

# Proposta Metodológica de Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos Usando o Valor de Shapley: Uma Aplicação à Bacia do Rio Paraíba do Sul<sup>†</sup>

▪ Gil Bracarense Leite<sup>\*</sup>

▪ Wilson da Cruz Vieira<sup>\*\*</sup>

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos baseada na alocação de custos – entre os setores demandantes de água – de projetos relacionados com melhorias em uma bacia hidrográfica. Essa metodologia consiste em regra de alocação conhecida como valor de Shapley, pertencente à teoria de jogos cooperativos, e, para mostrar sua aplicabilidade, realizou-se um estudo de caso no trecho paulista da bacia do rio Paraíba do Sul, tendo-se utilizado, como critérios de alocação de custos, os volumes de água captada e consumida, além da quantidade lançada de efluentes. Na aplicação da metodologia, consideraram-se três cenários distintos: bacia “limpa”, bacia poluída e uma situação intermediária, mais próxima da realidade atualmente encontrada na sub-bacia analisada. Os resultados obtidos mostraram-se altamente dependentes dos critérios de alocação de custos adotados (pesos atribuídos aos volumes de água captada e consumida e quantidade lançada de efluentes), sendo que, no caso do cenário intermediário considerado, os valores encontrados indicaram que os usuários urbanos deveriam arcar com a maior parte dos custos quando comparados às taxas que vêm sendo atualmente cobradas, já que estes são os usuários que mais lançam efluentes, sendo a deterioração da qualidade da água o problema de maior relevância nesta área da bacia.

## Palavras-Chave

recursos hídricos, alocação de custos, valor de Shapley, bacia hidrográfica

## Abstract

This study aimed to propose a methodology for charging for the use of water resources based on the allocation of costs – among sectors that demand water – of projects related to improvements in a river basin. This methodology consists of a rule of allocation known as Shapley value, belonging to the theory of cooperative games, and to show its applicability, we performed a case study in a sub-basin of the Paraíba do Sul river basin. As criteria for allocation of costs, we used the volumes of water withdrawn and consumed, and the amount of effluent discharged into the river. In applying the methodology, we considered three different scenarios: “clean” basin, polluted basin, and an intermediate situation, closer to real situation now found in the sub-basin analyzed. The obtained results showed high dependence of the cost allocation criteria (weights assigned to the volumes of water withdrawn and consumed, and the quantity of effluent discharged), and, in the case of intermediate scenario considered, the values found indicate that the urban users should pay the greatest part of the costs when compared to the fees currently in use, since these users are among those that greatly discharge effluents, being the deterioration of water quality the most relevant problem in this basin.

## Keywords

water resources, cost allocation, Shapley value, river basin

## JEL Classification

Q25, Q56

† Os autores agradecem os comentários e sugestões recebidos de um parecerista anônimo desta revista, isentando-o de quaisquer erros e omissões remanescentes. No desenvolvimento deste trabalho, os autores receberam apoio financeiro da FAPEMIG.

\* Departamento de Administração, Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: gilbracarense@yahoo.com.br.

\*\* Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: wvieira@ufv.br.

Endereço para contato: Departamento de Administração – Escola de Ciências Humanas e Sociais – UFF – R. Desembargador Ellis Hermydio Figueira, 783 – Aterrado – Volta Redonda – RJ. CEP: 27215-350.

(Recebido em março de 2009. Revisões requeridas em novembro de 2009. Aceito para publicação em fevereiro de 2010).

## 1 Introdução

A água doce é um dos recursos naturais essenciais no planeta Terra; porém, com a maior industrialização e urbanização, muitos países passaram a enfrentar problemas relacionados com a qualidade da água de seus rios, tornando este bem cada vez mais escasso (REBOUÇAS, 2002). Dado que a água é utilizada para diferentes propósitos, se medidas urgentes não forem adotadas, a escassez dos recursos hídricos pode fazer com que os conflitos pelo seu uso se tornem irremediáveis, comprometendo o desenvolvimento de regiões e/ou países. Portanto, há a necessidade de se implementar instrumentos eficientes de gestão, que busquem uma alocação mais apropriada da água entre os seus usuários.

No Brasil, o modelo de gestão dos recursos hídricos foi reformulado a partir da Lei Federal nº 9.433 de 1997 e guarda semelhanças com o modelo de gestão aplicado na França, já que ambos se baseiam nos princípios da descentralização, participação e integração, tendo a bacia hidrográfica como unidade de referência (CAMPOS, 2005). Essa lei reconheceu a água como um bem de domínio público e dotado de valor econômico, devido à sua escassez na natureza.

Para proporcionar a gestão descentralizada, a lei determinou a criação de comitês, que seriam os órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos em cada bacia hidrográfica. Os comitês são formados por representantes do poder público, usuários de água e entidades civis de recursos hídricos com atuação na bacia. Entre as competências que lhes são atribuídas, em sua área de atuação, destacam-se, entre outras (BRASIL, 1997): a) aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia; b) estabelecer mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados, e c) estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

As melhorias que ocorrerão na área de uma bacia devem ser financiadas por recursos arrecadados dos usuários de água. Desse modo, uma fonte de debates na gestão de recursos hídricos é como os custos dos múltiplos projetos de interesse coletivo, que serão implementados no interior de uma bacia, serão alocados entre os usuários. Os valores a serem cobrados de cada usuário e o total a ser arrecadado vão estar vinculados aos múltiplos projetos de melhorias que podem ser realizados simultaneamente. Os projetos, que constarão no Plano de Recursos Hídricos da bacia, terão suas prioridades definidas com base nas características de cada bacia, tais como níveis de poluição, grau de assoreamento de rios, etc.

Uma questão-chave nessa discussão refere-se à definição das bases da cobrança e da fórmula a ser adotada. Como a legislação estabeleceu que cada comitê tem o

poder de definir a metodologia de cobrança dentro de sua área de atuação, existem diversas possibilidades a serem seguidas no Brasil. Dessa forma, alguns comitês (principalmente os de rios de domínio da União) já adotam fórmulas que são diferentes entre si, aumentando a discussão sobre qual seria a fórmula de cobrança ideal pelo uso da água em uma bacia hidrográfica.

Tendo em vista o exposto, este trabalho objetivou propor uma metodologia baseada no valor de Shapley para alocar custos de projetos entre os demandantes de água em uma bacia hidrográfica. O valor de Shapley é uma regra de alocação pertencente à teoria dos jogos cooperativos que foi adaptada, neste trabalho, para atender os critérios estabelecidos pela legislação brasileira de recursos hídricos. Essa regra caracteriza-se por ser uma metodologia justa, em que o sentido de justiça, no caso do uso de recursos hídricos, relaciona-se ao fato de que os demandantes de água são cobrados de acordo com o grau em que utilizam esses recursos. Assim, num projeto de despoluição das águas, o principal setor poluidor deveria arcar com a maior parcela dos custos de despoluição; num projeto de melhoria do sistema de distribuição de água, o setor que demanda as maiores quantidades do recurso deveria arcar com a maior parte dos custos de sua execução, e assim por diante.

A bacia do rio Paraíba do Sul, localizada na região Sudeste do País, foi utilizada como estudo de caso na aplicação do valor de Shapley ponderado, proposto neste trabalho. Utilizaram-se dados do trecho paulista dessa bacia, pois acredita-se que, quanto mais descentralizada for essa cobrança, maiores especificidades de cada região poderão ser levadas em consideração. Como a criação dos comitês e a adoção da cobrança pelo uso da água ainda são relativamente recentes no Brasil, espera-se que este trabalho contribua com as discussões sobre esse tema, tendo em vista a gestão eficiente dos recursos hídricos.

## **2 Metodologias de Cobrança pelo Uso da Água em Bacias Hidrográficas**

Apesar de a legislação brasileira estabelecer que cada comitê tem o poder de escolher a fórmula de cobrança em sua área de atuação, ainda são poucas as bacias hidrográficas em que já há uma cobrança efetiva. Mesmo assim, existem muitos comitês formados e em processo de discussão para definir as bases da cobrança, de modo que a tendência é surgir um número cada vez maior de fórmulas diferentes para as respectivas bacias, aumentando a discussão sobre o aperfeiçoamento das metodologias e sobre qual seria a fórmula ideal. Além disso, há metodologias que não estão em prática, mas que são sugeridas pela literatura para o caso brasileiro, algumas das quais são apresentadas a seguir.

Carrera-Fernandez e Ferreira (2002) propuseram um modelo para a otimização dos recursos hídricos em bacia hidrográfica e o aplicaram à bacia do Rio Formoso, no Estado da Bahia. Nessa proposta, o valor da água emerge da resolução de um modelo de otimização do uso dos recursos hídricos considerando os três maiores usuários de água: geração de energia, agricultura irrigada e abastecimento urbano. Os autores consideraram, na resolução do modelo e definição de preços para a água, a metodologia de preços ótimos.

