

ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS BASEADA NO CUSTO DE OPORTUNIDADE DOS USUÁRIOS

Rodrigo de Matos Moreira¹ e Jerson Kelman²

1- Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP. Telefone: (21)2555-0213. rmoreira@finep.gov.br

2- Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B. 70610 200. Brasília, DF, telefone (61) 445-5441. jerson@ana.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Um rio limpo, com água suficiente para suprir qualquer atividade, seja ela econômica ou não, naturalmente, não constitui um problema. Entretanto, na medida em que a demanda pela água se aproxima ou mesmo ultrapassa a oferta disponível, como acontece nas regiões mais áridas do planeta, ou onde os usos econômicos (indústria, produção de energia, navegação e irrigação) competem entre si, o problema sobre quem deve ter acesso à água e quem deve ser racionado é inevitável.

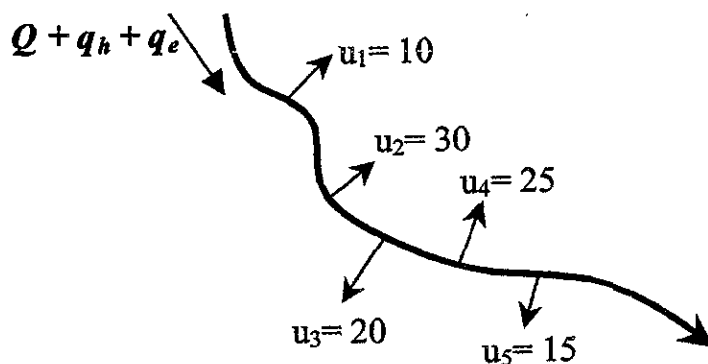
O objetivo deste trabalho é contribuir para este processo de tomada de decisão. O uso racional da água torna-se fundamental na maximização do desenvolvimento sócio-econômico. Nesta linha, o trabalho apresenta um modelo de alocação de natureza econômica, baseado no custo de oportunidade dos usuários. A partir deste modelo, apresenta-se um sistema de cobrança pelo uso da água e outro de compensação financeira, de maneira a promover a alocação racional dos recursos hídricos e proporcionar justiça social.

2. MÉTODO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE

KELMAN & KELMAN (2001) introduzem as bases teóricas para a implementação de um modelo que considera o custo de oportunidade dos usuários como o elemento primordial para a alocação da água. É um modelo de embasamento econômico, cuja aplicação leva, de fato, a uma maior eficiência.

Suponha a situação representada pela figura 1, em que 5 usuários utilizam água como insumo de produção para suas respectivas atividades econômicas. A água é captada em um trecho de rio ou canal onde não existe reservatório com capacidade relevante de regularização. Sejam u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 as demandas dos usuários, ordenadas de montante para jusante. Admite-se que os usuários sejam todos consuntivos, ou seja, que consomem plenamente as quantidades demandadas, não havendo fluxo de retorno.

Figura 1. Cinco usuários consuntivos num trecho de rio sem reservatório



Tanto as demandas de água u_i como o volume afluyente ao trecho são referentes a um mesmo intervalo de tempo Dt . No caso deste exemplo, a demanda total d é igual a 100 unidades volumétricas.¹

O volume afluyente, à montante do usuário 1, é dado por $Q + q_h + q_e$, onde Q é a disponibilidade hídrica para fins produtivos; q_h é a reserva hídrica para consumo humano e dessedentação de animais; q_e é a reserva hídrica para a preservação do ecossistema.

O volume afluyente é uma variável aleatória, porém neste artigo é assumido que será sempre maior do que $q_h + q_e$, o que implica dizer que nunca faltará água para atender às necessidades básicas não econômicas. Portanto, o problema apresentado se resume à distribuição da água como insumo de produção.

Se $Q \geq d$, então a demanda de todos os usuários poderá ser atendida, e não existe problema de escassez. A probabilidade deste evento é representada por $P(Q \geq d)$. Porém, se $Q < d$, nem todos os usuários poderão ser atendidos, e será necessário definir algum critério de racionamento que estabeleça quais usuários têm prioridade de uso sobre os demais. A probabilidade associada à escassez de água é dada por $P(Q < d)$.²

Qualquer que seja o critério de racionamento adotado, será necessária a instalação de uma infra-estrutura de controle para que os direitos de uso possam ser respeitados. Isto resulta num custo chamado de "custo de transação", que deve ser repartido entre os usuários de forma proporcional às suas respectivas demandas. Assim, cada usuário deve contribuir com uma parcela igual a $b u_i$ para manter o sistema administrativo e de controle, onde b é o preço unitário do direito de uso da água.

Na hipótese de escassez de água, o ideal seria criar um modelo de racionamento que estabelecesse prioridades de acesso baseadas em alguma racionalidade, seja econômica ou social. KELMAN & KELMAN (2001) propõem que a prioridade de acesso à água seja estabelecida de acordo com o custo de oportunidade dos usuários. O usuário declara seu custo de oportunidade ao poder concedente e, quanto maior for este valor, maior será sua prioridade de uso, formando um *ranking* de prioridades. O custo de oportunidade é equivalente ao benefício líquido b_i que o usuário i obtém pela utilização de uma unidade volumétrica de água no intervalo de tempo Dt considerado, assumindo que o custo da água seja zero. Os demais custos unitários, incluindo o preço b , devem ser considerados. Conforme se verifica, o aspecto de eficiência é priorizado pela adoção de um mecanismo econômico de alocação.

Como a água é alocada preferencialmente às atividades que geram um maior benefício unitário com o seu uso, a probabilidade de racionamento cresce no sentido das atividades com maior benefício unitário para aquelas com menor benefício unitário.

A tabela 1, a seguir, mostra qual seria o resultado da aplicação deste modelo para o caso da bacia da figura 1. Os benefícios unitários, na segunda coluna, foram arbitrados para dar continuidade ao exemplo. Foi estabelecida uma condição de escassez em que o volume afluyente Q é igual a 80 unidades volumétricas. A última coluna da tabela 1 mostra o benefício total que cada usuário gera.

