferente se  $Q$  é expresso em volume de água que escoar ao longo de  $\Delta t$  ( $m^3$ ) ou pela vazão média no período ( $m^3/s$ ). A figura abaixo mostra a curva de permanência de  $Q(t)$  (complemento da distribuição de probabilidade de  $Q$ ).



**Figura 2 - Curva de Permanência de  $Q(t)$**

Antes que o intervalo de tempo  $\Delta t$  tenha transcorrido, não se sabe qual será o valor de  $Q(t)$  (tamanho do bolo). Como o poder concedente tem que alocar o desconhecido  $Q(t)$  entre os usuários, o razoável é que se adote uma postura conservativa. Por exemplo, selecionando um nível de confiabilidade de atendimento de 95%. Na figura,  $q^*(t)$  pode ser visto como limite superior para o somatório de todos os usos. Vamos chamar  $q^*(t)$  de volume outorgável com garantia de 95%<sup>4</sup>.

Seja  $q(0,t)$  a quantidade de água necessária para satisfação das necessidades previstas no parágrafo 1º do artigo 12 da Lei 9433 (pequenos núcleos populacionais, derivações insignificantes), bem como das necessidades associadas à preservação ambiental. Embora estes usuários e usos não necessitem de outorga, vamos associar  $q(0,t)$  a uma outorga, por facilidade de notação. Seja  $q(i,t)$  a outorga do  $i$ -ésimo usuário para o intervalo  $\Delta t$ . Cada usuário utilizará consuntivamente apenas parte da outorga, digamos  $a(i)$ , onde  $a(i)$  é o "coeficiente de utilização", um número situado entre 0 e 1. Um usuário que tenha uso consuntivo nulo, tal qual uma hidroelétrica a fio d'água, terá  $a(i)$  nulo. Já um irrigante, com grande consumo (principalmente devido à evapotranspiração) terá  $a(i)$  próximo da unidade. Se

<sup>3</sup>Na realidade a discussão que se segue é geral, já que adiante será mostrado que cada uso qualitativo (lançamento de efluente em curso d'água, por exemplo) tem seu equivalente quantitativo

<sup>4</sup>Em planejamento agrícola utiliza-se o conceito de  $q_{7,10}$ , que é a mínima vazão média semanal (ou equivalentemente o volume afluente em 7 dias), com garantia de 90% (ou equivalentemente risco de falha de 10%).

existem n usuários, tem-se que

$$\sum_{i=0}^n a(i)q(i, t) \leq q^*(t), \quad \forall t \quad (1)$$

Numa situação de alocação plena, o risco de não-atendimento de todas as outorgas seria de 10%. Caso  $Q(t) < q^*(t)$ , alguma política de acionamento deverá ser implementada.

Em condições naturais,  $q^*(t)$  aumenta quando se caminha de montante para jusante, devido ao aumento da área de drenagem. Imagine-se que os cursos d'água da bacia hidrográfica tenham sido divididos em trechos. Para cada "trecho de rio" k será possível derivar a correspondente curva de permanência e volume outorgável, chamado convenientemente de  $q_k^*(t)$ . Este volume outorgável é disputada não apenas pelos n usuários que se localizam no trecho k, mas também por todos os usuários de trechos a montante. Seja  $M(k)$  o conjunto destes usuários (inclusive os usuários do próprio trecho k). A equação (1) pode ser generalizada para:

$$\sum_{i \in M(k)} a_k(i)q(i, t) \leq q_k^*(t), \quad \forall k, \forall t \quad (2)$$

Sob a ótica de cada usuário i, tudo se passa como se ele precisasse de outorga não apenas para o trecho de rio em que faz a captação, mas também para todos os trechos a jusante. Seja  $J(i)$  o conjunto destes trechos de rio (inclusive o trecho onde o usuário i faz a captação). O conceito é que se em algum trecho  $k \in J(i)$  ocorrer uma situação de carência de água, isto é, se a desigualdade (2) não for verdadeira, o consumo do usuário i poderá ser racionado, mesmo que não esteja situado no trecho k.

Suponha a bacia hidrográfica composta por 11 trechos de rio, conforme representação da Figura 3, com tipificação dos usuários dada pela Tabela 1.

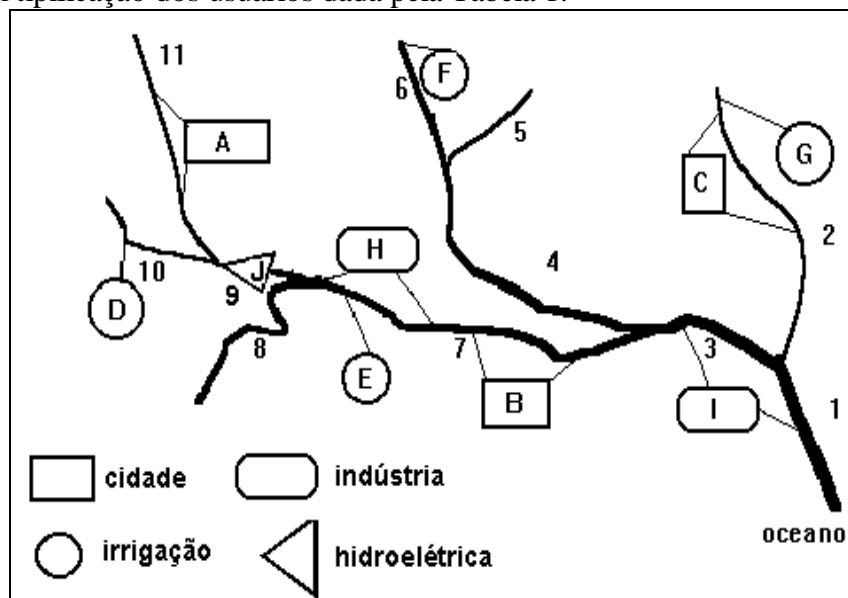


Figura 3 - Bacia Hipotética

**Tabela 1 - Tipificação dos Usuário da Bacia Hipotética**

Usuário	Tipo	Trecho Captação	Trecho Lançamento
A	Cidade	11	11
B	Cidade	7	7
C	Cidade	2	2
D	Irrigação	10	-
E	Irrigação	7	-
F	Irrigação	6	-
G	Irrigação	2	-
H	Indústria	7	7
I	Indústria	3	1
J	Hidroelétrica	9	9

Examinemos o que sucede com o trecho  $k = 7$ . Pela definição,  $M(7)$  é o conjunto de usuários localizados no trecho 7 e nos trechos a montante de 7. Isto é  $M(7) = \{A, B, D, E, H, J\}$ . O volume de água ainda possível de ser outorgado no trecho 7 - chamemos de volume remanescente- é dado pela diferença entre o volume outorgável do trecho e a soma dos volumes já outorgados para os usuários A, B, D, E, H e J, devidamente abatidos pelos correspondentes coeficientes de utilização.

Seja o usuário  $i=D$ . O conjunto de trechos situados a jusante do usuário D é neste caso  $J(D)=\{10, 9, 7, 3, 1\}$ . Portanto, se ocorrer um situação de carência de água em algum trecho pertencente a  $J(D)$ , por exemplo trecho 3, D também deverá ser racionado.

Suponha agora que D não é ainda um usuário da bacia, e sim um pretendente a usuário. A correspondente outorga só poderá ser concedida caso a inclusão de D não acarrete volume remanescente negativo em qualquer um dos trechos que compõem  $J(D)$ . Isto é, o poder público concedente do trecho 10, para decidir quanto ao pedido de outorga, deverá considerar outorgas dadas a todos os usuários da bacia, que no caso específico resulta da seguinte união de conjuntos:  $M(10) \cup M(9) \cup M(7) \cup M(3) \cup M(1)$ . Naturalmente a união destes conjuntos é igual a  $M(1)$ , o que permite concluir que o exame de pedido de outorga num ponto qualquer da bacia só pode ser feito quando se conhece todas as outorgas já concedidas na totalidade da bacia. Raciocínio equivalente seria aplicado caso o candidato a outorga fosse qualquer outro usuário representado na Figura 3.