Um aspecto importante dessa metodologia é que ela considera a existência de externalidades negativas entre os demandantes de água. Com a presença dessas distorções de mercado, segundo os autores, deixa-se de observar as condições ideais para uma alocação ótima dos recursos. Deste modo, o estabelecimento do preço igual ao custo marginal – característica do mercado competitivo – não é mais a situação preferível. Com essa ressalva, Carrera-Fernandez e Ferreira (*ibidem*) usaram a metodologia de preços ótimos para apresentar funções de lucro para os três setores citados com o intuito de encontrar o nível ótimo de utilização dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso – BA.

A proposta de Carrera-Fernandez e Ferreira (*ibidem*) é uma alternativa para as falhas do mercado competitivo já que considera a presença de externalidades. Todavia, como no Brasil não há a comercialização da água, essa definição teórica de mercado é sempre uma aproximação envolta em controvérsias. Ademais, o trabalho utiliza funções de lucro específicas para os setores demandantes considerados. Tal procedimento cria obstáculos para a consideração de um novo setor demandante ou para a utilização dessa metodologia em outras bacias, requerendo novas coletas de dados e novas estimações.

Outro exemplo na literatura que trata do estabelecimento de preço para a água é visto em Vieira e Vieira (2008). Esses autores apresentaram um modelo dinâmico para alocar água superficial e água subterrânea entre diferentes usuários em uma bacia hidrográfica. Tendo por base um modelo matemático que maximiza os benefícios sociais líquidos na alocação de água em um período finito de tempo, foram analisadas questões relacionadas com a gestão de recursos hídricos, tais como sustentabilidade no uso desses recursos e os efeitos econômicos da cobrança pelo uso da água. O modelo desenvolvido por esses autores foi aplicado à bacia do rio Araguari, localizada no Estado de Minas Gerais.

Uma vez que a água ou os direitos de outorgas não são comercializáveis no Brasil, o trabalho de Vieira e Vieira (*ibidem*) teve como característica relevante a utilização do mercado competitivo como referência na alocação desse recurso. Segundo esses autores, os mercados competitivos são boas aproximações mesmo em situações em

que a alocação de água não ocorre via mercados, como no Brasil, onde, conforme a legislação, tal processo deve ocorrer por meio de negociações no âmbito dos comitês. Para os autores, estas negociações podem levar a resultados próximos aos de um mercado competitivo.

A solução do modelo proposto por Vieira e Vieira (2008) passou pelo estabelecimento de um preço para água. Com a suposição de mercado competitivo, o preço de equilíbrio é equivalente ao custo marginal (de captação da água). Tal suposição, ainda que facilite a resolução do modelo, pode ser um problema caso as reais configurações do mercado de água se afastem da competição perfeita. Outra desvantagem é que a metodologia proposta é altamente demandante de informações, especialmente elasticidades de demandas setoriais de água, informações estas que nem sempre estão disponíveis para a maioria das bacias hidrográficas brasileiras. O modelo tem uma característica importante, todavia, no que se refere ao planejamento dos recursos hídricos, pois aborda a questão da sustentabilidade no uso desse recurso.

No trabalho de Alvim (2005), o objetivo foi determinar o valor da água partindo da estimação de demandas dos principais usuários, tendo como estudo de caso a bacia do Rio Pardo, localizada no Estado do Rio Grande do Sul. A metodologia fundamenta-se na curva de demanda, que descreve o quanto os usuários estão dispostos a pagar pelo uso dos recursos hídricos e, utilizando o conceito microeconômico do preço de reserva, retrata o valor máximo que um consumidor está disposto a pagar por determinado bem. Partindo das funções de demanda, o maior peso da cobrança deve recair sobre os usuários em que a elasticidade-preço é menor, pois, segundo esse autor, estes são os que podem pagar as maiores quantias, já que são os menos sensíveis às variações nos preços.

Um problema do método da disposição a pagar é que ele se baseia, normalmente, na obtenção de dados coletados por meio de entrevistas com os agentes econômicos, o que traz dificuldades adicionais para se considerar mais usuários ou para aplicar o método em diferentes bacias, já que novas equações de demanda teriam que ser estimadas. Ainda assim, o trabalho apresenta uma abordagem interessante ao relacionar a capacidade de pagamento diretamente com a elasticidade-preço da demanda. Alvim (*ibidem*) destacou, ainda, a importância da definição do preço da água não só por meio de fórmulas de cobrança, mas também por meio das discussões que ocorrem dentro dos comitês.

O conceito de disposição a pagar é comum dentro de um campo de estudo denominado “valoração ambiental”, cada vez mais recorrente na literatura brasileira, que busca encontrar o valor econômico dos recursos hídricos e de outros ativos

ambientais por meio de aproximações das preferências dos possíveis usuários destes bens. Como afirmado anteriormente, o problema dos métodos de valoração é a dificuldade na obtenção dos dados, uma vez que depende da definição de amostras – o que é precedido por diversas técnicas estatísticas – e da aplicação de questionários para que se possa estimar a disposição a pagar.

A questão da disposição a pagar pode não ser a mais adequada em relação a usuários como indústrias, agricultores e empresas de saneamento, pois estes tenderão a revelar baixos valores, já que estarão em melhor situação se pagarem menos. Todavia, este método pode ser recomendado para os chamados usos não consuntivos da água, como a preservação ambiental e o turismo. É o caso, por exemplo, dos trabalhos de Fernandez e Kuwahara (2005), que estudou o valor dos recursos hídricos no uso turístico na cidade de Brotas – SP, e Goulart Júnior *et al.* (2005), que focou a preservação da qualidade dos recursos hídricos na bacia do Rio Tubarão, localizado no Estado de Santa Catarina. Nesse sentido, a cobrança pelo uso da água poderia combinar diferentes métodos, tendo em vista um uso mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos. Observa-se, ainda, que aspectos como preservação e turismo normalmente não são tratados pelos métodos que se ocupam em estudar a cobrança pelo uso da água nos setores que a consomem diretamente.

Dada a existência de grande variedade de metodologias para valorar a água, uma interessante divisão pode ser vista em Ferraz (2008), em que essas metodologias foram separadas em dois grandes grupos: metodologias de preços com objetivo de financiamento e metodologias de preços baseadas na eficiência econômica.

Nas metodologias de preços com objetivo de financiamento, a cobrança assumiria o caráter de financiar os investimentos e custos de operações que fossem imprescindíveis à manutenção dos recursos hídricos. Entraria nesse caso, por exemplo, uma metodologia extremamente simples como a do preço médio, em que este é calculado pela divisão do montante total dos custos dos projetos entre os usuários. Ainda que o método do preço médio tenha a vantagem da simplicidade administrativa e da quase inexistência de custos, não seria a metodologia economicamente mais eficiente, podendo resultar em distorções na alocação de água. Métodos mais sofisticados, que se baseiam num número maior de critérios, poderiam ser mais apropriados quando questões como rateios de custos entre usuários dos recursos hídricos forem levadas em consideração.

Já as metodologias de preços baseadas na eficiência econômica visam à racionalização do uso da água, o reconhecimento da água como bem econômico e à sinalização do seu real valor. São metodologias que, segundo Carrera-Fernandez e Garrido (2000), na maior parte dos casos, estão associadas aos modelos de otimização de

equilíbrio parcial ou geral baseados na teoria econômica neoclássica. Estariam inclusos nesse grupo, por exemplo, métodos que visam ao cálculo da disposição a pagar e à metodologia de preços ótimos, já vistos anteriormente.

Além disso, segundo Ferraz (2008), há também os estudos que analisam a possibilidade de criação de mercados privados de água como forma alternativa ao modelo de alocação pública. Nesse caso, porém, algumas condições devem ser satisfeitas para que se tenha algum sucesso, como uma clara definição dos direitos de propriedade, a ausência de externalidades, informação simétrica entre os agentes econômicos, etc.

Para enriquecer este debate sobre o uso dos recursos hídricos, propõe-se, na seção 4 deste trabalho, uma metodologia de alocação de custos baseada em uma adaptação do valor de Shapley (valor de Shapley ponderado) para estabelecer a cobrança pelo uso da água em uma bacia hidrográfica. Antes, porém, apresenta-se, na próxima seção, uma descrição mais detalhada da bacia do rio Paraíba do Sul, bacia esta que foi utilizada como estudo de caso na aplicação da metodologia proposta.

