

Cobrança pelo uso da água em sistemas de bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Pirapama em Pernambuco

José Carrera-Fernandez[§]

SUMÁRIO

Este trabalho discute os aspectos teóricos e metodológicos da cobrança, pelo uso da água, em sistemas de bacias hidrográficas, importante instrumento de gestão dos recursos hídricos. A cobrança foi justificada como mecanismo de racionalizar o seu uso e corrigir as externalidades no consumo e na produção, internalizando aos custos privados os verdadeiros custos sociais. O trabalho apresenta e utiliza uma metodologia alternativa para nortear a formação dos preços pelo uso da água, fundamentada na teoria econômica do *second best* (ou segundo melhor), de modo a fazer com que os preços ótimos resultantes propiciem uma alocação eficiente dos recursos hídricos na economia, tendo em vista que a diferença entre os benefícios e os custos sociais é maximizada, ao mesmo tempo que os impactos distributivos negativos na economia são minimizados. Tomou-se a bacia hidrográfica do rio Pirapama para estudo por ser esta a principal fonte de suprimento de água capaz de resolver os graves e constantes problemas relacionados aos racionamentos de água na Região Metropolitana do Recife (RMR).

Palavras-chave: cobrança pelo uso da água, sistemas de bacias hidrográficas, recursos hídricos.

ABSTRACT

This paper examines some theoretical and methodological aspects of charging for utilization of water resources in river basin systems, one of the main instruments of water resources management. The charging was justified as a mechanism of rationalization of the use of these resources and to correct the externalities on consumption and production, internalizing the true social costs into the private costs. This paper presents and adopts an alternative methodological framework of price formation for water use, based on the economic theory of the second best. The optimal prices policy implies an efficient allocation of water resources in the economy. It is so because the difference between social benefits and costs is maximized, and the negative effects on the economy are minimized. The Pirapama river basin was taken to be studied because it is the main source of bulk water capable to solve the big and constant problems of rationing of water supply in the Metropolitan Region of Recife.

Key words: charging for water use, water basin systems, water resources.

JEL classification: D62, H23, Q25.

[§] Professor do Curso de Mestrado em Economia da Universidade Federal da Bahia e PhD em Economia pela The University of Chicago.

1 Introdução

O crescimento econômico desordenado e a ocupação não apropriada do solo, aliado ao uso perdulário dos recursos da água, têm contribuído para tornar a disponibilidade hídrica em certas bacias hidrográficas incompatível com as demandas nas suas múltiplas modalidades de uso. Esse é o caso específico da bacia do rio Pirapama que, além de experimentar baixos índices de precipitação, tem apresentado aumentos progressivos de demanda, principalmente para abastecimento industrial e urbano. Em consequência, essa bacia tem apresentado balanço hídrico crítico e até mesmo negativo em certas épocas do ano, criando condições perigosamente propícias para a existência de conflitos pelo uso das águas. Ademais, o descarte de esgotamentos sanitários e efluentes industriais sem nenhum tratamento, aliado à disposição não apropriada dos resíduos sólidos urbanos e industriais, resultantes desse crescimento econômico desordenado, têm causado problemas semelhantes à qualidade das águas. Se medidas efetivas não forem tomadas com urgência, a deterioração na qualidade dos recursos hídricos na bacia do rio Pirapama pode acarretar um processo de decadência da mesma, com impactos irreversíveis sobre a flora e a fauna da região.

Até há bem pouco tempo, no Brasil, não havia uma preocupação clara com a questão da escassez dos recursos hídricos, tanto no seu componente quantitativo quanto qualitativo. Este fenômeno, entretanto, vem dando mostras visíveis de sua ocorrência em várias partes do território nacional, em especial no Estado de Pernambuco, e muito particularmente na bacia hidrográfica do rio Pirapama. Quando o problema da escassez dos recursos hídricos passa a ser realmente encarado, os instrumentos de natureza econômica assumem um papel preponderante no curso do processo de gerenciamento desses recursos. É que, apesar da relevância dos instrumentos legais, dos regulamentos, das normas, do papel da autoridade pública e mesmo das campanhas de proselitismo apelando para o senso de civismo do usuário dos recursos hídricos, esse conjunto de medidas vem se mostrando tradicionalmente ineficaz para combater as inúmeras formas de uso perdulário da água.