Seja o usuário  $i=I$ . Os coeficiente de utilização  $a_3(I)$  será, neste caso, igual a 1, já que a indústria I capta no trecho 3, mas só devolve parte da captação no trecho 1.

Em bacias em que haja pelo menos um rio cruzando fronteira estadual, ou servindo de fronteira, existe mais do que um poder público outorgante. Portanto, para estas bacias, será necessário criar um sistema integrado de outorga, que obrigue consultas mútuas entre os poderes públicos outorgantes.

## Qualidade

O enquadramento dos corpos d'água em classes de uso permite fazer a ligação entre a gestão da quantidade e a gestão da qualidade da água<sup>5</sup>.

O usuário  $i$  que lança um efluente num curso d'água, "se apropria" de uma certa quantidade de água  $q(i,t)$  para diluir este efluente. O cálculo de  $q(i,t)$  é relativamente simples. Suponha que ao longo de  $\Delta t$  o usuário  $i$  lança uma quantidade de efluente  $h(i,t)$ , com concentração de poluente do tipo  $p$  (por exemplo,  $p=1 \rightarrow$ DBO,  $p=2 \rightarrow$ coliformes fecais,  $p=3 \rightarrow$ nitrogênio...) igual  $c_p(i,t)$ . Seja  $c_p^*$  concentração permissível, que poderá resultar do enquadramento do corpo hídrico, ou de algum plano de recuperação da bacia<sup>6</sup>, e  $c_{ep}$  a concentração do poluente em condições naturais (isto é, independente da ação dos usuários). Para cada poluente, o usuário irá se apropriar de uma vazão do rio, para diluir o seu efluente, igual a<sup>7</sup>

$$q_p(i,t) = h(i,t) \{ [c_p(i,t) - c_p^*] / [c_p^* - c_{ep}] \}. \quad (3)$$

O quociente  $\{ [c_p(i,t) - c_p^*] / [c_p^* - c_{ep}] \}$  é chamado de "multiplicador de vazão". Mede quantos  $m^3/s$  são necessários no rio para diluir a carga poluente do tipo  $p$  acrescentada em cada  $1 m^3/s$  de vazão efluente<sup>8</sup>.

Seja  $r_{p,k}(i,t)$  a quantidade de água "apropriada" pelo usuário  $i$ , referente ao trecho  $k$  (não necessariamente utilizado no trecho  $k$ ), ao longo do intervalo  $\Delta t$ , que fica indisponível para uso de outros usuários que pretendam diluir o poluente  $p$ . É necessário manter uma "contabilidade" específica para cada tipo de agente poluidor porque o mesmo metro cúbico que serve para diluir DBO, serve também para diluir, por exemplo, nitrogênio. Suponha que o usuário  $i$  **torne indisponível** para os demais usuários, no trecho  $k$ , a vazão  $r_{1,k}(i,t) m^3/s$  para diluição de DBO,  $r_{2,k}(i,t) m^3/s$  para diluição de coliformes,  $r_{3,k}(i,t) m^3/s$  para diluição de nitrogênio. Suponhamos que este usuário, além de lançar estes poluentes no corpo hídrico, retire sem restituição (isto é,  $a(i)=1$ ) a vazão de  $q(i,t) m^3/s$ . Neste caso, ele **torna indisponível** para os demais usuários, em todas as contabilidades específicas, estes  $q(i,t) m^3/s$ . Portanto  $r_{1,k}(i,t) \geq q(i,t)$ ,  $r_{2,k}(i,t) \geq q(i,t)$ ,  $r_{3,k}(i,t) \geq q(i,t)$ . Isto é,  $q(i,t)$  ficam indisponíveis para todos os usos qualitativos e **um usuário quantitativo é também usuário qualitativo em todas as categorias de poluentes**. Portanto,

$$r_{p,k}(i,t) = a_k(i)q(i,t) + a_{p,k}q_p(i,t), \quad \text{para } k \in J(i), \forall p > 0 \quad (4-a)$$

Se adotarmos a convenção que  $p=0$  corresponde ao uso puramente quantitativo, tem-se  $q_0(i,t)=0$  e  $r_{0,k}(i,t)=a_k(i)q(i,t)$ , para  $\forall i,t$ . Portanto, a Equação (4-a) pode ser generalizada para

$$r_{p,k}(i,t) = a_k(i)q(i,t) + a_{p,k}q_p(i,t), \quad \text{para } k \in J(i), \forall p \geq 0 \quad (4-b)$$

Como em cada trecho  $k$  o volume outorgável para diluição de cada tipo de poluente é  $q^*(t)$  menos todos os usos consuntivos dos usuários que pertençam a  $M(k)$ , a equação (2) pode ser adaptada, para uso quantitativo e qualitativo:

$$\sum_{i \in M(k)} r_{p,k}(i,t) \leq q_k^*(t), \quad \forall p, \forall k, \forall t \quad (5)$$

O coeficiente de utilização  $a_{p,k}(i)$  do usuário  $i$  depende do tipo de poluente e da distância que o separa do trecho de rio  $k$ , situado a jusante. Caso o poluente  $p$  seja conservativo, como por exemplo no caso de cloretos, tudo se passa como se o usuário  $i$  se apropriasse da

<sup>5</sup> Política Nacional de Recursos Hídricos, Introdução à Lei 9433, MMA, 1997

<sup>6</sup> Naturalmente, existem poluentes "não diluíveis", como por exemplo aqueles que vão se acumulando nos sedimentos, na flora ou na fauna do corpo hídrico. Não se pode outorgar nem cobrar o lançamento destes poluentes no corpo hídrico. Ao contrário, este tipo de lançamento deve ser reprimido a partir dos mecanismos de "comando e controle" disponíveis na legislação ambiental.

<sup>7</sup> Assume-se que o usuário capta água com concentração igual a  $c_p^*$ .

<sup>8</sup> Não confundir o multiplicador de vazão com razão de diluição, de conceituação semelhante (Sperling, 1998)

quantidade  $q_p(i,t)$  não apenas no trecho de rio em que está situado, mas também em todos os trechos a jusante. Isto é, neste caso  $a_{p,k}(i)=1$ , para qualquer  $k \in J(i)$ . Caso o poluente  $p$  seja não-conservativo, como por exemplo DBO, a capacidade de autodepuração do curso d'água faz com que o coeficiente de utilização seja menor do que a unidade, diminuindo com a distância entre o ponto de lançamento do usuário  $i$  e o trecho  $k$ . Por exemplo, se o usuário  $A$  da Figura 3 lança  $p=1 \rightarrow$ DBO, é de se esperar que  $a_{1,11}(A) \geq a_{1,9}(A) \geq a_{1,7}(A) \geq a_{1,3}(A) \geq a_{1,1}(A)$ . O valor numérico do coeficiente de utilização, em cada caso, pode ser estimado a partir do uso de modelo matemático de qualidade de água, devidamente calibrado para a bacia.

Ao examinar um pedido de outorga de candidato a usuário, digamos  $u$ , seja para captar uma quantidade de água  $q(u,t)$ , para cada  $\Delta t$ , seja para diluir uma carga poluente igual a  $[c_p(u,t)-c_p^*] h(u,t)$ , para cada tipo de poluente  $p$ , a autoridade pública deverá:

- identificar o conjunto  $J(u)$  formado pelo trecho de rio onde se localiza  $u$  e por todos os trechos de jusante;
- estimar o coeficiente de utilização quantitativo,  $a_k(u)$ ;
- estimar as quantidades de água necessárias para diluir poluentes,  $q_p(u,t)$ , para cada tipo de poluente  $p$ ;
- estimar os coeficiente de utilização  $a_{p,k}(u)$  para todos os trechos de rio  $k$  que pertençam a  $J(u)$ ;
- conceder a outorga caso a desigualdade (5) permaneça válida para todos os trechos de rio  $k$  pertencentes a  $J(u)$ .