### **3 Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caracterização e Cobrança pelo Uso da Água**

#### **3.1 Caracterização do Trecho Paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul<sup>1</sup>**

A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS) está localizada na região Sudeste do Brasil, em três dos principais Estados do País: São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, com área de, aproximadamente, 55.500 km<sup>2</sup>. Em sua extensão, encontram-se, atualmente, 180 municípios e cerca de 5,35 milhões de habitantes. A região onde se localiza a BRPS é uma das mais importantes no cenário econômico brasileiro, visto que abriga importantes indústrias e cidades que respondem por quase 10% da riqueza do País.

A principal fonte de preocupação na bacia é o declínio na qualidade da água devido à poluição industrial e, principalmente, aos esgotos municipais não tratados.<sup>2</sup> Ao longo do rio Paraíba do Sul e seus afluentes, indústrias se instalaram e cidades cresceram, lançando efluentes nos rios, na maioria das vezes sem tratamento, degradando a qualidade das águas e reduzindo sua disponibilidade.

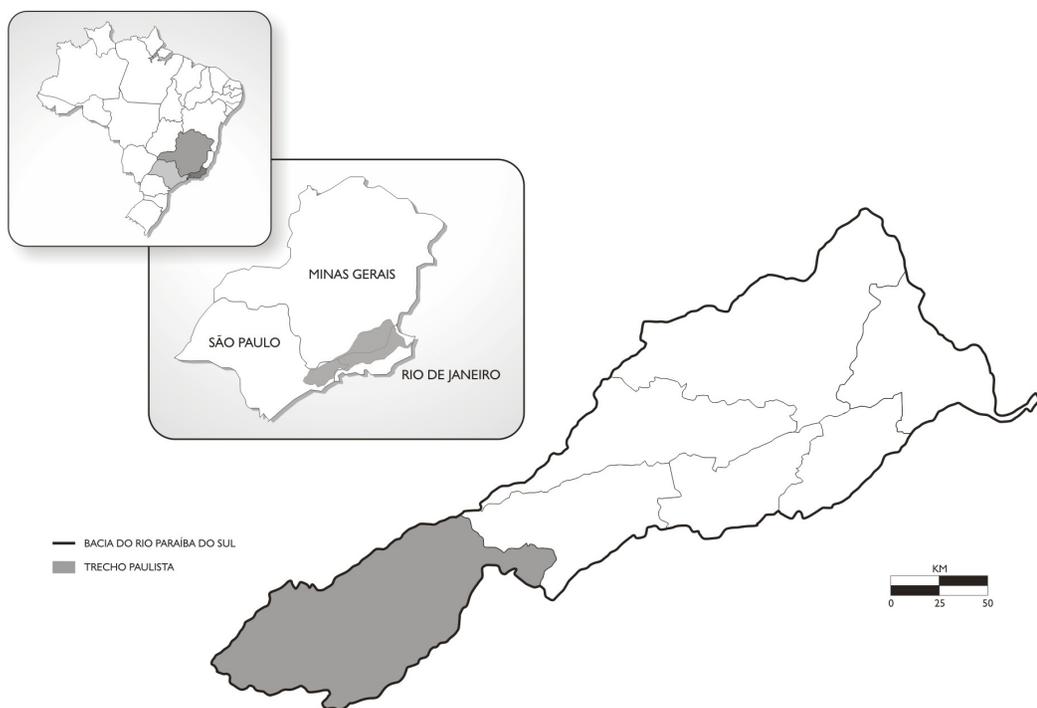
Em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos na BRPS, o órgão gestor é o CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul),

1 Esta seção baseia-se em COPPETEC (2007a) e COPPETEC (2007b).

2 Apenas 17,6% das regiões urbanas da BRPS tratam seus efluentes domésticos.

instituído em 1996. O CEIVAP foi pioneiro na implantação da cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, adotada em 2003.

A grande abrangência territorial da BRPS e o fato de ela situar-se em três Estados fazem com que a divisão de seu território seja imprescindível para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. A BRPS está dividida em sete regiões que representam as áreas de atuação de comitês ou associações de usuários, conforme mostra a Figura 1. Este trabalho concentrou-se no trecho paulista da BRPS – onde atua o Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS ou Comitê Paulista) – descrito em maiores detalhes a seguir.



**Figura 1 – Localização Geográfica da Bacia do Rio Paraíba do Sul e do Trecho Paulista**

Localizada na região onde nasce o rio Paraíba do Sul, a área de atuação do Comitê Paulista abrange todos os municípios do Estado de São Paulo que pertencem à BRPS. Estende-se ao longo de uma área de cerca de 13.914 km<sup>2</sup>, onde se localizam 39 municípios, com uma população aproximada de 2 milhões de habitantes, configurando-se como a subdivisão mais extensa e populosa da bacia. Nesse trecho,

os municípios mais representativos são: Jacareí, Guaratinguetá, Taubaté e São José dos Campos, sendo este último o mais populoso dos municípios da BRPS.

A área de atuação do Comitê Paulista é reconhecida como aquela em que há o maior parque industrial de toda a BRPS, além de possuir um relevante conjunto de reservatórios e usinas hidrelétricas. O trecho paulista possui também as cidades com os melhores indicadores socioeconômicos. Em relação à cobertura florestal, tem-se, nessa área, um percentual de destaque ante a maioria das outras regiões da bacia.

Concentrando-se nos usuários mais relevantes (agricultura, indústria e abastecimento urbano), tem-se que as quantidades captada e consumida de água, além do lançamento de efluentes<sup>3</sup> no trecho paulista da BRPS, seguem o padrão apresentado na Tabela 1, em estimativas realizadas para o ano de 2005.

**Tabela 1 – Captação de Água, Consumo de Água e Lançamento de Efluentes por Usuário no Trecho Paulista da BRPS, ano de 2005**

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	2,24	11,20	0,68	6,71	0,1288	13,58
2. Urbano	6,16	30,80	1,24	12,23	0,8194	86,42
3. Agricultura	11,60	58,00	8,22	81,07	0	0
Total	20,00	100,00	10,14	100,00	0,9483	100,00

Fonte: COPPETEC (2007b).

Pode-se perceber que, em relação à captação de água, há um destaque para o setor agrícola, que é o maior demandante, seguido dos setores urbano e industrial. Contudo, o setor agrícola se destaca ainda mais quando a análise é referente à quantidade consumida, já que essa atividade se destaca como aquela em que há grandes perdas no uso da água que é retirada dos corpos hídricos. No que se refere à quantidade lançada de efluentes nessa área da bacia, o comportamento do setor urbano se destaca, sendo substancialmente superior ao setor industrial.

### 3.2 Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Paraíba do Sul – Metodologia em Vigência desde 2007

A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS) foi a primeira a implementar o sistema de cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, em vigor desde março

3 O único parâmetro poluente considerado é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), já que, segundo Campos (2001), as informações disponíveis não possibilitam a estimativa de outros poluentes.

de 2003. Contudo, a fórmula de cobrança atual foi instituída em 2007, quando o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP) adotou uma nova metodologia de cobrança, estabelecendo fórmulas diferentes para cada uso da água, apoiando-se nos seguintes preços-base: 0,01 R\$/m<sup>3</sup> para a captação; 0,02 R\$/m<sup>3</sup> para o consumo, e 0,07 R\$/kg para o lançamento de efluentes. A seguir, são descritas as fórmulas de cobrança para estes três usos (COPPETEC, 2007a).<sup>4</sup>

A cobrança pela captação de água é feita de acordo com a seguinte equação:

$$VALOR_{cap} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse}$$

em que  $VALOR_{cap}$  = pagamento anual pela captação de água, em R\$/ano;  $Q_{cap}$  = volume anual de água captado, em m<sup>3</sup>/ano, segundo valores da outorga ou verificados pelo organismo outorgante;  $PPU_{cap}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para a captação superficial, em R\$/m<sup>3</sup>, e  $K_{capclasse}$  = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação. Pode-se generalizar o valor de 0,9 para toda a bacia.

O consumo de água na BRPS, por sua vez, é cobrado conforme a fórmula abaixo:

$$VALOR_{cons} = (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT})$$

em que  $VALOR_{cons}$  = pagamento anual pelo consumo de água, em R\$/ano;  $Q_{cap} - Q_{lanç}$  = representa o volume anual de água consumido, em m<sup>3</sup>/ano. É definido pelo volume anual de água captado ( $Q_{cap}$ ) menos o volume anual de água lançado no corpo hídrico ( $Q_{lanç}$ );  $PPU_{cons}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para o consumo de água, em R\$/m<sup>3</sup>, e  $Q_{cap} / Q_{capT}$  = relação entre o volume anual de água captado em corpos d'água de domínio da União ( $Q_{cap}$ ) e o volume anual de água captado total. Este termo permite a ponderação da cobrança pelo consumo entre a União e os Estados, tendo em vista que muitos usuários possuem captações em corpos d'água de diferentes domínios.