Tabela 1. "Custo de Oportunidade"

Usuário	Benefício unitário	Prioridade	Demanda	Volume atendido	Benefício econômico
i	b_i		u_i	q_i	$b_i q_i$
1	5	4	10	5	25
2	7	3	30	30	210
3	10	1	20	20	200
4	8	2	25	25	200
5	3	5	15	0	0
Total			$D = 100$	$Q = 80$	635

¹ A demanda total é dada por $d = u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5 = 100$.

² Quando $P(Q < d) > 5\%$, trata-se de uma situação de escassez típica de uma região semi-árida.

Este problema de alocação dos recursos hídricos, segundo o método do custo de oportunidade, também pode ser resolvido através da otimização a seguir:

$$\text{Max}(\sum_{i=1}^N b_i q_i), \text{ onde } N = 5 \text{ é o número de usuários existentes.}$$

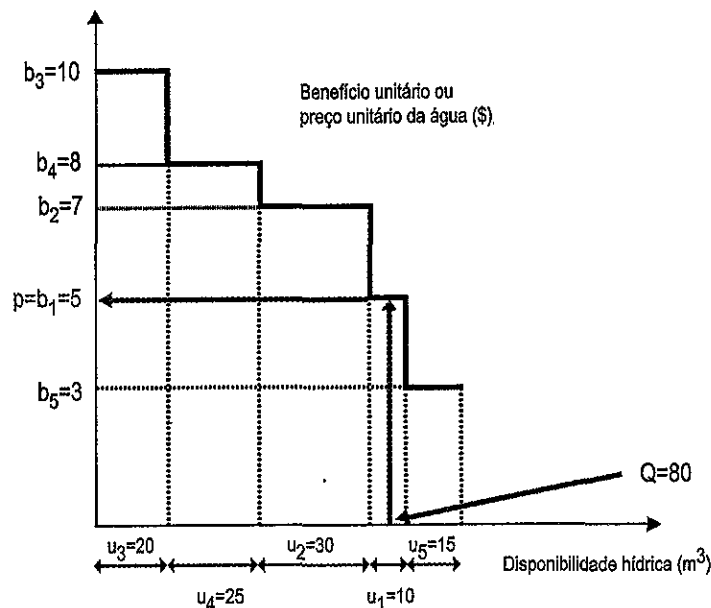
$$\text{Sujeito a seguinte restrição: } \sum_{i=1}^N q_i = Q$$

Nota-se que, por construção, o modelo baseado no custo de oportunidade maximiza o benefício econômico. Este modelo de racionamento, embora seja muito eficiente, é muito injusto socialmente, pois marginaliza os usuários com menor custo de oportunidade, provavelmente os mais frágeis economicamente. Para corrigir este fato indesejado, nos períodos em que há escassez, é prevista a realização de um sistema composto por cobrança e compensação financeira, que servirá para beneficiar todos os usuários do sistema. A cobrança é proporcional ao volume atendido, sendo o total arrecadado utilizado em investimentos em infra-estrutura, custeio de atividades ou compensação financeira, o que for de interesse coletivo dos usuários, conforme decisão tomada no âmbito da associação de usuários ou do comitê de bacia hidrográfica.

Não se deve confundir esta cobrança, que é proporcional ao volume atendido, e só realizada em períodos de racionamento, com a cobrança do “custo de transação”, que é proporcional ao volume demandado e ocorre sempre, com ou sem racionamento.

Na hipótese de racionamento, o preço unitário p a ser cobrado pela água é igual ao benefício unitário do usuário que sofre racionamento parcial, chamado “usuário limite”. No exemplo, o usuário 1 é quem sofre racionamento parcial, e como seu benefício unitário é igual a \$5, o preço unitário a ser cobrado dos usuários não racionados também será igual a \$5. Cumpre destacar que, neste sistema, o preço da água varia inversamente com a disponibilidade hídrica, e, no limite, quando $Q > d$, o preço é nulo. O conceito é ilustrado pela figura 2.

Figura 2. Determinação do preço da água em regime de racionamento



Note que este critério de cobrança é bastante coerente com o sistema baseado no custo de oportunidade, já que o benefício unitário representa o preço máximo que o usuário estaria disposto a pagar pela água, para não ser racionado. O usuário 5, que tem benefício unitário igual a \$3, prefere ser racionado e deixar de pagar \$5. O usuário 3, que tem benefício unitário igual a \$10, prefere pagar \$5 pela água, não ser racionado, e continuar, mesmo assim, lucrando a diferença $(10 - 5) = 5$.

Como já mencionado, uma das possibilidades para o montante arrecadado pela cobrança pelo uso da água é compensar financeiramente aqueles usuários menos favorecidos economicamente. Esta é uma medida de

justiça social. Um critério razoável é ratear a compensação entre todos os usuários, racionados ou não, de forma que todos eles alcancem um mesmo percentual α de seus respectivos potenciais benefícios $b_i u_i$. Assim, o resultado final obtido por cada usuário i , após o recebimento de sua parcela g_i da compensação financeira, é $b_i q_i - p q_i + \gamma_i = \alpha b_i u_i$, onde α é o percentual fixo. Fazendo um somatório da equação acima para todos os usuários i , resulta em:

$$\sum b_i q_i - p \sum q_i + \sum \gamma_i = \alpha \sum b_i u_i$$

$$\sum b_i q_i - pQ + \sum \gamma_i = \alpha \sum b_i u_i$$

No caso de o montante arrecadado pela cobrança ser totalmente restituído aos usuários, através de suas respectivas compensações financeiras g_i :

$$\sum b_i q_i - pQ + pQ = \alpha \sum b_i u_i$$

$$\alpha = \frac{\sum b_i q_i}{\sum b_i u_i}$$

Para o exemplo, α é igual a 0,9. Isto quer dizer que, após a realização da compensação financeira, todos os usuários conseguiriam um benefício igual a 90% do que seria alcançado se não tivesse havido racionamento. A tabela 2 ilustra todos os cálculos:

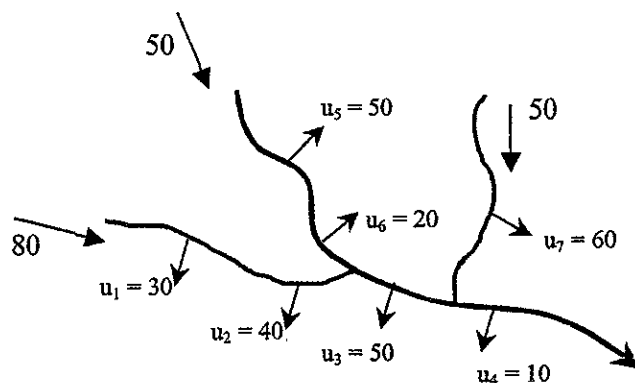
Tabela 2. Sistema de cobrança e compensação financeira

Usuário	Prioridade	Benefício		Volume atendido	Benefício econômico	Custo da água	Comp. financeira	Resultado final
		unitário	Demanda					
i	4	b_i	u_i	q_i	$b_i q_i$	$p q_i$	γ_i	45
1	3	5	10	5	25	25	45	189
2	1	7	30	30	210	150	129	180
3	2	10	20	20	200	100	80	180
4	5	8	25	25	200	125	105	41
5		3	15	0	0	0	41	635
Total			$d = 100$	$Q = 80$	635	$pQ = 400$	400	

3. GENERALIZAÇÃO DO MÉTODO

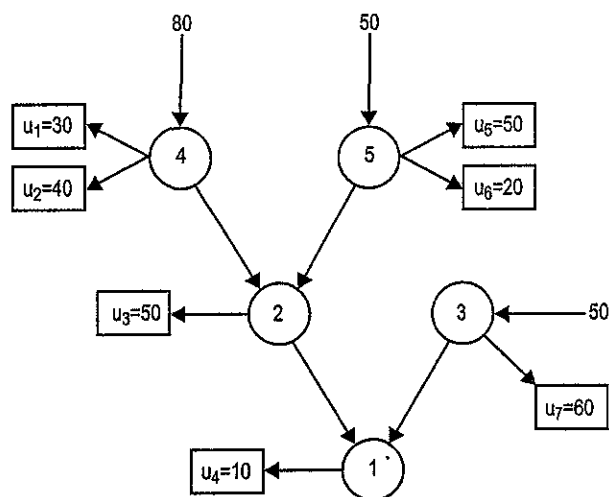
MOREIRA (2001) ampliou a teoria apresentada para casos mais complexos, como o apresentado pela figura 3, onde a bacia hidrográfica possui vários afluentes. Desta forma, a disponibilidade hídrica não é mais única para a bacia inteira, havendo um incremento no sentido de montante para jusante, sempre que há uma confluência.

Figura 3. Sete usuários consuntivos alimentados por três cursos d'água



Torna-se conveniente a introdução de uma esquematização gráfica, onde os arcos representam trechos de rios e os nós representam pontos notáveis, como confluências de rios. Desta forma, a situação da figura 3 pode ser representada pelo esquema a seguir:

Figura 4. Representação por arcos e nós da figura 3



O volume disponível aos usuários, além de aumentar no sentido de montante para jusante, devido ao incremento da área de drenagem, é uma variável aleatória. Assim, numa bacia hidrográfica genérica formada por diversos afluentes, onde existem k nós e n usuários, cada nó $j = 1, 2, \dots, k$ possui uma disponibilidade hídrica V_j .

Para garantir que todos os usuários de um nó j sejam atendidos, é necessário, embora não seja suficiente, que o volume V_j , descontados os volumes demandados pelos usuários de montante, seja maior ou igual ao somatório das demandas dos usuários do próprio nó j , ou seja:

$$V_j - \sum_{i \in N_j} u_i \geq \sum_{i \in P_j} u_i, \text{ como } N_j \cup P_j = R_j, \text{ então:}$$

$$V_j \geq \sum_{i \in R_j} u_i$$

Onde:
 u_i – demanda do usuário i ;
 N_j – conjunto dos usuários localizados a montante do nó j ;
 P_j – conjunto dos usuários localizados no nó j .
 R_j – conjunto dos usuários localizados no nó j , mais os de montante.

A condição acima não é suficiente, porque mesmo que ela seja atendida, pode ser que algum usuário do nó j seja racionado. Isto pode ocorrer quando alguma parcela do volume V_j é utilizada por um usuário de nó de jusante que esteja mais bem colocado no *ranking* de prioridades. Por outro lado, quando a equação acima é satisfeita por todos os k nós da bacia hidrográfica, fica estabelecida a condição necessária e suficiente para que os n usuários da bacia hidrográfica sejam atendidos. Caso contrário, fica comprovada a existência de escassez³, devendo ser adotado algum sistema de racionamento.

³ Mesmo que o não atendimento à equação só tenha sido verificado em um nó, o sistema de racionamento atingirá a bacia hidrográfica inteira, devido ao fato de suas águas serem indissociáveis.

A figura 5 apresenta o fluxograma do algoritmo “Escassez”, que verifica se há ou não água suficiente para atender à demanda dos usuários. Há duas possibilidades de resultado para o algoritmo. Se houver escassez, será necessária a adoção de um sistema de racionamento, devendo-se seguir para o algoritmo “Alocação”, descrito a seguir. Se não houver escassez, segue-se diretamente para o algoritmo “Cobrança”, onde todos os usuários pagarão o preço b pelo uso da água. A verificação da condição de escassez para a bacia do exemplo é mostrada na tabela 3.