Suponha que a cidade  $A$ , da Figura 3, tenha 100.000 habitantes e que o consumo per capita seja de 250 litros/dia. Ou seja a captação é de  $q(A,t) = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$ . Suponha ainda  $c_{ep}$  seja nulo para todos os poluentes e que o correspondente coeficiente de utilização seja  $a(A) = 0,2$ . Ou seja, 20% do volume captado não retorna ao corpo hídrico, possivelmente por efeito de evaporação. Portanto a vazão efluente será  $h(A,t) = 0,8 \times 0,29 = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ . As necessidades de outorga para a cidade  $A$  depende do tipo de tratamento dos esgotos. A tabela 2 fornece as concentrações limites  $c_p^*$  aceitáveis para um corpo d'água de classe 2 e os valores típicos para  $c_p(A,t)$  em relação a dois tipos de poluentes, DBO e coliformes fecais (Sperling, 1998).

Tabela 2 – Valores típicos de concentração

Parâmetro	$c_p^*$	$c_p(A,t)$		
		Esgoto bruto	Tratamento primário	Tratamento secundário
$p=1 \rightarrow$ DBO ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	5	350	240	35
$p=2 \rightarrow$ Coliformes fecais ( $\text{org}/100 \text{ ml}$ )	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^7$	$7 \times 10^6$	$1 \times 10^6$

Observa-se que o multiplicador de vazões pode variar entre  $[350-5]/5=69$  e  $[35-5]/5=6$ , para DBO, e entre  $10^4$  e  $10^3$ , para coliformes fecais. Vamos admitir que a cidade  $A$  faça o tratamento primário de seus esgotos. Neste caso, a contribuição da cidade  $A$  para o somatório da equação 5, quando  $k = 11$  será:

$$p=0 \rightarrow \text{quantitativo} \quad r_{0,11}(A,t) = 0,2 \times 0,29 = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p=1 \rightarrow \text{DBO} \quad r_{1,11}(A,t) = 0,2 \times 0,29 + \{[240-5]/5\} \times 0,23 = 10,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p=1 \rightarrow \text{Coliformes fecais} \quad r_{2,11}(A,t) = 0,2 \times 0,29 + 7 \times 10^3 \times 0,23 = 1610,06 \text{ m}^3/\text{s} (!!!!)$$

É evidente que a meta de lograr uma concentração de apenas 1000 coliformes fecais por 100 ml no corpo hídrico, no local de lançamento de esgoto, é virtualmente impossível de ser alcançada, já que demandaria vazões de diluição extremamente elevadas no exato local do lançamento. Uma alternativa, que provavelmente exigiria modificações na Resolução



Conama 20, seria aceitar condições patogênicas na imediata vizinhança do lançamento, mas não admiti-las na extremidade de jusante do trecho em que o lançamento for feito. Caso esta alternativa não seja aceitável, será necessário eliminar os elementos patogênicos contidos no efluente, possivelmente através da cloração. Este é um tema polêmico, cuja discussão foge ao escopo deste trabalho.

Vejam agora quais seriam as vazões tornadas indisponíveis pela cidade A em algum trecho localizado a jusante, por exemplo o trecho 7. Suponhamos que: (a) a distância entre as extremidades de jusantes do trecho 11 e 7 seja de 200 Km; (b) a velocidade média de escoamento do rio seja de 0,2 m/s; (c) o decaimento dos poluentes ocorra por uma reação de primeira ordem, isto é o decaimento seja exponencial. Neste caso  $a_{p,k}(A) = \exp(-vt)$ , onde  $v$  é a constante de decaimento e  $t$  é o tempo de trânsito. Para o exemplo, o tempo de trânsito seria  $(200 \times 10^3 \text{ m}) / (0,2 \text{ m/s}) = 10^6 \text{ s} = 278 \text{ horas} = 11,6 \text{ dias}$ . Os valores típicos para as constantes de decaimento são  $v = 0,2 \text{ dia}^{-1}$ , no caso de DBO e  $v = 0,04 \text{ hora}^{-1}$ , no caso de coliformes (Monica Porto, 1998, comunicação pessoal). Portanto  $a_{1,7}(A) = \exp(-0,2 \times 11,6) = 0,10$ ,  $a_{2,7}(A) = \exp(-0,04 \times 278) = 0,00$  e a contribuição da cidade A para o somatório da equação 5, quando  $k = 7$ , será:

$$\begin{aligned}
 p=0 \rightarrow \text{quantitativo} & \quad r_{0,7}(A,t) = 0,2 \times 0,29 = 0,06 \text{ m}^3/\text{s} \\
 p=1 \rightarrow \text{DBO} & \quad r_{1,7}(A,t) = 0,2 \times 0,29 + \exp(-0,2 \times 11,6) \times (240/5) \times 0,23 = 1,14 \text{ m}^3/\text{s} \\
 p=1 \rightarrow \text{Coliformes} & \quad r_{2,7}(A,t) = 0,2 \times 0,29 + \exp(-0,04 \times 278) \times 7 \times 10^3 \times 0,23 = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$


---

### Escolha da concentração permissível

A Resolução Conama 20/86 estabelece a concentração permissível para cada poluente  $p$  em função da classificação do corpo hídrico quanto ao uso que se pretenda dar ao corpo hídrico. Por exemplo, caso se pretenda retirar água para abastecimento humano, o corpo hídrico será de classe 2 e, como tal, terá  $c_p^* = 5 \text{ g/m}^3$  para concentração permissível de DBO.

Caso a bacia não esteja ainda poluída, isto é, caso a concentração efetivamente observável de cada poluente seja inferior à concentração permissível estabelecida na Resolução Conama 20/86, a escolha natural para  $c_p^*$ , para cálculo da Equação 3, seria a recomendada pela Resolução. Entretanto, caso a bacia já esteja poluída, o razoável seria estabelecer um programa de recuperação, partindo no ano “zero” da concentração efetivamente observável para atingir, ao final do horizonte de planejamento, a concentração permissível estabelecida na Resolução.

Por exemplo, seja a concentração de partida igual a 100g de DBO por m<sup>3</sup> (ou 100% da concentração inicial). O programa de recuperação, para um horizonte de 10 anos, poderia ser representado pela Figura 4.

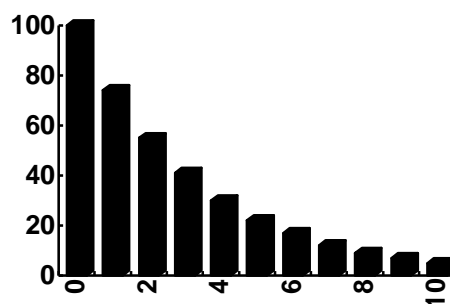


Figura 4 - Variação da concentração permissível (em g/m<sup>3</sup> ou em %) ao longo do horizonte de planejamento (10 anos)

Como decresce com o passar dos anos, a única maneira de manter o volume outorgado constante, para cada usuário  $i$ , é também decrescer o produto  $[c_p(i,t)-c_p^*]h(i,t)$  (Equação 3). Esta é a carga poluidora, medida por exemplo em gramas de DBO, admitindo-se que a concentração na captação seja igual a  $c_p^*$ . Uma estratégia para recuperação da bacia seria simplesmente obrigar cada usuário a reduzir a sua carga poluidora, seguindo metas análogas à representada na Figura 4. Esta estratégia é fácil de formular, mas difícil de implementar porque exige extraordinária atuação do poder público, para punir desvios de meta, usualmente através da cobrança de multas. Mesmo em países mais avançados, este tipo de estratégia – conhecida na literatura como “comando e controle”- tende a apresentar resultados decepcionantes. Há na realidade forte reação por parte dos usuários, já que a estratégia carece de racionalidade econômica. Suponha por exemplo que o custo unitário de remoção da carga orgânica do usuário H seja o dobro do que o correspondente custo unitário do usuário B. Ambos os usuários estão localizados no mesmo trecho 7 (Figura 3). Naturalmente, seria mais interessante para o usuário H perseguir metas mais moderadas de redução de sua própria carga poluidora, compensando este fato com o financiamento de uma redução extra por parte do usuário B. Naturalmente, esta alternativa seria também do interesse da sociedade, já que a fábrica H poderia se manter competitiva, sem comprometimento da meta de recuperação ambiental. Entretanto, a partir da estratégia exemplificada de comando e controle, tal racionalidade é inatingível.