Para o caso específico da agricultura de irrigação, a cobrança pelo consumo de água é feita de acordo com a seguinte equação:

4 Na proposta aprovada pelo CEIVAP, são considerados outros usos da água que não foram descritos por fugirem do escopo deste trabalho. Entre estes, tem-se a transposição de bacias, aproveitamento de potencial hidrelétrico, mineração de areia em leito de rio e aquicultura.

$$VALOR_{cons} = Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}$$

O único coeficiente novo nesta fórmula é  $K_{cons}$ , que representa a parte da água utilizada na irrigação que não retorna aos corpos d'água. O CEIVAP estabeleceu que o valor de  $K_{cons}$  será igual a 0,5.

O outro uso da água que é fonte de cobrança na BRPS é o lançamento de efluentes. Este representa o uso de uma quantidade definida de água para diluir uma carga poluente de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)<sup>5</sup> lançada no corpo hídrico. A fórmula para este uso é dada por:

$$VALOR_{DBO} = PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

em que  $VALOR_{DBO}$  = pagamento anual pelo lançamento, em R\$/ano;  $PPU_{DBO}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para o lançamento de efluentes, em R\$/kg, e  $CO_{DBO}$  = carga de DBO lançada, em kg/ano. É calculada por meio da multiplicação da concentração média anual de DBO lançada, em kg/m<sup>3</sup>, pelo volume anual de água lançado, em m<sup>3</sup>/ano.

As fórmulas apresentadas anteriormente ainda não esgotam a cobrança que é feita ao setor agrícola,<sup>6</sup> que é efetuada de acordo com a seguinte equação:

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

em que  $VALOR_{agro}$  = pagamento anual pela captação e pelo consumo de água para usuários do setor agrícola, em R\$/ano;  $VALOR_{cap}$  = pagamento anual pela captação de água, calculado conforme metodologia já definida, em R\$/ano;  $VALOR_{cons}$  = pagamento anual pelo consumo de água, calculado conforme metodologia já definida, em R\$/ano, e  $K_{agro}$  = coeficiente que leva em conta as boas práticas de uso e conservação da água na propriedade rural onde se dá o uso de recursos hídricos, inicialmente definido como igual a 0,05 pelo CEIVAP.

Apesar de a cobrança estar prevista na legislação brasileira, são poucas as bacias hidrográficas em que já há uma cobrança efetiva. Nos rios de domínio da União, além da bacia do rio Paraíba do Sul, a cobrança já existe na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, e está em fase de implementação na bacia do rio São Francisco.

5 A DBO é o único parâmetro poluente com dados disponíveis, não só na BRPS, como também nas demais bacias brasileiras.

6 Fórmula válida também para os setores pecuária e aquicultura.

No geral, as fórmulas de cobrança nessas bacias guardam semelhanças com a adotada na bacia do rio Paraíba do Sul, já que as bases de cobrança também são a captação, o consumo e o lançamento de efluentes, e também foram estabelecidos preços-base para cada fonte geradora de cobrança.<sup>7</sup>

Cabe observar que, na cobrança pelo uso da água na BRPS no período 2003-2006, o preço-base (Preço Público Unitário) era estabelecido por usuário e não para usos de água (captação, consumo e lançamento de efluentes) como atualmente. As mudanças visaram aperfeiçoar o processo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos nessa bacia e tanto as fórmulas de cobrança pelo uso de recursos hídricos quanto os preços-base passaram por um processo de negociação no âmbito do CEIVAP.<sup>8</sup> Não obstante os méritos de ser a primeira bacia a cobrar pelo uso dos recursos hídricos, de acordo com a Lei Federal nº 9.433 de 1997, e das fórmulas usadas para definir os valores para a água serem relativamente simples, a metodologia de cobrança adotada na BRPS tem recebido críticas.

Segundo Formiga-Johnsson *et al.* (2007), o sistema de cobrança implantado na BRPS foi orientado basicamente para gerar receita e peca no sentido de buscar a mudança no padrão de uso da água mediante incentivos para o uso eficiente deste recurso por parte dos usuários. Esses autores afirmaram ainda que o CEIVAP não estabeleceu preços objetivos claros e nem utilizou critérios técnicos e econômicos para determinar sua metodologia de preços para a água, e que o impacto da cobrança sobre o uso sustentável dos recursos hídricos na BRPS está ainda para ser determinado.

Como será visto adiante, os preços sugeridos pela metodologia proposta neste trabalho – valor de Shapley ponderado – diferem daqueles atualmente cobrados na BRPS. Como informado anteriormente, a metodologia proposta (detalhada na próxima seção) caracteriza-se por ser justa, ou seja, pagará mais aquele usuário que mais polui e/ou que mais utiliza a água, sendo aplicados os princípios conhecidos como poluidor-pagador e usuário-pagador.

7 Para uma descrição mais detalhada das fórmulas de cobrança na bacia dos rios Capivari, Piracicaba e Jundiá, e na bacia hidrográfica do rio São Francisco, recomenda-se consultar o site da ANA ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) ou os sites dos respectivos comitês de bacia ([www.comitepcj.sp.gov.br](http://www.comitepcj.sp.gov.br) e [www.saofrancisco.cbh.gov.br](http://www.saofrancisco.cbh.gov.br)).

8 Para detalhes sobre o processo de negociação que levou à implantação da metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos na BRPS, ver, por exemplo, Formiga-Johnsson *et al.* (2007).

#### 4 Metodologia Proposta – Valor de Shapley Ponderado

Propõe-se, neste trabalho, a metodologia de alocação de custos baseada no valor de Shapley, que foi adaptada às diretrizes da legislação brasileira de recursos hídricos, para se obter o chamado valor de Shapley ponderado. Conceitualmente, o valor de Shapley é uma regra de alocação (de custos, de benefícios, etc.) pertencente ao ramo cooperativo da teoria dos jogos. Segundo Montet e Serra (2003), a principal característica de um jogo cooperativo é a possibilidade de que alguns jogadores formem coalizões intermediárias, isto é, sem a necessidade da presença de todos.

Um jogo cooperativo é representado na forma de função característica, apresentada, a seguir, junto a outras definições de um jogo nesse formato. Seja  $N = \{1, \dots, n\}$  um conjunto finito de jogadores e uma coalizão  $C$  é representada por um subconjunto não vazio de  $N$ . O conjunto  $N$ , composto por todos os jogadores, é a grande coalizão. Pode-se especificar, para cada coalizão  $C$ , um conjunto de valores originados da função  $v(C) \subseteq \mathfrak{R}^{|C|}$ , que contém vetores de pagamentos de  $|C|$  dimensões (igual ao número de jogadores da coalizão), que são viáveis para a coalizão  $C$  considerada. O par  $(N, v)$  representa um jogo cooperativo e  $v(C)$  é a função característica (ALIPRANTIS; CHAKRABARTI, 2000).

Para os jogos cooperativos nesse formato, Shapley (1953) propôs um método de solução de valor único para um problema de alocação entre os participantes de um jogo, quando se leva em consideração o valor de cada coalizão  $C$ , representado por  $v(C)$ :

$$\Phi_i(v) = \sum_{C \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|C|!(|N| - |C| - 1)!}{|N|!} [v(C \cup \{i\}) - v(C)], \text{ para cada } i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

em que  $|N|$  é o número total de jogadores;  $|C|$  designa o número de jogadores na coalizão  $C$ , e a expressão  $v(C \cup \{i\}) - v(C)$  representa a contribuição marginal do jogador  $i$ , quando ele se associa à coalizão  $C$ .

A alocação  $\Phi_i(v)$ , para cada jogador  $i$ , é vista como uma soma ponderada de suas contribuições marginais para todas as coalizões que ele se associar. O valor de Shapley é, portanto, uma regra que associa a cada jogo de  $n$  pessoas,  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ , um vetor de  $n$  dimensões  $\Phi(v) = (\Phi_1(v), \Phi_2(v), \dots, \Phi_n(v))$ .<sup>9</sup>

9 Para uma descrição detalhada das propriedades que o valor de Shapley deve satisfazer, recomenda-se consultar Montet e Serra (2003) ou Mas-Colell *et al.* (1995).

O valor de Shapley é, conceitualmente, uma regra de alocação justa, onde o conceito de justiça não é o de equidade e, sim, o conceito de que a quantia que os participantes de um jogo pagam (ou recebem) é determinada por sua contribuição (SERRANO, 2007). Se for esperado que um indivíduo acrescente pouco (muito) a uma coalizão, então a quantia alocada a ele pelo valor de Shapley tende a ser pequena (grande).