Figura 5. Fluxograma do algoritmo “Escassez”

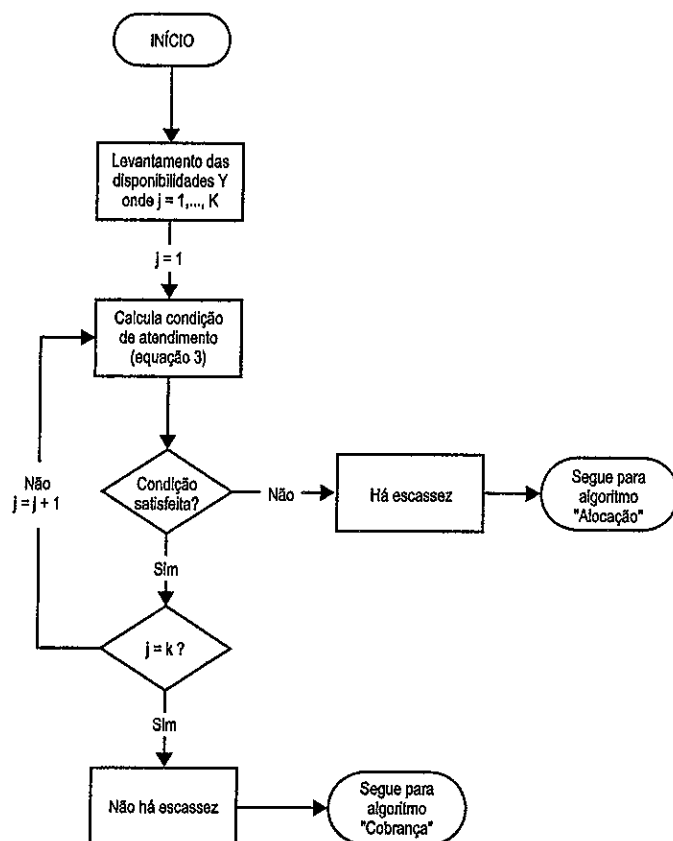
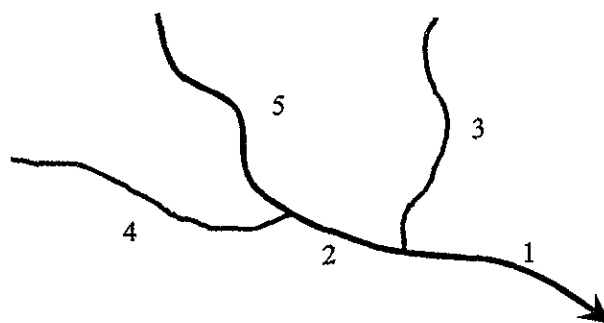


Tabela 3. Verificação de escassez para a bacia hidrográfica da figura 3

Nó j	Volume disponível v_j	Somatório das demandas dos usuários pertencentes ao conjunto R_j	Condição de atendimento (equação 5.2)
5	50	70	Falso
4	80	70	verdadeiro
3	50	60	Falso
2	130	190	Falso
1	180	260	Falso

Uma vez comprovada a escassez de água para atender à demanda dos usuários, será adotado o sistema de racionamento baseado no custo de oportunidade, pois ele disciplina o uso, maximizando os benefícios gerados com o recurso escasso. A implementação do mecanismo começa com a realização das atividades descritas na sub-rotina “Alocação Preliminar”. Para sua realização é necessário ordenar os nós no sentido de jusante para montante, de forma que o índice de um nó seja sempre menor que o índice do nó de montante. A figura 6, a seguir, mostra como esta ordenação se aplica ao exemplo:

Figura 6. Ordenação dos nós de uma bacia no sentido de montante para jusante



A sub-rotina "Alocação Preliminar" consiste de k alocações, uma para cada nó, que devem ser realizadas segundo a ordenação inversa estabelecida, começando pelo nó k e terminando pelo nó 1, que se encontra na foz da bacia. Para esta sub-rotina, os n_j usuários do nó j podem se apropriar somente do volume incremental afluyente A_j e de possíveis sobras dos nós de montante. O volume incremental afluyente A_j de cada nó j é dado pela seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^N q_i = Q$$

Onde: A_j – volume incremental afluyente ao nó j ;
 V_k – disponibilidade hídrica dos nós k imediatamente a montante;
 U_j – conjunto de nós localizados imediatamente a montante do nó j .

Para cada nó j , a alocação da água se processa seguindo o *ranking* de prioridades, formado somente pelos usuários que nele captam água. Caso sobre algum volume de água, este deve ser somado à disponibilidade hídrica do nó s_j de jusante. Esta alocação preliminar serve para verificar se os usuários têm água suficiente para atender as suas demandas no nó onde fazem captação, sem precisar dos volumes incrementais de montante. O dado de saída desta sub-rotina é o volume de atendimento q_i preliminar de cada usuário.

Supondo que os benefícios unitários dos usuários do exemplo sejam os apresentados na terceira coluna da tabela 4, pode-se montar o *ranking* de prioridades de cada nó. A sub-rotina começa pelo nó 5, onde a disponibilidade hídrica é igual ao seu volume incremental afluyente $A_5 = 50$, então o usuário 6, primeiro colocado no *ranking* deste nó, recebe 20 unidades volumétricas (u.v.), restando somente 30 para o usuário 5. O nó 4 possui disponibilidade hídrica igual ao seu volume incremental afluyente $A_4 = 80$. Como a disponibilidade é maior que a demanda total, os dois usuários que captam água neste nó são atendidos, e o volume correspondente à diferença, $80 - 70 = 10$ u.v., sobra para o nó 2 de jusante. O nó 3 possui disponibilidade hídrica igual ao seu volume incremental afluyente $A_3 = 50$, logo o usuário 7 só pode ter parte de sua demanda atendida em 50 u.v. O nó 2 possui disponibilidade hídrica igual à soma do seu volume incremental afluyente $A_2 = 0$ com as sobras dos nós 4 e 5, $0 + 10 + 0 = 10$ u.v., que é utilizada pelo usuário 3. A disponibilidade hídrica do nó 1 é igual a zero, então não há água para alocar ao usuário 4.

Tabela 4. Alocação preliminar referente ao exemplo da figura 3

Nó	Usuário	Benefício unitário	Demanda	Atendimento preliminar
j	i	b_i	u_j	q_j
5	6	7	20	20
	5	2	50	30
4	2	10	40	40
	1	1	30	30
3	7	3	60	50
2	3	5	50	10
1	4	8	10	0
TOTAL			260	

Em seguida, será realizada uma nova alocação, desta vez considerando que o usuário também pode ser atendido por volumes incrementais, que foram alocados preliminarmente a usuários de nós de montante. Para a realização da sub-rotina "Nova Alocação (i)", os usuários da bacia devem ser agrupados e colocados em ordem decrescente de custo de oportunidade. Para o caso do exemplo, observando os dados da tabela 4, chega-se à nova ordenação (2, 4, 6, 3, 7, 5, 1).