Um mercado de outorgas poderia se constituir numa alternativa interessante para a alocação, com racionalidade econômica, do escasso recurso hídrico. Nesta possibilidade, o usuário poluidor necessitaria respeitar a concentração permissível de cada ano, seja pela redução de sua carga poluidora, seja pela apropriação de um volume maior de água no corpo hídrico, em comparação com o volume do ano anterior, para diluição de sua carga poluente, suposta inalterada. Neste último caso, o usuário deveria “ir ao mercado” e comprar dos demais detentores de outorga - para o trecho de rio em questão e/ou para trechos de jusante- as correspondentes outorgas. Este sistema necessitaria que se criasse um mercado para transações de compra e venda de outorgas.

## **COBRANÇA**

Em países com limitadas capacidades institucionais, como o Brasil, deve-se sempre que possível substituir estratégias que demandem repressão governamental por estratégias baseadas na autorregulação dos interessados. Esta autorregulação pode ser alcançada por mecanismos políticos, por exemplo através de negociações engendradas nos comitês de bacia, ou por instrumentos econômicos, por exemplo através de cobrança pelo uso de recursos hídricos.

A cobrança só deve ser implantada em bacias hidrográficas em que o conflito pelo uso ou a degradação ambiental já sejam problemas reais ou estejam prestes a eclodir. Esta concepção parte do entendimento de que o aparato de gestão de recursos hídricos só deve ser implementado quando o custo administrativo da instalação e de operação dos novos processos e instituições for inferior ao benefício da sociedade com a implementação do novo sistema. Naturalmente, mesmo em bacias em que não se instale sistema de cobrança, é obrigação governamental fazer funcionar a base mínima do sistema de informações, que no caso específico implica na manutenção de uma rede hidrometeorológica e no funcionamento do sistema de outorga.

Como numa mesma bacia hidrográfica podem conviver diversas autoridades outorgantes, habilitadas a cobrar pelo uso de recursos hídricos, é fundamental que a cobrança, quando decidida, seja implementada por bacias, e não por rios. Por exemplo, não se poderia aceitar que o Estado A decida cobrar pelo uso dos recursos hídricos do rio X mas que a União e o Estado B decidam pela não cobrança; ou vice versa. Tal arranjo resultaria em ônus

assimétricos, no que diz respeito à cobrança entre as companhias de saneamento das três cidades. Portanto, é necessário que ocorra a articulação entre a União e os Estados, determinada no Art.4º da Lei 9433/97.

Em geral, tributos não devem ser “carimbados” para aplicação específica, para que não se diminua a eficácia governamental. Entretanto, a cobrança pelo uso de recursos hídricos não é um novo tributo, destinado a reforçar o orçamento geral da União ou dos Estados. Ao contrário, a cobrança visa “reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor” (Art.19 da Lei 9433/97). Visa ainda implementar o sistema de gestão, que irá garantir a sustentabilidade na utilização dos recursos hídricos, tema de interesse de todos os usuários, atuais e das gerações futuras.

Idealmente, o usuário deverá racionalizar a utilização da água, diminuindo, ou mesmo eliminando a cobrança que lhe é destinada. Ou seja, trata-se de um sistema de cobrança cujo sucesso resulta na diminuição da arrecadação. Por esta razão, a Lei 9433/97 determina que “os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados...” (Art. 22).

A Lei 9433/97 adota o princípio da subsidiariedade ao determinar que a aplicação dos valores arrecadados seja decidida em primeira instância pelo correspondente comitê de bacia hidrográfica, caso exista, que tem a responsabilidade de “aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia” (Art. 37). Idealmente, sob a ótica exclusiva da gestão de recursos hídricos, a arrecadação correspondente à cobrança deveria caber diretamente à agência de bacia para sinalizar claramente ao usuário que seu pagamento se destina à aplicação na própria bacia, como determina a Lei, sem maiores burocracias. Entretanto, para que a agência de bacia possa efetivamente arrecadar, tem que ser “chapa branca”. Isto é, tem que ser um órgão da administração federal ou estadual, como ocorre na França.

No Brasil, a alternativa “agência chapa branca” poderia resultar em empreguismo e centralismo. Parece preferível que as agências de bacia tenham a flexibilidade dos organismos não-governamentais, deixando a responsabilidade legal da arrecadação para os governos. No âmbito federal foi este o modelo adotado na Lei 9984/00 que criou a Agência Nacional de Águas – ANA. Por outro lado, a agência de bacia deve receber delegação do poder outorgante para operacionalizar a cobrança, em todos os aspectos práticos. O importante é que se estabeleçam parcerias entre os poderes outorgantes e a correspondente agência de bacia, possivelmente através de contratos de gestão ou termos de parceria, previstos respectivamente nas Leis 9637/98 e 9790/99, que sejam tanto quanto possível similares, respeitadas as legislações específicas de cada poder outorgante.

### **Cobrança pelo direito de usar**

Cada usuário  $i$  deve fazer um pagamento periódico  $\beta(i)$ , por exemplo com periodicidade anual, para cobrir, pelo menos, os seguintes custos: (a) avaliação hidrológica do volume outorgável (em termos quantitativos e qualitativos); (b) manutenção de sistema de registro de outorgas, com consulta facultada a qualquer interessado; (c) monitoramento no campo dos usos reais; (d) repressão aos usos lesivos a terceiros que não estejam legitimados por uma outorga.

Se a outorga estiver dissociada da cobrança, a tendência será de que cada usuário venha solicitar outorga superior à sua real necessidade. Naturalmente, sempre seria possível exigir demonstração da efetiva necessidade da quantidade solicitada. Tal procedimento obrigaria o poder concedente a estimar a quantidade de água necessária, com base no tipo de uso de água. Por exemplo, para irrigação a outorga seria estimada a partir do tipo de cultura e da área irrigada. Para indústria, seria estimada a partir do processo produtivo, por categoria tipo (curtume, têxtil, papel,...). Em qualquer circunstância, o estabelecimento de um procedimento

burocrático, em que cada pretendente à outorga tenha que obter do poder público aprovação para a maneira como funciona a sua empresa, é um caminho indesejável, por ser repleto de riscos de imobilismo, de entraves burocráticos e de corrupção. É melhor adotar um incentivo econômico para que cada usuário solicite a outorga apenas da quantidade que efetivamente necessite, garantindo que  $\beta(i)$  cresça com a quantidade outorgada.

Seria razoável fazer  $\beta(i)$  proporcional ao custo de oportunidade correspondente à utilização que o usuário  $i$  faz da água. Isto é,  $\beta(i)$  deve estar relacionado ao impedimento de utilização de água por parte dos outros usuários, para cada trecho  $k$ , ao longo do intervalo  $\Delta t$ , definido como  $r_{p,k}(i,t)$ . A maneira mais direta de estabelecer esta relação é definindo-se

$$\beta(i) = \sum_{t=1}^T \sum_{k \in J(i)} \sum_{p \geq 0} d_{p,k}(t) r_{p,k}(i,t), \text{ onde} \quad (6)$$

onde  $d_{p,k}(t)$  é o preço unitário do direito de uso da água, no trecho  $k$ , no intervalo  $\Delta t$  (em  $\$/m^3$  ou  $\$/m^3/s$ ) para diluir o poluente  $p > 0$ . No caso  $p=0$ ,  $d_{0,k}(t)$  é o preço unitário do direito de uso consuntivo.  $T$  é o número de intervalos  $\Delta t$  em que o ano pode ser dividido (12, no caso em que  $\Delta t$  seja o mês). A fixação dos valores de  $d_{p,k}(t)$  poderia ser feita, por exemplo, por decisão do correspondente comitê da bacia hidrográfica.  $\beta(i)$  pode ser visto como a cobrança pelo uso da água, debaixo da presunção de que a quantidade utilizada coincida com a respectiva quantidade outorgada.