O valor de Shapley pode ser aplicado ao uso dos recursos hídricos por meio de uma adaptação de exemplo presente em Aliprantis e Chakrabarti (2000, p. 228).<sup>10</sup> Para a aplicação proposta, utilizaram-se, como critérios de alocação de custos entre os usuários de água, as quantidades captada e consumida de água e o lançamento de efluentes por cada um dos usuários.<sup>11</sup> Ao considerar esses três critérios, objetivou-se dar importância tanto ao aspecto quantitativo quanto qualitativo no uso dos recursos hídricos. O desenvolvimento da aplicação foi feito, inicialmente, para a captação de água, porém, construção análoga será adotada adiante para os critérios do consumo e do lançamento de efluentes.

As pressuposições da aplicação proposta foram as seguintes. Considerou-se que cada usuário de água pode arcar, individualmente, com o custo das melhorias que lhe atenderá ou financiá-las conjuntamente com outros usuários. Ao financiar esse custo em separado, o usuário pagará um montante que é proporcional à quantidade que ele capta de água.<sup>12</sup> Admitiu-se que o custo total das melhorias é equivalente ao custo incorrido pelo usuário que capta a maior quantidade de água, se este arcasse sozinho com as melhorias relacionadas à sua atividade de demandante. O custo total é a quantia a ser dividida, caso todos os usuários decidissem agir em conjunto para disponibilizar as melhorias.

Considerou-se  $K_t$  o custo incorrido para atender, individualmente, ao usuário do tipo  $t$ , em que  $t = 1, \dots, T$ , ou seja,  $K_t$  é o custo que o usuário  $t$  tem para financiar as melhorias que lhe atenderá, sem se unir aos outros usuários. Admitiu-se que  $0 < K_1 < K_2 < \dots < K_T$ , isto é, quanto maior a captação de água, maior será o custo das melhorias para aquele usuário de água.

10 Exemplos de aplicação do valor de Shapley para alocação de custos entre os usuários de recursos hídricos podem ser vistos em Loehman *et al.* (1979) e Young *et al.* (1982).

11 Estes critérios estão entre os usos de recursos hídricos definidos na Lei Federal 9.433 como sujeitos à outorga (BRASIL, 1997).

12 Reitera-se que a aplicação desenvolvida a seguir foi feita considerando somente o critério da quantidade captada de água. Por isso, nessa suposição, o custo é proporcional à captação de água. Quando forem levados em consideração os três critérios – captação, consumo e lançamento de efluentes – o custo será proporcional aos três.

A suposição de que o custo total das melhorias,  $K_T$ , é equivalente ao custo do usuário que apresenta os maiores índices para o critério em consideração, caso ele financie sozinho as melhorias, indica a presença de economias de escala na formação de coalizões para o financiamento conjunto dos custos. As economias de escala são necessárias para a cooperação ocorrer, do contrário, esta não seria vantajosa para os jogadores.<sup>13</sup>

O número de jogadores pode ser analisado pelo volume de água estimado para ser captado por cada usuário, em certo período de tempo. Sob essa ótica, os jogadores são identificados pela quantidade de água captada por cada um.<sup>14</sup> Uma coalizão  $C$ , nesse jogo, é um subconjunto de  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ . Considerando-se que  $N_t$  denota o conjunto do volume de água captado por um usuário do tipo  $t$ , fica claro que  $N = \bigcup_{t=1}^T N_t$  e  $N_t \cap N_s = \emptyset$  para  $t \neq s$ . Além disso, tem-se que, para cada coalizão  $C$ ,  $t(C) = \max \{t \in \{1, 2, \dots, T\} : C \cap N_t \neq \emptyset\}$ , ou seja,  $t(C)$  é o usuário que capta a maior quantidade de água e, portanto, é o que incorre em maiores custos dentro da coalizão  $C$ . Com isso, pode-se definir a função característica  $v$  do jogo por  $v(C) = -K_{t(C)}$ , isto é, o valor da coalizão é equivalente ao maior custo entre seus membros. Pode-se perceber que  $v(N) = -K_T$ , o que significa que o custo total é coberto pelas quantias cobradas de cada usuário.

Para um jogo com essas características, segundo Aliprantis e Chakrabarti (2000), a fórmula usual do valor de Shapley, dada pela equação (1), é pouco prática. Adotou-se uma abordagem apresentada por esses autores e que é descrita a seguir. Inicialmente, define-se o conjunto:

$$A_\ell = \bigcup_{t=\ell}^T N_t.$$

Definem-se também  $T$  jogos de  $n$  jogadores com funções características  $v_1, \dots, v_T$ , dadas por:

13 A suposição apresentada não significa que o usuário que não se associar será responsável pelo custo total das intervenções na bacia. A interpretação correta é que, se os jogadores não se associarem, cada um terá um custo individual. Porém, se todos se associarem para dividir os custos de forma conjunta, eles terão – devido às economias de escala – um custo total que é igual ao custo que o maior usuário teria, caso agisse individualmente.

14 Um exemplo numérico pode facilitar a compreensão: considere que o volume total de água captado em uma bacia seja de 80 m<sup>3</sup>/s. Supõe-se que existam três usuários de água que captam essa quantidade total, da seguinte forma: 15 m<sup>3</sup>/s para o usuário 1; 25 m<sup>3</sup>/s para o usuário 2; e 40 m<sup>3</sup>/s para o usuário 3. Assim, pela observação do volume captado de água, pode-se identificar esses três “tipos” de jogadores. Se um jogador capta 15 m<sup>3</sup>/s de água, então ele é tratado como um jogador do tipo 1; se capta 25 m<sup>3</sup>/s, é do tipo 2, e, se ele capta 40 m<sup>3</sup>/s, é um jogador do tipo 3.

$$v_\ell(C) = \begin{cases} 0, & \text{se } C \cap A_\ell = \emptyset \\ K_{\ell-1} - K_\ell, & \text{se } C \cap A_\ell \neq \emptyset. \end{cases}$$

O valor da cada coalizão  $C$  é  $v(C) = \sum_{\ell=1}^T v_\ell(C)$ . Para perceber isso, nota-se que, se  $\ell \leq t(C)$ , então  $C \cap A_\ell \neq \emptyset$ , enquanto se  $\ell > t(C)$ , então  $C \cap A_\ell = \emptyset$ . Assim,

$$\sum_{\ell=1}^T v_\ell(C) = \sum_{\ell=1}^{t(C)} (K_{\ell-1} - K_\ell) = K_0 - K_{t(C)} = v(C),$$

em que  $K_0 = 0$ , ou seja, se não há jogadores, não há custos.

Sabe-se, pela propriedade aditiva<sup>15</sup> do valor de Shapley, que

$$\phi(v) = \sum_{\ell=1}^T \phi(v_\ell).$$

Deve-se, então, computar o valor de Shapley para cada jogador  $i$ . Primeiramente, percebe-se que, pela definição de  $v_\ell$ , segue-se que:

$$v_\ell(C \cup \{i\}) - v_\ell(C) = \begin{cases} K_{\ell-1} - K_\ell, & \text{se } C \cap A_\ell = \emptyset \text{ e } i \in A_\ell \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Desse modo, para cada  $i \in A_\ell$ , o valor de Shapley é dado por:

$$\phi_i(v_\ell) = \sum_{C \subseteq N|A_\ell} \frac{|C|!(|N| - |C| - 1)!}{|N|!} (K_{\ell-1} - K_\ell).$$

Em particular, tem-se que  $\phi_i(v_\ell) = \phi_j(v_\ell)$ , para todo  $i, j \in A_\ell$ . Para todo  $i \notin A_\ell$ , tem-se  $\phi_i(v_\ell) = 0$ . Então,

$$\left( \sum_{\ell=1}^T |N_\ell| \right) \phi_i(v_\ell) = \sum_{i \in A_\ell} \phi_i(v_\ell) = v_\ell(N) = K_{\ell-1} - K_\ell.$$

Consequentemente,

15  $\forall S, T \subset N, S \cap T = \emptyset$  então  $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$ .

$$\phi_i(v_\ell) = \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|}.$$

Segue-se que, para todo  $i$  e  $\ell$ , o valor de Shapley, para o jogo  $v_\ell$ , satisfaz à seguinte relação:

$$\phi_i(v_\ell) = \begin{cases} 0, & \text{se } i \notin A_\ell \\ \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|}, & \text{se } i \in A_\ell \end{cases}$$

Recordando que  $\phi(v) = \sum_{\ell=1}^T \phi_i(v_\ell)$  e que  $i \in N_k$  implica  $i \in A_\ell$  para  $\ell \leq k$ , obtém-se a expressão que é o valor de Shapley do jogo para cada participante da coalizão, considerando apenas o critério da quantidade captada de água, ou seja,

$$\phi_i(v) = \sum_{\ell=1}^k \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|}, \quad i \in N_k, \quad k = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