O índice i da sub-rotina mostra que ela deve ser realizada para cada usuário i , seguindo o novo *ranking*. Se o usuário já foi atendido na alocação preliminar, ou seja, $q_i = u_i$, não há necessidade de realizar esta sub-rotina para ele, devendo continuar com a mesma alocação q_i . O usuário que foi preliminarmente racionado poderá ser atendido em detrimento de um usuário de montante que tenha custo de oportunidade menor que o dele. Portanto, será necessário levantar o vetor M_i dos m_i usuários a montante do usuário i que possuem custo de oportunidade menor que o dele, colocados em ordem crescente de custo de oportunidade. Na "Nova Alocação (i)", o usuário i tem a oportunidade de ser atendido utilizando os atendimentos preliminares q_k ; $k = 1, \dots, m_i$; dos usuários que fazem parte do seu vetor M_i . Ele vai se apropriando dos atendimentos destes usuários, seguindo a ordem de M_i , até ser totalmente atendido ou não haver mais água para suprir sua demanda, sendo, portanto, racionado, parcial ou totalmente. Uma vez que já passaram pela sub-rotina "Nova Alocação (i)", os usuários não podem mais ter seus atendimentos alterados, pois nunca farão parte do vetor M_i de um usuário com custo de oportunidade menor que o deles.

A tabela 5 apresenta a alocação final dos recursos hídricos para o exemplo da figura 3. Começando pelo primeiro no *ranking* de prioridades, o usuário 2 foi plenamente atendido na alocação preliminar, então ele continua com o mesmo atendimento $q_2 = 40$. O usuário 4 não foi totalmente atendido em sua demanda de $u_4 = 10$, necessitando se apropriar dos atendimentos dos usuários do vetor M_4 . Bastou para o usuário 4 se apropriar de 10 u.v. do usuário 1 para poder ser plenamente atendido, então $q_4 = 10$. O usuário 6 está sendo plenamente atendido, então ele continua com o mesmo atendimento $q_6 = 20$. O usuário 3 não é totalmente atendido em sua demanda de $u_3 = 50$, necessitando se apropriar dos atendimentos dos usuários do vetor M_3 . O usuário 3 precisou se apropriar de 20 u.v. do usuário 1 mais 20 u.v. do usuário 5 para poder ser plenamente atendido, então $q_3 = 50$. Os usuários 7, 5 e 1 não são plenamente atendidos, porém não possuem nenhum usuário nos seus respectivos vetores M_7 , M_5 e M_1 , então continuam com o mesmo atendimento $q_7 = 50$, $q_5 = 10$ e $q_1 = 0$.

Tabela 5. Alocação final dos recursos hídricos para a bacia hidrográfica da figura 3

Usuário	Demanda	Benefício unitário	Ranking de prioridades	Atendimento final
i	u_i	b_i		q_i
1	30	1	7	30 - 10 - 20 = 0
2	40	10	1	40
3	50	5	4	10 + 20 + 20 = 50
4	10	8	2	0 + 10 = 10
5	50	2	6	30 - 20 = 10
6	20	7	3	20
7	60	3	5	50
Total	260			180

O algoritmo para alocação dos recursos hídricos pode ser mais bem compreendido através do fluxograma "Alocação" da figura 7, que compreende as sub-rotinas "Alocação Preliminar" e "Nova Alocação (i)", que se encontram logo após, nas figuras 8 e 9, respectivamente.

Figura 7. Fluxograma do algoritmo "Alocação"

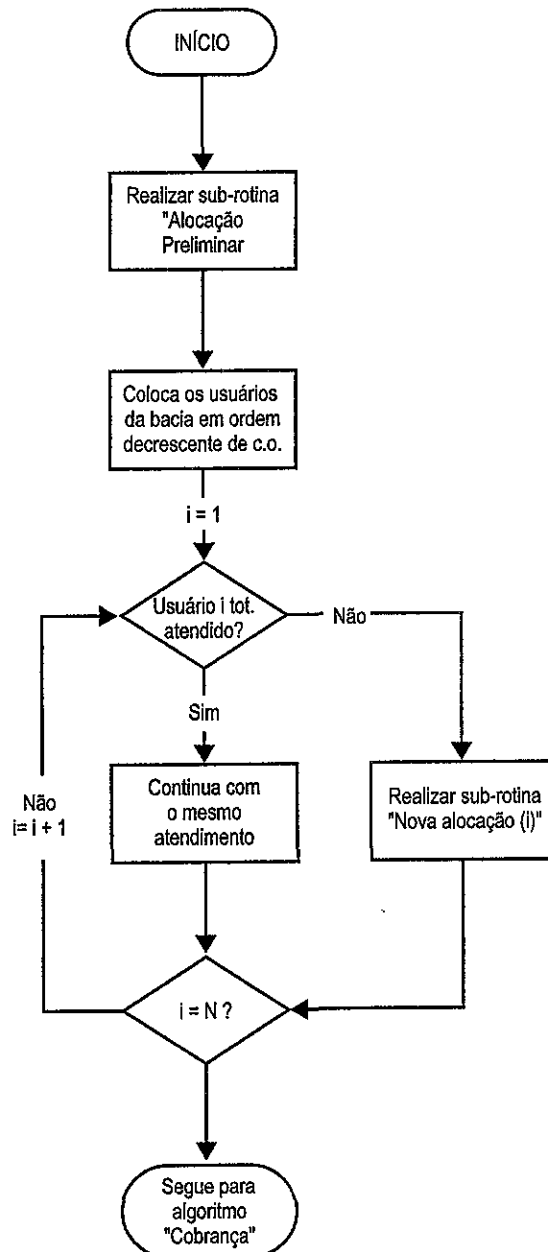


Figura 8. Fluxograma da sub-rotina "Alocação Preliminar"