Observa-se que, de acordo com a equação (6), um usuário pagará mais, para um mesmo uso do corpo hídrico, quanto mais a montante estiver localizado. O que seria teoricamente correto, já que quanto mais a montante estiver o usuário, mais deseconomias poderá causar a usuários que lhe ficam a jusante. Entretanto, trata-se de uma metodologia pouco prática. É preferível, em benefício da simplicidade, vincular a cobrança  $\beta(i)$  apenas aos valores unitários do trecho de rio  $k(i)$ , em que o usuário  $i$  capta água ou lança efluentes. Neste caso, a equação (6) é adaptada para

$$\beta(i) = \sum_{t=1}^T \sum_{p \geq 0} d_{p,k(i)}(t) r_{p,k(i)}(i,t) \quad (7)$$

## Racionamento

Conforme anteriormente afirmado, a outorga dá direito ao uso da água condicionado a uma garantia. Enquanto houver água para todos não deveria haver necessidade de qualquer repressão ao consumo. Entretanto, caso algum usuário indique a falta de água para o seu uso específico, ou caso a concentração do poluente  $p$  em algum trecho de rio  $k$  tenha ultrapassado o limite  $c_p^*$ , deve-se investigar usos não autorizados, que devem ser reprimidos. Usos não autorizados tanto por parte de usuários outorgados pertencentes ao conjunto  $M(k)$  quanto por parte de oportunistas, que utilizem o recurso hídrico sem outorga. Se esta repressão ao uso indevido for insuficiente, será necessário efetuar um racionamento para os usuários pertencentes a  $M(k)$ . Isto é, impor ao conjunto destes usuários um consumo agregado inferior ao somatório das outorgas.

Na última possibilidade, há que se reprimir o uso dos não outorgados e impor uma regra de racionamento para os outorgados. A mais simples de formular é a que impõe um racionamento proporcional para todos os usuários. Lamentavelmente, no entanto, é a mais difícil de ser controlada, pelas razões apontadas na crítica anteriormente feita aos mecanismos de comando e controle.

A regra de racionamento mais simples de aplicar é adotada em alguns estados do oeste dos EUA: o racionamento se dá por ordem de antiguidade. Isto é, em situação de escassez, perde direito de utilização o usuário que tiver a outorga mais recente. Caso persista a escassez,

o próximo a ser racionado é o usuário que tiver a segunda outorga mais recente. E assim por diante. Naturalmente, esta regra de racionamento, embora simples, não conduz à utilização ótima do recurso escasso, visto que, só por uma coincidência a ordem cronológica em que as outorgas foram concedidas coincidirá com a ordem lógica de prioridades, qualquer que seja o critério. Nos EUA esta distorção tem sido corrigida através de transações comerciais entre usuários, de compra e venda de outorgas. Trata-se do chamado "mercado da água", existente em algumas regiões áridas do oeste americano<sup>9</sup>.

A idéia de se processar ao racionamento numa certa ordem previamente estabelecida tem grande mérito e não precisa estar atrelada ao conceito cronológico. Quando se organiza os usuários numa "fila" de prioridades para acesso à água, todos sabem exatamente como deve ocorrer o racionamento numa situação de escassez. Assim como na fila única de uma agência bancária<sup>10</sup>, o usuário que ocupar o terceiro lugar da fila sabe que quem ocupar o quarto lugar não será atendido antes dele, por nenhuma razão. Mais ainda, se a fila tiver seis pessoas e o caixa só puder atender quatro pessoas, não será necessário chamar o governo para saber quem ficará sem atendimento: as seis pessoas postadas na fila saberão perfeitamente que sobrarão sem atendimento o quinto e o sexto colocados.

A fila pode ser organizada por decisão política, por exemplo pelo comitê da bacia. Neste caso, a discussão será sobre quem necessita mais de água, por razões econômicas, sociais ou ambientais. Alternativamente, pode-se organizar a fila por ordem inversa do máximo preço unitário que cada usuário estaria disposto a pagar antes de ser racionado. Este máximo preço, chamado de  $d_p(i,t)$ , corresponderia ao custo unitário de racionamento do usuário  $i$  devido à indisponibilidade de água, no caso em que  $p=0$ , ou devido à impossibilidade de diluição do poluente  $p$ , no caso em que  $p>0$ . Naturalmente, para qualquer usuário  $i$  o máximo preço  $d_p(i,t)$  será inferior ao preço "normal"  $d_{p,k(i)}(t)$  estabelecido pelo comitê de bacia. Admitir o contrário seria imaginar que o usuário  $i$  aceitasse operar continuamente no prejuízo. Assim sendo,  $d_p(i,t) \geq d_{p,k(i)}(t)$ .

O máximo preço  $d_p(i,t)$  seria decidido livremente por cada usuário, que apenas o declararia, para efeito da composição da fila. Por exemplo, suponhamos que o preço "normal" da água, definido pelo comitê, seja de  $\$0,01/m^3$ ; que o preço unitário máximo declarado pelo usuário A seja  $\$1,00/m^3$ , do usuário B seja  $\$0,50/m^3$  e do usuário C seja  $\$0,20/m^3$ . O usuário A terá uma posição na fila melhor do que o usuário B, que por sua vez terá uma posição melhor do que o usuário C. Se houver água para atender aos três usuários, todos pagarão  $\$0,01/m^3$ , que é o preço estabelecido pelo comitê. Entretanto, se houver água para atender integralmente os usuários A e B, e apenas parcialmente o usuário C, todos pagarão  $\$0,20/m^3$ . Se houver água para atender integralmente o usuário A e apenas parcialmente o usuário B, tanto o usuário A quanto B pagarão  $\$0,50/m^3$  e o usuário C nada pagará, já que será inteiramente racionado. Por último, se apenas houver água para atender parcialmente o usuário A, ele pagará  $\$0,50/m^3$  e os demais usuários nada pagarão, já que serão inteiramente racionados.

Naturalmente, o uso da água para satisfação das necessidades básicas humanas e dos animais não necessita de qualquer declaração de máximo preço unitário porque, por força da Lei 9433/97, este uso já ocupa o primeiro lugar da fila; isto é, tem a máxima prioridade de atendimento. Portanto, o "usuário"  $i=0$ , que aglutina os usos sociais e ambientais mínimos, não

---

<sup>9</sup> Um bom exemplo de funcionamento deste mercado ocorre sob a administração do Northern Colorado Water Conservancy District.

<sup>10</sup> A fila única para atendimento, por exemplo em agências bancárias, tem sido considerada uma importante contribuição para o bem estar psicológico dos clientes que, no sistema anterior de filas múltiplas, ficavam sempre apreensivos com a possibilidade de escolha da fila mais lenta.

necessita pagar nada, já que será sempre contemplado com a máxima prioridade de atendimento. Isto é  $\beta(0)=0$ .

A idéia é de que, se um racionamento vier a ser necessário, por exemplo devido ao "stress" hídrico no trecho k, por excesso de poluente p, a continuidade de atividades dos usuários que pertençam ao conjunto  $M(k)$  se processará de acordo com os valores relativos de  $d_p(i,t)$ ,  $\forall i \in M(k)$ . No caso de "stress" para  $p=0$ , tratar-se-á de insuficiência quantitativa.

Com esta regra, a tendência do usuário i será não apenas de solicitar a outorga mínima possível, como também a de adequar, talvez a cada ano, os valores de  $d_p(i,t)$  à expectativa que tenha de real utilização da água. Se esta expectativa for baixa, o usuário i decidirá por baixos valores; e vice-versa. Alcança-se desta maneira a meta de conseguir uma alocação racional da água, através da cobrança.