Pode-se encontrar expressão equivalente à equação (2) para os critérios do consumo de água e da quantidade lançada de efluentes por meio de desenvolvimento idêntico ao que resultou na equação citada e seguindo exatamente as mesmas pressuposições. Obtém-se, assim, o valor de Shapley,  $\phi_i^C(v)$ , para o critério do consumo de água:

$$\phi_i^C(v) = \sum_{\ell=1}^{k^C} \frac{K_{\ell-1}^C - K_\ell^C}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^C|}, \quad i \in N_{k^C}^C, \quad k^C = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

Por sua vez, o valor de Shapley,  $\phi_i^L(v)$ , quando a alocação de custos tem como base o critério da quantidade lançada de efluentes, é dado por:

$$\phi_i^L(v) = \sum_{\ell=1}^{k^L} \frac{K_{\ell-1}^L - K_\ell^L}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^L|}, \quad i \in N_{k^L}^L, \quad k^L = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

Porém, alocar os custos considerando cada critério separadamente não seria interessante, já que os três são importantes atributos de uso da água. Portanto, propõe-se a junção das equações (2), (3) e (4), obtendo-se o valor de Shapley ponderado do jogo,  $\Phi_i(v)$ , como uma combinação convexa dos três critérios apresentados e que

foi aplicado na alocação dos custos da implantação de melhorias na bacia do rio Paraíba do Sul, ou seja,

$$\Phi_i(v) = \alpha \times \phi_i(v) + \beta \times \phi_i^C(v) + (1 - \alpha - \beta) \times \phi_i^L(v); \quad (5)$$

em que  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $(1 - \alpha - \beta)$  são ponderações, com  $\alpha$  e  $\beta$  pertencentes ao intervalo  $[0,1]$ , respeitando a restrição  $\alpha + \beta \leq 1$ . Esses parâmetros indicam o peso relativo de cada critério em determinada bacia.

A representação de cada critério, junto a uma ponderação, traz a possibilidade de que se construam diferentes cenários, alterando estes pesos de acordo com características específicas da bacia hidrográfica que estiver sendo estudada. Desse modo, adotando-se  $\alpha + \beta = 1$ , considera-se que a bacia seja limpa e, no cálculo do valor de Shapley ponderado, a importância total será destinada aos critérios captação e consumo de água, ou seja, projetos que assegurem volumes de água para atender essas demandas específicas na bacia. No entanto, ao se adotar  $\alpha = \beta = 0$ , ter-se-á o caso de uma bacia poluída, e o critério lançamento de efluentes será o único considerado no cálculo do valor de Shapley ponderado, ou seja, projetos para despoluir a bacia seriam prioritários.

Como pode ser observado, embora os passos para a obtenção do valor de Shapley sejam relativamente complexos, as fórmulas finais (equações de 2 a 5) são relativamente simples de serem aplicadas. A originalidade da proposta está na adaptação do valor de Shapley usual para considerar tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos no uso dos recursos hídricos para definir o preço de utilização do recurso (valor de Shapley ponderado), conforme previsto na legislação brasileira sobre a água. A ponderação traz ainda a vantagem, já comentada, de facilitar a construção de diferentes cenários, alterando os pesos conforme as características da cada bacia hidrográfica que estiver sendo objeto de análise.

A aplicação do valor do Shapley ponderado demanda menos informações específicas sobre setores demandantes de água em uma bacia hidrográfica do que as metodologias discutidas na seção 2 deste trabalho (elasticidades-preço de demanda de água) e mesmo as fórmulas utilizadas na BRPS (preços-base e valores de coeficientes) para definir valores para a água. As informações fundamentais necessárias para aplicar a metodologia proposta são o Plano de Recursos Hídricos da bacia (em que constam os projetos aprovados e seus respectivos custos de implantação), os volumes de água captada e consumida e as quantidades lançadas de efluentes por setor demandante de água. Como os valores a serem pagos pela água que emergem da aplicação do valor de Shapley ponderado estão diretamente vinculados aos projetos de uso múltiplo

tiplo a serem implantados na bacia, estes geram os incentivos adequados aos setores demandantes de água.

Para uma aplicação eficaz do valor de Shapley ponderado, as informações sobre a bacia sob análise devem ser precisas, exigência essa que é válida também para outras metodologias de cobrança pelo uso da água. Desta forma, quanto mais precisas as informações sobre dada bacia, mais fácil vai ser a aplicação da metodologia proposta e a definição dos valores de ponderação. Acredita-se também que o valor de Shapley ponderado possa ser uma metodologia de mais fácil aceitação e compreensão pelos setores demandantes de água, uma vez que o conceito no qual se baseia é simples e direto: o usuário que utilizar a água em demasia e/ou poluí-la em excesso pagará um valor mais elevado.

## **5 Resultados da Aplicação do Valor de Shapley Ponderado à Bacia do Rio Paraíba do Sul**

Nesta seção, utilizaram-se dados referentes aos usuários de água no trecho paulista da BRPS para a aplicação do valor de Shapley ponderado (equação 5), considerando os três critérios – captação, consumo e lançamento de efluentes – e três diferentes cenários: uma bacia “limpa”, uma bacia poluída – que são os cenários extremos – e um cenário intermediário que está próximo à realidade atual da área de atuação do Comitê Paulista. Os valores encontrados no cenário intermediário podem ser comparados com os valores decorrentes da aplicação da própria metodologia de cobrança da BRPS, porém, restrita aos dados do trecho em consideração.

Em relação ao custo a ser alocado entre os usuários, utilizou-se como valor a arrecadação potencial neste trecho da bacia ao longo de um ano, que equivale à R\$ 6.035.942,22. Este valor foi encontrado aplicando-se a própria fórmula de cobrança vigente atualmente na BRPS, mas considerando que todos os usuários de água no trecho paulista pagariam para usá-la. Sua vantagem é que, ao utilizá-la na aplicação do valor de Shapley ponderado, os resultados deste tornam-se diretamente comparáveis com os resultados da cobrança que está atualmente em vigor. Utilizando-se, portanto, a arrecadação potencial na bacia ao longo de um ano (em R\$) e o volume estimado de água captado por cada setor em um ano (em m<sup>3</sup>), o valor de Shapley ponderado encontrará uma taxa em R\$/m<sup>3</sup> para a cobrança pelo uso da água em determinado ano.

Na identificação dos jogadores, a aplicação restringiu-se aos usuários (setores) industrial, urbano e agrícola, que são os mais relevantes, visto que respondem por quase a totalidade da quantidade demandada de água na BRPS.

### 5.1 Cenário da Bacia Limpa ( $\alpha + \beta = 1$ )

Em uma situação em que a poluição dos rios no trecho paulista fosse desprezível, a única fonte de preocupação seria o aspecto quantitativo da água. Como consequência, a melhoria a ser financiada pelos usuários estaria ligada, por exemplo, a projetos que proporcionassem o aumento da oferta de água ou o seu melhor aproveitamento. Dado que a preocupação nesse cenário é com a água em seu aspecto quantitativo, a importância total no cálculo da taxa cobrada dos usuários deveria ser reservada aos critérios da captação e do consumo de água, sendo que o segundo ( $\beta = 0,6$ ) teria um peso superior ao primeiro ( $\alpha = 0,4$ ), dado o maior impacto que o consumo tem sobre os corpos d'água. Percebe-se, pela observação da Tabela 2, que o usuário que é o principal demandante de água (setor agrícola) teria de arcar com uma parcela maior dos custos das melhorias e pagar a taxa mais elevada.

**Tabela 2 – Alocação dos Custos e Taxas Cobradas dos Usuários, num Cenário em que o Trecho Paulista da BRPS Estivesse Limpo**

Usuário	% do Custo	(%) × 6.035.942,22 (R\$)	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )
1. Indústria	1,20	72.308,28	0,0010
2. Urbano	8,21	495.564,01	0,0025
3. Agrícola	90,59	5.468.069,93	0,0149
Total	100	6.035.942,22	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Se o lançamento de efluentes não fosse um problema, os setores potencialmente poluidores – industrial e urbano – seriam beneficiados, pois pagariam taxas de 0,0010 R\$/m<sup>3</sup> e 0,0025 R\$/m<sup>3</sup>, bem inferiores ao valor cobrado dos usuários agrícolas para prover as melhorias. Do valor total, o setor industrial pagaria 1,20% do custo dos projetos desenvolvidos, enquanto os usuários urbanos cobririam 8,21%, o que indica que, se o trecho paulista da BRPS tivesse essas características, haveria alocação de custo favorável aos dois setores citados. O setor agrícola, pelo contrário, ao pagar uma taxa de 0,0149 R\$/m<sup>3</sup>, ficaria responsável por parcela significativa dos custos, cobrindo um montante que equivaleria a 90,59% do custo total dos projetos relacionados aos aspectos quantitativos do uso da água.