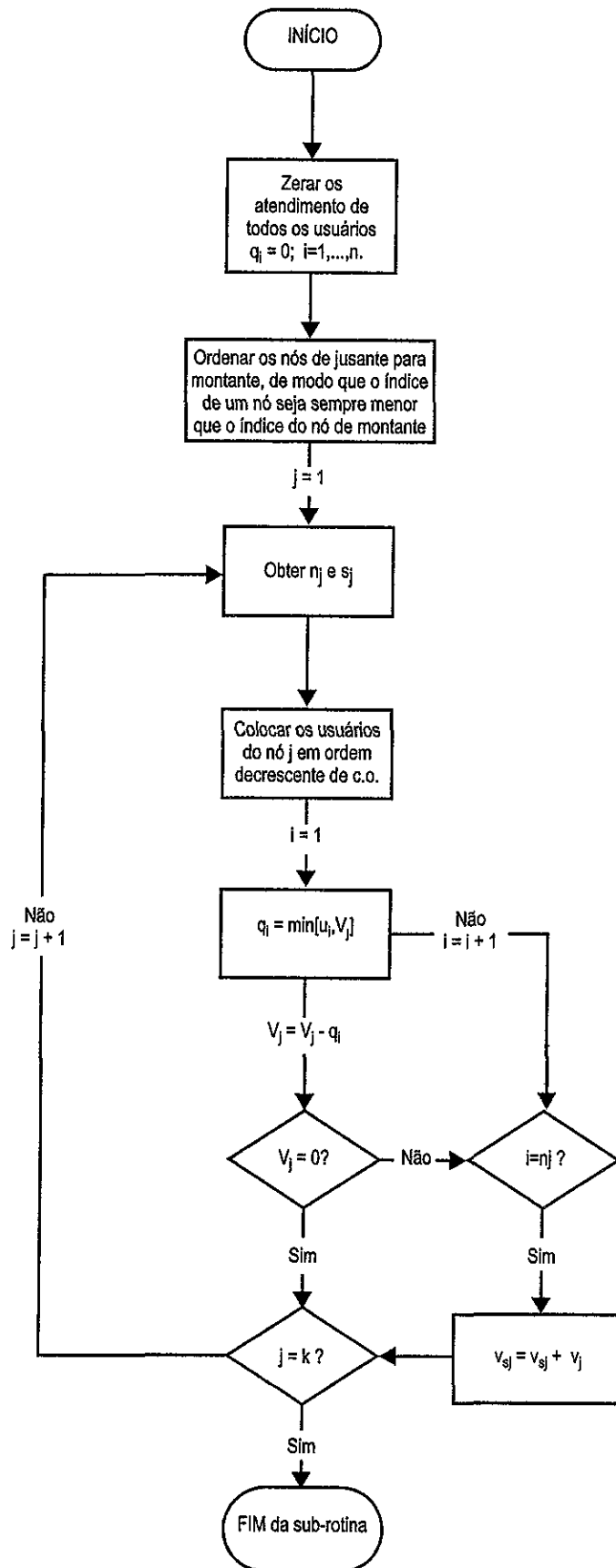
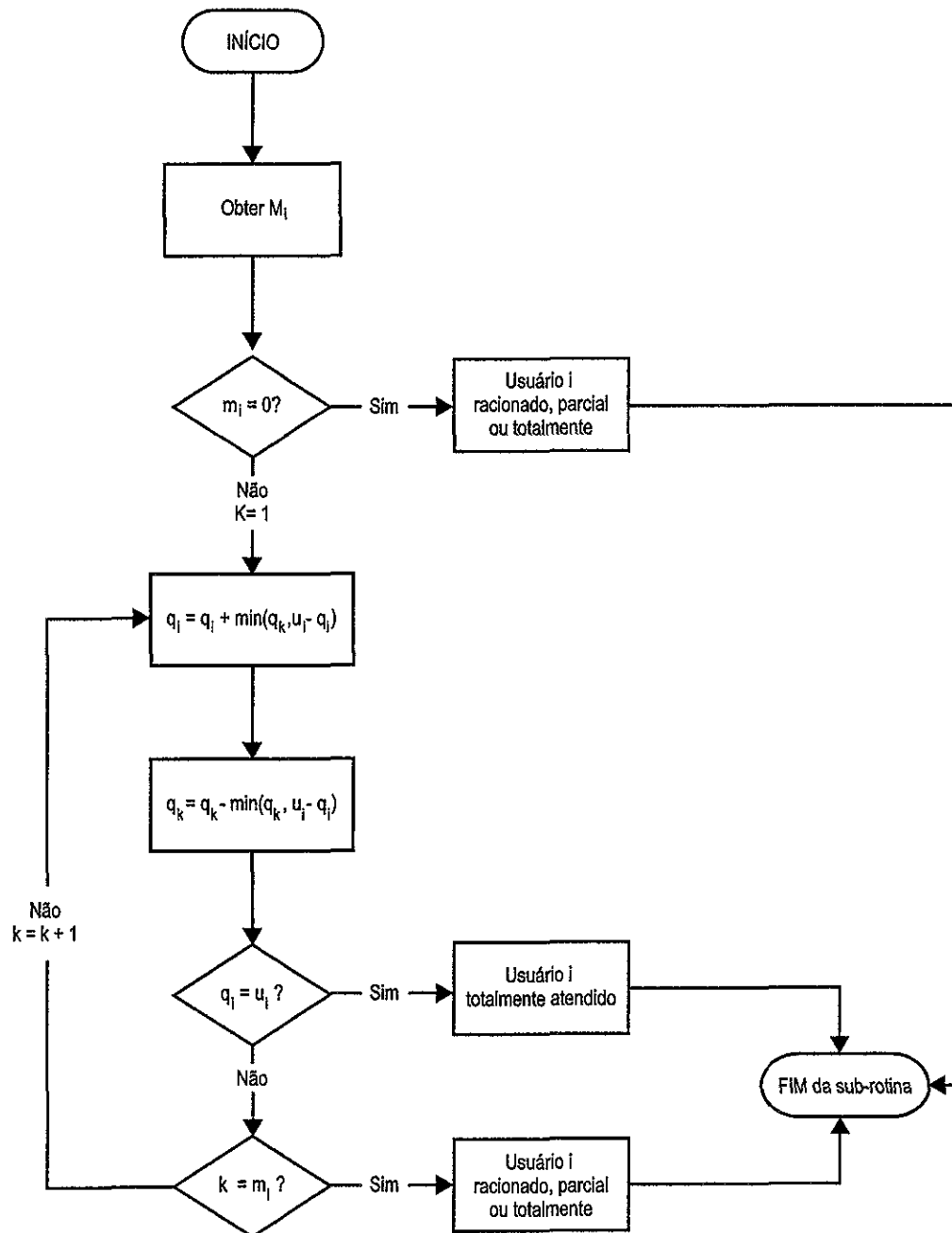