-----  
 Conforme anteriormente visto, em referência à Figura 3 tem-se  $M(7)=\{A,B,D,E,H,J\}$ . Ao início do ano suponhamos que os preços livremente ofertados pelos 6 usuários, para diluição do poluente p (ou para uso quantitativo, caso  $p=0$ ) tenha resultado em  $d_{p,7}(J,t) > d_{p,7}(B,t) > d_{p,7}(A,t) > d_{p,7}(D,t) > d_{p,7}(E,t) > d_{p,7}(H,t)$ . Nesta circunstância, o usuário J será o último a ser impedido de armazenar água no reservatório (de acordo com a Figura 3, trata-se de um aproveitamento hidroelétrico), para posterior uso, caso ocorra "stress" no trecho 7 devido a poluente p. Por outro lado, caso haja necessidade de racionamento, o usuário  $i=H$  será o primeiro a se sacrificar, cessando o consumo. O usuário H provavelmente cumprirá sua parte no acordo sem coerção do poder público, visto que se trata da materialização de um pacto feito entre ele e os demais usuários, através de uma regra de simples entendimento para todos

Caso ainda haja necessidade de racionamento, será a vez do usuário  $i=E$ . Depois virão, pela ordem, os usuários  $i=D, A, B, J$  e, na posição de maior proteção, o "usuário"  $i=0$ . A Figura 5 mostra a curva de permanência para  $Q(t)$ . A distância horizontal entre as linhas verticais representa a quantidade de água apropriada por cada usuário,  $r_{p,7}(i,t)$ . Como neste exemplo investiga-se apenas o uso quantitativo e  $q(t) < q^*(t)$ , onde  $q(t)$  é o valor assumido pela variável aleatória  $Q(t)$ , haverá racionamento total dos usuários H e E, e parcial do usuário D.

Assumindo-se que a anuidade de outorga de água só deva ser honrada quando o direito de uso (condicionado) possa ser exercido, teremos para este caso  $\beta(H)=\beta(E)=0$ . Já  $\beta(D)$  será calculado com base ao uso efetivo do usuário  $i=D$ , isto é, proporcionalmente a

$$q(t) - (q(0,t) + r_{p,7}(J,t) + r_{p,7}(B,t) + r_{p,7}(A,t)).$$

Observa-se que confiabilidade de atendimento dos "usuário" 0 é a maior de todos, próxima de 100%. Depois vem a confiabilidade do usuário J, também bastante próxima a 100%. Seguem-se as confiabilidades de B, A, D, E e H. Apenas o usuário H tem confiabilidade de atendimento igual a 95%. Todos os demais têm confiabilidade superior a este valor. Seria possível organizar uma fila bem mais longa, em que o último usuário tivesse uma confiabilidade de atendimento bem menor que 95%. Isto é, o poder outorgante poderia conceder outorgas com baixos níveis de confiabilidade para atender aqueles que pretendam utilizar água apenas em situações de abundância hídrica.

Em situação de racionamento, o preço unitário que cada usuário i paga é igual ao preço "marginal"  $d_{p,k}^m(t)$ , ofertado pelo último usuário a não ser totalmente racionado, chamado de usuário "marginal", representado na Figura 5 pelo usuário D. Isto é, na Figura 5 tem-se que  $d_{p,k}^m(t) = d_p(D,t)$ . Se o usuário i for racionado, tem-se  $\beta(i) = 0$ . Se o usuário i não for racionado, tem-se

$$\beta(i) = \sum_{t=1}^T \sum_{p \geq 0} d_{p,k}^m(t) r_{p,k(i)}(i, t), \forall i \in M(k) \quad (8)$$

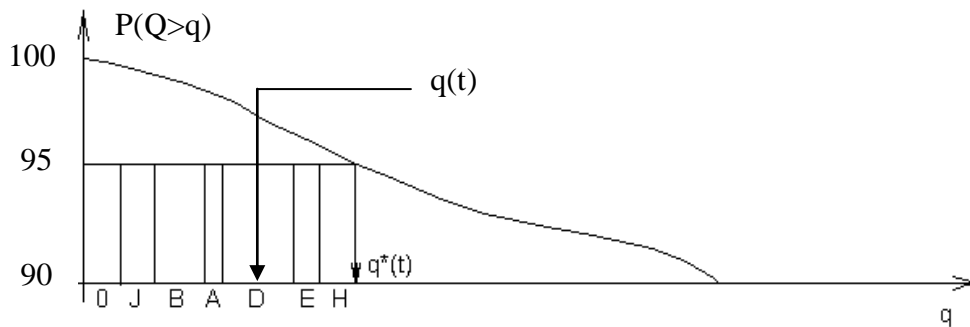


Figura 5 - Prioridade para alocação da água

É recomendável que parte do recurso angariado na bacia, isto é parte de  $\sum_i \beta(i)$ , venha a ser empregado para compensar financeiramente os usuários que sofram racionamento. Assim, por exemplo, se o usuário E utiliza água para plantar uva (alto valor econômico por  $m^3$  de água utilizada na irrigação) e o usuário D para plantar cana de açúcar (baixo valor...), a tendência será que o máximo preço unitário de E, e portanto a prioridade de acesso à água, seja maior do que o de D. Em situação de racionamento, poderá ocorrer que D seja racionado e que E não seja. Nesta circunstância, tudo se passa como se D concordasse em repartir parte de seus ganhos com E em troca da abstinência de uso da água por parte de E. Este comportamento de E permite a continuidade de produção de E; sob o ponto de vista de contribuição para a riqueza da nação (PNB), trata-se da melhor solução. Este tema é estudado em detalhes por Kelman e Kelman (2000).

Existem pelo menos três questionamentos econômicos referentes a uma possível implantação de um sistema como o proposto nesta seção:

- como prever preços unitários de água bruta que serão efetivamente praticados pelos usuários detentores de outorga?
- como prever arrecadação na bacia, a ser canalizada para a correspondente agência de água, ou para os usuários racionados, na forma de compensação financeira?
- como prever o impacto sobre cada usuário da instalação de Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos?

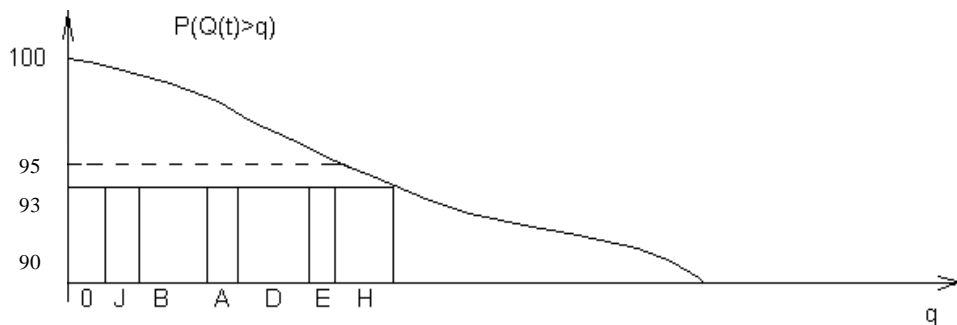
Estes temas são abordados no Anexo.

## RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS POLUÍDAS

O que sucede quando a concentração permissível de algum poluente  $c_p^*$ , DBO por exemplo, decresça ano após ano, como representado na Figura 4, na ausência de mecanismos de comando e controle?

Num primeiro momento, assumindo que os usuários não diminuam por iniciativa própria a carga poluidora, é evidente, pela Equação 3, que a quantidade de água que cada usuário utiliza para diluir seus efluentes deverá aumentar. No exemplo da Figura 3, este efeito ocorreria com todos os usuários, menos os de irrigação, D, E, F, G (assumindo, por simplicidade, que não haja efluente de DBO por parte da irrigação). Os demais usuários teriam a sua conta de água bruta aumentada, em relação ao ano anterior, devido a diminuição da concentração admissível. Talvez isto já fosse estímulo suficiente para alguns usuários tomarem a iniciativa de diminuir a conta, através da redução da carga poluidora (numerador da fração que aparece na Equação 3).