### 5.2 Cenário da Bacia Poluída ( $\alpha = \beta = 0$ )

Numa situação em que o problema fosse unicamente a qualidade da água, importância total deveria ser dada ao critério do lançamento de efluentes e, em contraponto, os pesos da captação ( $\alpha$ ) e do consumo de água ( $\beta$ ) seriam nulos. Neste cenário, os recursos arrecadados dos usuários serviriam para financiar projetos de despoluição das águas. Se a poluição fosse a única preocupação, o setor urbano, que é o maior emissor de efluentes no trecho paulista, tornar-se-ia o mais sobrecarregado, respondendo por quase a totalidade dos custos necessários para prover as melhorias ao longo de um ano e pagando a maior taxa entre os usuários, conforme Tabela 3.

**Tabela 3 – Alocação dos Custos e Taxas Cobradas dos Usuários, num Cenário em que o Trecho Paulista da BRPS Estivesse Altamente Poluído**

Usuário	% do Custo	(%) × 6.035.942,22 (R\$)	Taxa (R\$/m³)
1. Indústria	2,14	129.117,84	0,0018
2. Urbano	97,86	5.906.824,38	0,0304
3. Agrícola	-	-	-
Total	100	6.035.942,22	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Este cenário seria favorável ao setor agrícola, pois, como este não contribui em nada ou apenas marginalmente para a quantidade lançada de efluentes, ele não arcaria com os custos das melhorias. Por sua vez, o setor urbano estaria em situação adversa, quando comparado ao cenário da bacia limpa. Uma vez que é o maior lançador de efluentes no trecho em consideração, este pagaria uma taxa de 0,0304 R\$/m<sup>3</sup>, tendo que suportar uma parte equivalente a 97,86% do custo anual dos projetos a serem implementados. Já o setor industrial não seria tão penalizado, pois seus lançamentos de efluentes são bem inferiores aos do setor urbano. Assim, os usuários industriais pagariam uma taxa de 0,0018 R\$/m<sup>3</sup>, o que lhes reservariam uma parcela de apenas 2,14% do custo dos projetos relacionados à despoluição.

### 5.3 Cenário Intermediário Equivalente ao Trecho Paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul ( $\alpha + \beta = 0,1$ )

Estudos existentes sobre a BRPS<sup>16</sup> afirmam que, a despeito de algumas diferenças regionais, o maior problema verificado em toda a área da bacia é o declínio na qualidade da água e que a escassez não é um problema imediato. Com isso, escolheu-se uma ponderação em que o lançamento de efluentes teria peso maior [ $(1 - \alpha - \beta) = 0,9$ ] e a captação e o consumo de água, peso substancialmente menor ( $\alpha = \beta = 0,05$ ), sendo esse cenário aquele que estaria mais próximo da realidade na área de atuação do Comitê Paulista.<sup>17</sup>

Os custos a serem financiados conjuntamente pelos usuários deveriam estar relacionados a múltiplos projetos, já que o valor de Shapley ponderado, considerado nesse cenário, levou em conta todos os três critérios. Porém, projetos de despoluição das águas poderiam ser apontados como prioritários, dado o peso maior para o lançamento de efluentes. A Tabela 4 apresenta os resultados desse cenário e apresenta também os dados referentes à atual metodologia de cobrança da BRPS restrita ao trecho paulista.<sup>18</sup>

**Tabela 4 – Alocação dos Custos e Taxas Cobradas dos Usuários, em um Cenário Misto, mas Considerando Elevada Poluição no Trecho Paulista da BRPS**

Usuário	Aplicação do Valor de Shapley			Cobrança no Trecho Paulista	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%) × 6.035.942,22 (R\$)	Preço (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0018	2,06	124.407,46	0,0191	22,35
2. Urbano	0,0277	89,05	5.375.213,41	0,0223	71,89
3. Agrícola	0,0015	8,89	536.321,36	0,0010	5,76
Total	-	100	6.035.942,22	-	100

Fonte: Resultados da pesquisa.

16 Ver, por exemplo, Formiga-Johnsson *et al.* (2007) ou Campos (2001).

17 Obviamente, em um cenário real de aplicação desta metodologia, a escolha dos pesos deve ser algo discutido amplamente pelos membros participantes dos comitês de bacia hidrográfica, já que os valores adotados influenciarão diretamente nos resultados.

18 Para que a cobrança em vigência fosse comparável com a aplicação do valor de Shapley ponderado, foi preciso realizar uma adaptação da metodologia atual para que esta se apresentasse como uma cobrança em R\$/m<sup>3</sup> feita aos usuários (tal qual o resultado do valor de Shapley ponderado) e não mais como uma cobrança aos usos (captação, consumo e lançamento de efluentes). A adaptação foi feita por meio da aplicação do conceito de arrecadação potencial já explicado. Esta arrecadação está dividida nas parcelas oriundas de cada setor. Assim, dividindo a arrecadação de cada setor pela quantidade captada pelos mesmos, tem-se a cobrança em R\$/m<sup>3</sup> para cada usuário, comparável diretamente ao resultado da aplicação do valor de Shapley ponderado.

O preço da cobrança pelo uso da água, neste trecho, onera em proporção maior (e em valores próximos) os usuários industriais (0,0191 R\$/m<sup>3</sup>) e urbanos (0,0223 R\$/m<sup>3</sup>). O setor agrícola, por sua vez, é pouco cobrado, visto que paga um valor de 0,0010 R\$/m<sup>3</sup>. No entanto, a taxa encontrada pela aplicação do valor de Shapley ponderado – visando a alocação do custo anual dos múltiplos projetos – teve comportamento diferente, já que os usuários urbanos pagariam um valor (0,0277 R\$/m<sup>3</sup>) bem superior aos dos setores industrial e agrícola, que arcariam com taxas pequenas de 0,0018 R\$/m<sup>3</sup> e 0,0015 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente.

A comparação referente aos custos também apresenta discordâncias. Com o valor de Shapley ponderado, o usuário industrial cobriria apenas 2,06% e o agrícola somente 8,89% do custo anual das melhorias, enquanto a maior parcela estaria destinada aos usuários urbanos: 89,05% do custo anual a ser alocado (R\$ 6.035.942,22). Tal configuração se distancia do observado na área do Comitê Paulista, pois, com a metodologia de cobrança atualmente em vigor, 22,35% do valor arrecadado vem do setor industrial e 71,89% do urbano. Já a arrecadação do setor agrícola é de cerca de 5,76%.<sup>19</sup>

Fica claro que a alocação dos custos de melhorias entre os usuários – e, consequentemente, o estabelecimento da cobrança – é diretamente dependente do critério estabelecido (captação, consumo, lançamento de efluentes ou suas combinações) e do cenário escolhido por meio dos pesos  $\alpha$  e  $\beta$  para representar a bacia. No cenário intermediário, os resultados do valor de Shapley ponderado sobrecarregaram o setor urbano, uma vez que sua taxa é bem superior às dos demais, fazendo com que este cobrisse mais de 89% do valor a ser alocado entre os três demandantes.

Pode-se depreender dos resultados encontrados que a cobrança pelo uso da água na BRPS, e especificamente no trecho paulista, não se pautou no critério utilizado neste trabalho, ou seja, pagamentos proporcionais à poluição gerada, já que a deterioração qualitativa da água é o principal problema verificado. Isso porque, com a cobrança atual, mesmo sendo responsável por 86,42% dos efluentes lançados neste trecho, o setor urbano paga um preço próximo ao do setor industrial, que lança somente 13,58%.

Deve-se ressaltar que, com a aplicação do valor de Shapley ponderado, o setor urbano pagaria valores maiores pela diluição de efluentes, já que é o maior emissor de DBO, o único parâmetro poluente com dados disponíveis. Caso ocorresse a medição de novos parâmetros, o peso da poluição emitida por outros setores poderia aumentar.

<sup>19</sup> Estas porcentagens de arrecadação são valores aproximados, resultantes da aplicação da atual fórmula de cobrança da BRPS aos dados do trecho paulista.

## 6 Considerações Finais

Neste trabalho, foi proposta uma metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos baseada na alocação de custos – entre os demandantes de água – de projetos vinculados a melhorias em uma bacia hidrográfica. Essa metodologia consiste de uma regra de alocação conhecida como valor de Shapley, pertencente ao ramo cooperativo da teoria de jogos. Para ilustrar a aplicação da metodologia proposta, utilizaram-se dados do trecho paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul (BRPS) e consideraram-se três cenários alternativos, dos quais dois extremos (bacia “limpa” e bacia poluída) e uma situação intermediária, mais próxima da realidade encontrada atualmente na sub-bacia analisada.