Figura 9. Fluxograma da sub-rotina "Nova Alocação (i)", para cada usuário i



4. SISTEMA DE COBRANÇA POR NÓS

É possível, como ficou demonstrado pelo exemplo, que mais de um usuário seja racionado parcialmente. O sistema de cobrança apresentado por KELMAN & KELMAN (2001), embora seja extremamente racional e adequado ao método do custo de oportunidade, só prevê o caso particular de um usuário sendo racionado parcialmente. Foi estabelecido que, em situações de racionamento, o preço p a ser cobrado de todos os usuários não racionados deve ser igual ao benefício líquido unitário b_i do usuário i racionado parcialmente (“usuário limite”). Entretanto, quando mais de um usuário é racionado parcialmente, não há critérios para determinar qual valor deve ser cobrado dos usuários pelo uso da água.

A disponibilidade hídrica dentro de uma bacia hidrográfica aumenta no sentido de montante para jusante, devido ao aumento da área de drenagem. O sistema de cobrança deve refletir esta variação de disponibilidade hídrica, logo o preço cobrado dos usuários pelo uso da água deve poder variar dentro da bacia hidrográfica.

A disponibilidade hídrica em um nó, entretanto, é igual para todos os usuários nele localizados, sendo justamente isto que o caracteriza. Como no nó todos os usuários competem diretamente pelo mesmo volume de água, caso haja racionamento, o preço a ser cobrado deles deve ser único.

MOREIRA (2001) propôs que, no caso de racionamento, ao invés de se fazer uma cobrança única para a bacia hidrográfica inteira, seja realizada a cobrança de um preço p_j diferente para cada nó j .

Em condições de racionamento, quando um usuário de um nó j é atendido, um ou mais usuários localizados em diversos nós da bacia são racionados em seu lugar. É preciso verificar, entre estes usuários racionados, aquele que possui o maior benefício unitário, sendo identificado como o “usuário limite”, de modo que o preço p_j que o usuário atendido deve pagar pelo uso da água é igual ao benefício unitário deste usuário.

O “usuário limite” necessariamente sofre racionamento parcial, e pode estar localizado no próprio nó j , ou em qualquer outro nó da bacia. O procedimento descrito precisa ser repetido para todos os usuários atendidos da bacia, pois o grupo de usuários racionados, incluindo o “usuário limite”, varia de um usuário atendido para outro.

Este conceito difere do apresentado anteriormente, na medida em que depende da identificação de qual usuário está sendo racionado parcialmente em favor do atendido. Anteriormente não havia esta questão, pois só existia um “usuário limite”, que era racionado em favor de todos os demais atendidos. É esta diferença que possibilita a existência de preços diferentes para cada nó, ao invés de um preço único para a bacia hidrográfica inteira. Este novo conceito é mais amplo.

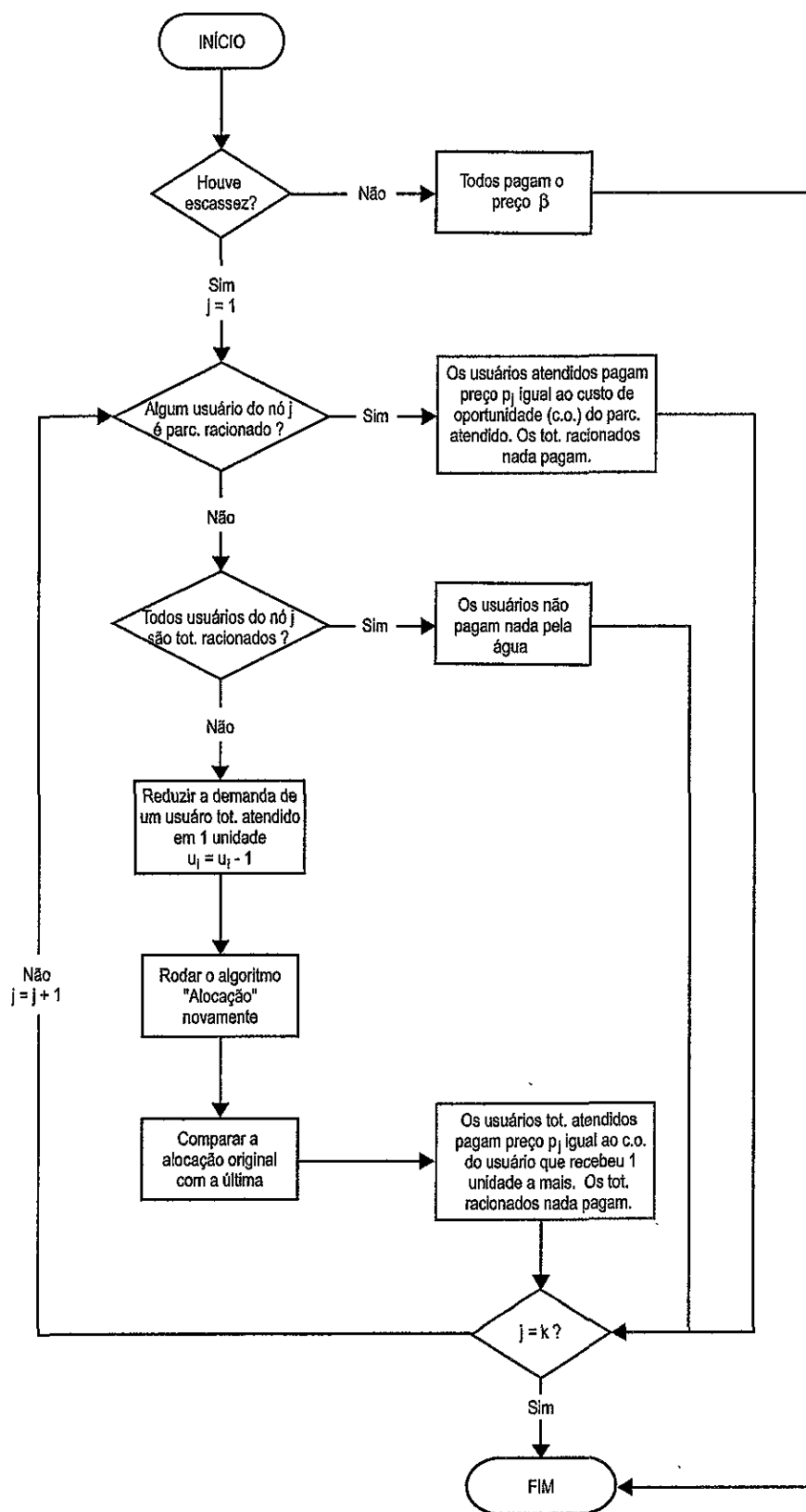
É possível desenvolver um algoritmo genérico capaz de identificar qual usuário está sendo racionado parcialmente (“usuário limite”) em favor de cada atendido, e, conseqüentemente, quanto cada usuário atendido deve pagar pelo uso da água em situações de racionamento.