Vamos imaginar, no entanto, que num primeiro momento nenhum usuário toma a iniciativa de diminuir a carga poluidora. A Figura 6 mostra o resultado. Observa-se que a soma das outorgas ultrapassa o volume outorgável  $q^*(t)$ , fazendo com que a garantia de atendimento a todos os outorgados fique inferior a 95%. No caso específico do usuário H, seu nível de garantia ficou em 93%. Se este nível não for aceitável para o usuário H, ele provavelmente buscará uma melhor posição na fila de prioridades, aumentando sua oferta por  $m^3$  de água. Isto é, aumentando  $d_p(H,t)$ . Se a nova ordem de prioridades desagradar algum outro usuário, digamos o usuário D, ele provavelmente buscará também melhorar o seu posicionamento, aumentando  $d_p(D,t)$ . E assim sucessivamente. Tudo se passa como na brincadeira “dança das cadeiras”, em que os contendores se esforçam para não ficar sem a cadeira, quando a música parar. Nesta espiral crescente de custos para os usuários, serão atingidos valores tais que será mais barato para alguns usuários diminuir a utilização de água, seja de captação seja de diluição, através da adoção de tecnologias mais eficazes. Isto fará com que o nível de garantia de atendimento de todos outorgados volte a ficar aceitável. O financiamento para estas transformações tecnológicas poderá vir de um fundo criado com o pagamento de todos os usuários da bacia pelo uso de água bruta.



**Figura 6**

A implantação do sistema de cobrança deverá induzir cada usuário  $i$  a reduzir sua carga poluente, através de tratamento de efluente ou de mudança de tecnologia de produção, o que implicará na redução do correspondente  $r_{p,k}(i,t)$ .

O benefício de cada usuário  $i$ , associada com a melhora da qualidade de resultante do esforço que cada um dos demais usuários  $j$  fará para diminuir o respectivo consumo  $r_{p,k}(j,t)$ , é de difícil quantificação. Esta redução se dará, principalmente, pela redução do custo de tratamento de água para o usuário  $i$ .

## **O CASO DO SETOR ELÉTRICO**

### **Outorga de direito de uso de água X concessão de potencial hidroelétrico**

Qualquer proposta de empreendimento hidráulico numa bacia deve ser examinada pelo poder concedente comparando, para cada trecho de rio, a diferença entre volume outorgável e volume já outorgado. Entretanto, em se tratando de uma nova usina/reservatório hidroelétrico, é necessário que o poder público examine adicionalmente se a nova outorga é aceitável sob a ótica do sistema elétrico interconectado, cuja área de abrangência extrapola a bacia hidrográfica onde se localiza o empreendimento. Em outras palavras, o poder público deverá examinar pedidos de outorga de usinas/reservatórios hidroelétricos avaliando a inserção destes empreendimentos na bacia hidrográfica e no sistema interligado.

### **Olhando para montante**

O proprietário de uma usina hidroelétrica necessita de água para gerar energia, ou para estocar em reservatório para uso futuro. Trata-se de um usuário, que deverá pagar pela



correspondente outorga. A cobrança pela outorga poderia acarretar alguma dúvida por parte do setor elétrico, que já paga compensação financeira a estados e municípios. Entretanto, é preciso não confundir os dois pagamentos. Como dito anteriormente, a outorga dá ao proprietário direito de uso da água. Já a compensação financeira visa tornar atraente, na ótica de governos locais, a instalação de reservatórios e usinas hidroelétricas. A compensação financeira exerce importante papel político, já que o custo ambiental e social associado à construção de uma hidrelétrica é sempre de abrangência local, em contraposição ao correspondente benefício, que é sempre de abrangência regional. Justifica-se o pagamento da compensação financeira por conta de uso cessante da área ocupada pelo reservatório/usina.

Por simplicidade de notação, convém que se crie um trecho “curto” de rio, coincidente com a localização da usina. Seja  $k_u$  este trecho (na Figura 3, trecho 9). Naturalmente, o proprietário da usina e todos os usuários quantitativos situados a montante pertencem ao mesmo conjunto  $M(k_u)$ , e conseqüentemente estarão disputando o mesmo recurso<sup>11</sup>.

Tome-se por exemplo o caso da transposição do Rio São Francisco. Os mais lúcidos favoráveis à transposição argumentam que, como  $Q(t) > q^*(t)$  em 95% dos anos, muita água que hoje é simplesmente desperdiçada poderia ser utilizada para aumentar a confiabilidade de suprimento no semi-árido de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Por outro lado, dentre os mais lúcidos opositores à transposição predominam dois argumentos: (a) é preferível utilizar o excesso de água disponível em 95% dos anos úmidos em projetos de irrigação no próprio Vale do São Francisco, localizados em Minas Gerais e Bahia; (b) nos anos secos, quando  $Q(t) < q^*(t)$ , a transposição acarretaria uma diminuição da energia firme gerada pelo conjunto das usinas da CHESF, localizadas no trecho inferior do rio. Estas usinas foram projetadas contanto com a “vazão firme” igual a  $q^*(t)$ .

Hoje o nítido e legítimo conflito de interesses é razão para o confronto de forças políticas de considerável peso no cenário nacional. Trata-se de um jogo em que a vitória de uma parte implica na derrota da outra. Entretanto, a implantação de um sistema de cobrança, como o proposto acima, poderia dar margem a uma acomodação mais racional, com vantagens para todos os envolvidos.

Nos moldes da metodologia explicada anteriormente, ao início de cada ano haveria um “leilão” pela prioridade de atendimento, na hipótese de ocorrência de um ano seco. Qualquer que fosse o resultado do leilão, o recurso financeiro angariado seria destinado para a melhoria das condições da bacia doadora, isto é, para a Bacia do Rio São Francisco. Como o valor agregado pela energia elétrica ao processo industrial é em geral maior do que o valor agregado pela água ao processo agrícola, é de se esperar que o setor elétrico venha a ter, na maioria dos anos, melhores possibilidades de ofertar o lance mais elevado. Entretanto, dependendo da situação dos outros dois setores usuários (irrigantes na bacia do São Francisco e receptores da transposição), é bem possível que em alguns anos ocorra o contrário. Por exemplo, quando o ano começar com níveis de armazenamento demasiadamente baixos na bacia receptora do Rio Jaguaribe (reservatórios de Orós, Banabuiú e Castanhão).

### **Olhando para jusante**

Uma usina hidroelétrica pode ser a fio d’água ou pode estar associada a um reservatório de regularização. Usina a fio d’água é aquela que utiliza a água sem alterar o regime fluvial. Isto é, a mesma água que em condições naturais “despencaria” em alguma queda ou corredeira, é forçada a passar por uma tubulação que a conduz até a turbina, o que permite o aproveitamento da energia que de outra forma seria desperdiçada em atrito. O proprietário da

---

<sup>11</sup> Embora água muito poluída possa afetar a vida útil das tubulações e da turbina, assume-se por simplicidade, que a qualidade da água não afeta a capacidade de produzir eletricidade.

usina a fio d'água não é um usuário dos trechos de rio a jusante, já que não retira água do rio, nem altera sua qualidade.

Já no caso de usina com reservatório de acumulação, o proprietário da usina é certamente um usuário dos trechos de rio a jusante, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos.

Tudo se passa como se o proprietário da usina/reservatório comprasse água nos meses de acumulação e vendesse nos meses de depleção. Ao acumular, o proprietário da usina disputa a prioridade de suprimento com todos os demais usuários. Isto é, a água só será armazenada no reservatório caso esta ação não cause problemas a qualquer usuário localizado a jusante, com maior prioridade (melhor lugar na fila) que o proprietário da usina. Caso contrário, a água deverá passar pelo reservatório, sem detenção. Ao deplecionar – e portanto ao aumentar o deflúvio para jusante – o proprietário da usina pode estar viabilizando o suprimento de usuários que, de outra forma, deixariam de ser atendidos. Se for este o caso, o razoável é que os pagamentos destes usuários sejam creditados ao proprietário da usina/reservatório. Por exemplo, verifica-se na Figura 2 que os usuários B, E, H e I estão localizados a jusante da usina/reservatório J. Suponha que num mês de estiagem o volume aleatório natural não seja suficiente atender o usuário H que, de acordo com a Figuras 5 e 6, tem a mais baixa probabilidade de atendimento. Suponha adicionalmente que, por efeito da depleção do reservatório J, o usuário H possa ser atendido. Neste caso, seria razoável creditar o pagamento  $\beta(H)$  em favor de J.