Observa-se que os resultados encontrados da aplicação do valor de Shapley ponderado (que considera os critérios de captação e consumo de água e lançamento de efluentes) ao trecho paulista da BRPS mostraram-se altamente dependentes do critério de alocação adotado. Quando se consideram unicamente os critérios da captação e do consumo de água (bacia “limpa”), a alocação de custos sobrecarrega o usuário agrícola, enquanto, ao considerar apenas a quantidade lançada de efluentes (bacia poluída), a maior parte dos custos é alocada ao setor urbano. Quando os três critérios são considerados conjuntamente, todavia, a questão relevante é a escolha adequada do peso de cada critério.

Como o trecho paulista da BRPS – assim como toda a bacia – é marcado pela poluição de suas águas, significativa importância foi dada ao lançamento de efluentes. Os valores encontrados foram diferentes dos valores que vêm sendo cobrados atualmente pelo uso da água nessa bacia. Pelo valor de Shapley ponderado, o setor urbano seria sobrecarregado, pagando uma taxa superior aos demais setores e teria que cobrir parte considerável do valor dos projetos a serem implantados na bacia. Tal resultado deriva do fato de o setor urbano ser o principal poluidor das águas do trecho paulista.

Observa-se que o conhecimento de que o setor urbano poderia pagar um valor alto pelo uso da água, em consequência de seus elevados níveis de emissão de efluentes poderia servir de estímulo para que este setor adotasse práticas menos poluidoras, ou seja, passasse a tratar seus esgotos que são despejados nas águas dos rios, na maioria das vezes, sem nenhum controle. Esse cenário de bacia com elevado nível de poluição não é exclusivo da BRPS; em todo o Brasil, situação precária de saneamento urbano é verificada nas cidades, de tal forma que o efeito do despejo de esgotos nas águas pode chegar a níveis insustentáveis se o setor urbano não for cobrado devidamente ou tiver o estímulo apropriado para adotar práticas mais racionais na utilização da água.

Uma provável razão para que a cobrança na BRPS se afaste dos resultados encontrados neste trabalho é que os comitês de bacia hidrográfica são órgãos de gestão essencialmente políticos. Em sua formação e nas suas decisões, há muita pressão de grupos de interesse (de usuários, representantes do Poder Público e até ativistas ambientais), o que pode causar distorções em relação à cobrança baseada nos conceitos de justiça do usuário-pagador e do poluidor-pagador que é, em essência, o que se propôs com o valor de Shapley ponderado para determinar as taxas a serem cobradas dos usuários de água.

É importante destacar também que, nos cenários em que se levou em conta a poluição dos corpos hídricos no trecho paulista da BRPS, o setor urbano pagaria mais pela diluição de efluentes, pois é o maior emissor de DBO, o único parâmetro poluente com dados disponíveis nesta bacia. Se ocorresse a medição de novos parâmetros ou se a poluição difusa fosse mais facilmente medida, a participação dos setores industrial e agrícola poderia aumentar, influenciando no resultado final da alocação de custos.

Em relação às ponderações relacionadas a cada um dos critérios, a escolha destas deve ser discutida amplamente pelos membros participantes dos comitês de bacia hidrográfica antes de sua adoção, uma vez que os valores escolhidos influenciarão diretamente nos resultados do cálculo do valor de Shapley ponderado. Além disso, por ser uma questão fonte de conflitos, dado que cada usuário defenderá um peso diferente, esta escolha não deve se basear em critérios subjetivos, mas sim em dados precisos da bacia (captação e consumo água, e lançamento de efluentes) e nos projetos do Plano de Recursos Hídricos que, de fato, priorizem as reais necessidades de melhorias na bacia.

Destaca-se que a metodologia proposta é de fácil interpretação (entendimento) e de fácil aplicação, além de considerar tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos no uso dos recursos hídricos. A fórmula (valor de Shapley ponderado) apresentada neste trabalho pode ser aplicada facilmente em outras bacias, de acordo com as características nelas existentes, de modo que a correta relação entre os critérios possa ser considerada. Pode-se ampliar também facilmente o número de setores demandantes de água (consideraram-se, na aplicação da metodologia, apenas os principais setores demandantes de água, ou seja, setores urbano, industrial e agrícola). Dessa forma, esta abordagem torna-se útil, uma vez que ela pode se adequar a uma ampla variedade de contextos.

Por fim, mesmo que não venha a ser utilizada efetivamente como metodologia dominante na definição dos preços para a água nas bacias hidrográficas brasileiras, o valor de Shapley ponderado poderá ser útil de outras maneiras. Uma delas é nas

negociações no âmbito dos comitês de bacias, para simular efeitos dos custos de diferentes projetos sobre as tarifas de água e, assim, chegar a acordos mais rapidamente. Outra possibilidade de seu uso é no aperfeiçoamento das fórmulas de cobranças pelo uso da água (ajustes nos preços-base e coeficientes, por exemplo) que já se encontram em vigor em bacias hidrográficas brasileiras, a exemplo das fórmulas utilizadas na BRPS (ver seção 3.2 deste trabalho).

## Referências

- ALIPRANTIS, C.D.; CHAKRABARTI, S.K. *Games and decision making*. New York: Oxford University Press, 2000. 272 p.
- ALVIM, A. M. A Disposição a Pagar pelo Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Pardinho. *Estudos do CEPE*, Santa Cruz do Sul, n. 21, p. 31-50, jan./jun. 2005.
- BRASIL. Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- CAMPOS, J. D. *Cobrança pelo uso da água nas transposições da bacia do rio Paraíba do Sul envolvendo o setor elétrico*. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- CAMPOS, V. N. O. Comitê de bacia hidrográfica: um canal aberto à participação e à política? *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 2, n. 2, p. 49-60, 2005.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; FERREIRA, P. M. Otimização dos recursos hídricos em sistemas de bacia hidrográfica: o caso da bacia do Rio Formoso, na Bahia. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 33, n. 3, p. 536-553, jul-set. 2002.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. S. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 31, n. especial, p. 604-628, 2000.
- COPPETEC, Fundação – Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. *Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul*. Resende: AGEVAP, 2007a. 201 p.
- \_\_\_\_\_. *Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do CBH-PS*. Resende: AGEVAP, 2007b. 140 p.
- FERNANDEZ, R. N.; KUWAHARA, M. Y. O valor econômico dos recursos hídricos no uso turístico: o exemplo de brotas. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA: O Meio Ambiente nas Políticas Públicas, 6, 2005, Brasília. *Anais...* Brasília: ECOECO, 2005.

- FERRAZ, C. A. L. *A cobrança pelo uso e poluição da água: o caso da sub-bacia do Rio de Ondas no oeste da Bahia*. 115 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; KUMLER, L.; LEMOS, M. C. The politics of bulk water pricing in Brazil: lessons from the Paraíba do Sul basin. *Water Policy*, v. 9, p. 87-104, 2007.
- GOULART JÚNIOR, R.; VIEIRA, S. J.; MÁXIMO, A. A. valoração ambiental do uso de água em trecho da bacia hidrográfica do rio Tubarão-SC. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA: O Meio Ambiente nas Políticas Públicas, 6, 2005, Brasília. *Anais....* Brasília: ECOECO, 2005.
- LOEHMAN, E.; ORLANDO, J.; TSCHIRHART, J.; WHINSTON, A. Cost allocation for a regional wastewater treatment system. *Water Resources Research*, v. 15, n. 2, p. 193-202, 1979.
- MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.; GREEN, J. *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press, 1995. 981 p.
- MONTET, C.; SERRA, D. *Game theory and economics*. New York: Palgrave Macmillan, 2003. 487 p.
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 1-37.
- SERRANO, R. *Cooperative games: core and shapley value*. Providence: Department of Economics, Brown University and IMDEA-Social Sciences, 2007. 20 p.
- SHAPLEY, L. S. A Value for n-person games. Princeton: Princeton University Press, p. 307-317, 1953.
- VIEIRA, W. C.; VIEIRA, G. C. S. Uso de planilha eletrônica na gestão de recursos hídricos em bacia hidrográfica. In: COELHO, A. B.; TEIXEIRA, E. C.; BRAGA, M. J. *Recursos naturais e crescimento econômico*. 1 ed. Viçosa: DER-UFV, 2008, v. 1, p. 515-537.
- YOUNG, H. P.; OKADA, N.; HASHIMOTO, T. Cost allocation in water resources development. *Water resources research*, v. 18, n. 3, 463-475, 1982.