Se o usuário i está sendo totalmente racionado, ele não paga pela água, já que não a está utilizando. Caso o usuário i seja parcialmente racionado, ele deve pagar um preço igual ao seu próprio custo de oportunidade, já que ele é o seu próprio “usuário limite”. No caso de o usuário i ser totalmente atendido, realiza-se uma nova alocação dos recursos hídricos, onde sua demanda é reduzida em uma unidade. Depois dessa alteração, efetua-se novamente a alocação. Algum usuário que estava sendo racionado parcialmente receberá uma unidade de água a mais, sendo identificado como o “usuário limite” do usuário i , demonstrando ser justamente ele que, do grupo de racionados do usuário i , tem o maior benefício unitário. O usuário atendido deve pagar pelo uso da água um valor igual ao benefício unitário do seu respectivo “usuário limite”. Este procedimento deve ser repetido para todos os usuários atendidos da bacia⁴, não sendo necessário seguir o *ranking* de prioridades.

As regras deste sistema de cobrança podem ser mais bem compreendidas através do fluxograma da figura 10.

⁴ Como em um nó todos pagam o mesmo valor pelo uso da água, não é necessário repetir este procedimento para todos os usuários atendidos da bacia, bastando realizá-lo para somente um usuário atendido de cada nó.

Figura 10. Fluxograma do algoritmo "Cobrança"



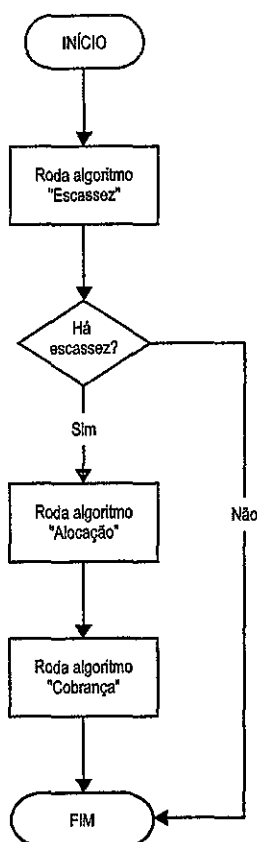
A determinação do preço p_j (preço no nó j) a ser cobrado dos usuários do exemplo pode começar por qualquer nó. Todos os usuários do nó 1 são totalmente atendidos. Quando a demanda do usuário 4 é reduzida em uma unidade, o usuário 5 tem seu atendimento aumentado, então p_1 é igual ao custo de oportunidade do usuário 5, ou seja, $p_1 = \$2$. Todos os usuários do nó 2 são totalmente atendidos. Quando a demanda do usuário 3 é reduzida em uma unidade, o usuário 5 tem seu atendimento aumentado, então p_2 é igual ao custo de oportunidade do usuário 5, ou seja, $p_2 = \$2$. O usuário 7, localizado no nó 3, é parcialmente racionado, então p_3 é igual ao custo de oportunidade deste usuário, ou seja, $p_3 = \$3$. Não há nenhum usuário parcialmente racionado no nó 4. Os usuários totalmente racionados (usuário 1) nada pagam. Os usuários totalmente atendidos pagam $p_4 = \$2$, já que, se se reduzir em uma unidade a demanda do usuário 2, o usuário 5 tem seu atendimento aumentado. O usuário 5, localizado no nó 5, é parcialmente racionado, então p_5 , a ser pago por todos os usuários atendidos, é igual ao custo de oportunidade deste usuário, ou seja, $p_5 = \$2$.

Tabela 6. Preço pago pelos usuários da Bacia Hidrográfica da figura 3

Usuário	Nó	Preço pago (\$)
i	j	p_j
1	4	0
2	4	2
3	2	2
4	1	2
5	5	2
6	5	2
7	3	3

Uma noção geral do procedimento é mostrada no fluxograma da figura 11, a seguir:

Figura 11. Fluxograma do algoritmo "Geral"



5. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada mostra que é possível realizar uma alocação de água em situação de escassez que considere simultaneamente a eficácia econômica e a equidade social. Para que o modelo de gestão apresentado seja implementado, é necessário que haja uma cooperação entre os usuários e, desta forma, todos sairão ganhando. Tudo acontece como se, ao invés de uma disputa pela água, os usuários com maior custo de oportunidade pagassem os usuários com menor custo de oportunidade para abrir mão de sua produção, de modo que a riqueza da bacia seja gerada pelos capazes de agregar maior valor à água.

Um fator importante é que toda a teoria desenvolvida ao longo do trabalho é perfeitamente exequível e adequada à nova estrutura legal-institucional que vem se implantando no Brasil, podendo servir como alternativa ou inspiração à gestão de recursos hídricos brasileira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KELMAN, J. & KELMAN, R. 2001. Alocação de água para produção econômica em região semi-árida. *In: Gestão ambiental de bacias hidrográficas* (Magrini, A. & Santos, M. A. dos, ed.), Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais.
- MOREIRA, R. 2001. *Alocação de recursos hídricos em regiões semi-áridas*. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.