Reservatórios são em geral enchidos em época de cheia, quando não há “stress” hídrico e a oferta tende a superar a demanda. Reservatórios são deplecionados nas estiagens, quando a disputa pela água é mais acirrada. Nestas condições, devido à provável flutuação dos preços unitários, é razoável supor que investir na construção de reservatórios possa vir a ser um bom negócio. Entretanto, ocorrem perdas físicas neste processo, devido à diferença entre a evaporação do lago formado pelo reservatório e a evapotranspiração que teria ocorrido na mesma área, caso o reservatório não existisse. Naturalmente, o custo destas perdas será absorvido pelo proprietário da usina/reservatório, uma vez que o volume “comprado” será maior do que o volume “vendido”.

Além disto, a água estocada em reservatórios sofre alterações qualitativas, como por exemplo a eutrofização, que terá efeito em todos os trechos de jusante. Neste sentido, embora o proprietário da usina/reservatório não lance qualquer poluente no curso d'água, ainda assim ele é um usuário qualitativo de todos os trechos situados a jusante.

## CONCLUSÃO

A vinculação da cobrança pelo uso da água à outorga, como acima exposto, apresenta as seguintes vantagens:

- facilidade de controle – embora o monitoramento deva ocorrer continuamente, apenas nas situações de “stress” hídrico seria necessário exercer repressão sobre a utilização indevida;
- colaboração dos usuários na fiscalização - nenhum usuário aceitará ter o seu consumo prejudicado pela ação de algum outro usuário que, por decisão própria, tenha valorizado menos a água;
- aceitação - será mais fácil convencer cada usuário a pagar pelo direito de usar água, que ele certamente valoriza, e cujo máximo valor unitário ele mesmo decide, do que tentar convencê-lo a contribuir por pressão política para o fundo financeiro da bacia hidrográfica.

**Anexo**  
**Preços unitários de água bruta,**  
**arrecadação na bacia e impacto da cobrança sobre cada usuário**

- a) como prever preços unitários de água bruta que serão efetivamente praticados pelos usuários detentores de outorga?
- b) como prever arrecadação na bacia, a ser canalizada para a correspondente agência de água, ou para os usuários racionados, na forma de compensação financeira?
- c) como prever o impacto sobre cada usuário da instalação de Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos?

Por facilidade de exposição, será examinado apenas o caso quantitativo, para um trecho de rio  $k$ , para um único mês  $t$ . Estes índices serão omitidos, por simplicidade de notação.

Seja

- $i, j$  = índices de usuários pertencentes ao conjunto  $M(k)$
- $d(i)$  = máximo preço que o  $i$ -ésimo usuário estaria disposto a pagar por cada  $m^3$  de água, para não ser racionado.
- $r(i)$  = consumo mensal de água do  $i$ -ésimo usuário
- $PRIOR+(i)$  = conjunto de usuários tal que, se  $j \in PRIOR+(i) \Rightarrow d(j) > d(i)$
- $PRIOR=(i)$  = conjunto de usuários tal que, se  $j \in PRIOR=(i) \Rightarrow d(j) \geq d(i)$
- $s(i)^-$  =  $\sum_{j \in PRIOR+(i)} r(j)$ , isto é, consumo agregado com prioridade de atendimento superior à prioridade do  $i$ -ésimo usuário
- $s(i)^+$  =  $\sum_{j \in PRIOR=(i)} r(j)$ , isto é, consumo agregado com prioridade de atendimento superior ou igual à prioridade do  $i$ -ésimo usuário
- $Q$  = volume afluente em um mês (variável aleatória)

Por simplicidade, vamos assumir que exista algum usuário cujo máximo preço unitário coincida com o preço unitário em regime “normal”, fixado pelo comitê de bacia.

Se  $A(i)$  é a conta de água bruta que o  $i$ -ésimo usuário irá pagar num mês qualquer, tem-se:

$$A(i) = d(j)r(i) \quad \text{caso } s(j)^- \leq Q \leq s(j)^+ \text{ e } d(j) < d(i) \text{ (atendimento total)} \quad (A1-a)$$

$$A(i) = d(i)[Q - s(i)^-] \quad \text{caso } s(i)^- \leq Q < s(i)^+ \text{ (atendimento parcial)} \quad (A1-b)$$

$$A(i) = 0 \quad \text{caso } Q < s(i)^- \text{ (déficit total)} \quad (A1-c)$$

Em ambos os casos,  $A(i)$  é uma variável aleatória. Seu valor esperado pode ser estimado por

$$E(A(i)) = \sum_{j \in M(k)} \{ U(i, j) (d(j)r(i) \int_{s(j)^-}^{s(j)^+} f_Q(q) \partial q) + d(i) \int_{s(i)^-}^{s(i)^+} (q - s(i)^-) f_Q(q) \partial q \} \quad (A2)$$

onde

$$U(i, j) = 1 \text{ se } d(i) > d(j),$$

$$U(i, j) = 0, \text{ caso contrário} \quad (A3)$$

$f_Q(\cdot)$  = função densidade de probabilidade da variável aleatória  $Q$

Seja

$$c(i) = \text{custo mensal do usuário } i, \text{ por cada } m^3 \text{ não suprido.}$$

Naturalmente, só o  $i$ -ésimo usuário sabe exatamente qual é o valor de  $c(i)$ . Entretanto, se  $\text{renda}(i)$  é a renda líquida mensal média do  $i$ -ésimo usuário, é razoável estimar  $c(i)$  como sendo

$$c(i) = \min[\text{renda}(i)/r(i), c_{\max}], \quad (A4)$$

onde,

$C_{\max}$  = preço do  $m^3$  dado pela alternativa de suprimento disponível, por exemplo carro pipa.

Se  $C(i)$  é o prejuízo mensal do  $i$ -ésimo associado com alguma falta de água, tem-se:

$$C(i) = 0 \quad \text{caso } s(i)^+ \leq Q \quad (\text{atendimento total}) \quad (A5-a)$$

$$C(i) = c(i)[s(i)^+ - Q] \quad \text{caso } s(i)^- \leq Q < s(i)^+ \quad (\text{atendimento parcial}) \quad (A5-b)$$

$$C(i) = c(i)r(i) \quad \text{caso } Q < s(i)^- \quad (\text{déficit total}) \quad (A5-c)$$

O valor esperado de  $C(i)$  é dado por

$$E(C(i)) = c(i)r(i) \int_{-\infty}^{s(i)^+} f_Q(q) \partial q + c(i) \int_{s(i)^-}^{s(i)^+} (s(i)^+ - q) f_Q(q) \partial q \quad (A6)$$

O  $i$ -ésimo usuário deverá escolher o valor para  $d(i)$  que minimize o valor esperado de  $A(i)+C(i)$ . Isto é, que minimize  $E(A(i))+E(C(i))$ .

Cada usuário só saberá qual a sua melhor oferta de máximo preço unitário  $d(i)$  depois de conhecer o máximo preço unitário dos demais usuários. Para efeito de simulação, pode-se adotar um método iterativo, descrito na seqüência, para calcular as grandezas de interesse numa bacia hidrográfica.

- a) Seja o índice de iteração  $n=0$  e  $[d(1), d(2), d(3)...]_0$  o vetor inicial, de partida.
- b) Ache o valor  $d(i)$ , para cada usuário  $i$ , que minimize  $E(A(i))+E(C(i))$ , adotando-se os preços unitários  $[d(1), d(2), d(3)...]_n$ .
- c) Ao final da etapa (b), obtém-se  $[d(1), d(2), d(3)...]_{n+1}$
- d) Caso  $[d(1), d(2), d(3)...]_{n+1}$  seja "próximo" de  $[d(1), d(2), d(3)...]_n$ , fim.
- e) Caso contrário, faça  $n=n+1$  e vá para (b).

A aplicação deste algoritmo permitirá o cálculo de:

- a) o valor esperado do faturamento mensal da agência de bacia, dada por  $\sum_i E(A(i))$ ;
- b) o valor esperado do acréscimo de custo de cada usuário,  $E(A(i))+E(C(i))$ , que decorre da implantação de um sistema de cobrança pelo uso de água bruta.

## REFERÊNCIAS

Kelman, J. e R. Kelman 2000, Alocação de água em região semi-árida, a ser publicado pela International Water Resources Association.

Sperling, M. 1998, Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 3, n.1, p. 111-132.