Reconhecendo que a água de mananciais é um recurso natural escasso (ou bem econômico) que deve ser preservado contra a exaustão e a degradação da sua qualidade, o Estado pode e deve cobrar pela utilização das águas de seu domínio, o qual é, por força de lei, o detentor da sua posse. Além disso, a cobrança pelo uso da água está em conformidade com a Constituição Federal¹ e de acordo com a legislação estadual vigente. (Lei nº 11.426/97 e

1 Com base em disposição contida na Constituição Federal, alguns estados elaboraram as suas leis de organização administrativa para o setor, estabelecendo os princípios, os instrumentos e o arcabouço institucional para a promoção do gerenciamento dos recursos hídricos de seus domínios. O Estado de São Paulo liderou esse processo, discutindo amplamente e promulgando em 30 de dezembro de 1991 a sua Lei nº 7.663. Logo em seguida veio o Estado do Ceará, que pressionado pela escassez absoluta de água, também desenvolveu com rapidez o debate sobre a natureza da organização que deveria ser estruturada no estado com o objetivo de permitir uma gestão racional de uso da água. Na sequência, outros estados vieram a promulgar suas leis. O Estado de Pernambuco conseguiu promulgar sua Lei nº 11.426 em 17 de janeiro de 1997, estabelecendo, assim, um marco importante para o desenvolvimento da atividade de gerenciamento de seus recursos hídricos.

Decreto nº 20.423) O marco legal da cobrança pelo uso dos recursos hídricos está definido pelo Código Civil Brasileiro de 1916, pelo Código de Águas de 1934, pelas Leis Federais nº 6.938/81 e nº 9.433/97, bem como pelas leis e decretos estaduais. O Código Civil estabelece que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis da união, dos estados ou dos municípios, a cuja administração pertencerem. Mais específico ainda é o Código de Águas, que prevê a remuneração pelo uso das águas, exceto para satisfazer as primeiras necessidades da vida, assim como obriga o poluidor a pagar o custo incorrido pelo serviço de recuperação das águas.

Na realidade, a implementação da cobrança pelo uso da água não chega a ser algo novo na vida do homem, pois, ao longo da sua história, sempre que este se defrontou com a escassez de algum bem, ele o submeteu às forças de mercado e às leis da oferta e da demanda, as quais traduzem-se em um nível de preço, regulando as transações desse bem na economia. Ademais, em se tratando de um bem público, o direito de propriedade dos recursos hídricos não pode ser vendido, senão o direito de uso.² Cobrar pelo uso da água bruta é uma mera extensão do conceito de valor econômico mundialmente reconhecido em relação a outros bens como, por exemplo, os recursos minerais. É importante ressaltar que, na cobrança, o que se cobra é o uso dos recursos hídricos e não o fornecimento desses recursos.

Embora a cobrança pela utilização dos recursos hídricos já estivesse prevista na legislação brasileira desde os anos trinta, a efetiva implementação da cobrança nunca foi feita.³ Com exceção da cobrança de uma taxa pelo uso da água na geração de energia elétrica, a título de compensação pela inundação de áreas, no Brasil a utilização da água bruta para outras finalidades tem tido tarifa zero. O uso perdulário da água em certas modalidades de uso, principalmente no abastecimento, assim como a ocorrência de níveis elevados de poluição da água são consequência direta da falta de preços sinalizadores. O reflexo desta falta de sinalização do mercado é que a água, pelo menos a de boa qualidade, vem se tornando um bem cada vez mais escasso e, portanto, cada vez mais valioso.

2 De acordo com o código civil, o fato de todas as águas pertencerem à união e aos estados faz com que elas sejam incluídas na categoria de bens públicos de uso comum. É importante ressaltar que, ao incluí-las nessa categoria, as águas não são suscetíveis de direito de propriedade, embora a tradição jurídica designe um titular, ao qual se confia a sua guarda e gestão.

3 Exceção deve ser feita ao caso do Ceará que, a partir de novembro de 1996, começou a efetuar, por meio da Companhia Estadual de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), a cobrança pelo uso da água bruta para a indústria e o abastecimento urbano, inicialmente na região da capital, mas posteriormente estendida a outras regiões do Estado, incluindo também o aproveitamento hidroagrícola. Todavia, os preços estabelecidos para a cobrança foram produzidos por meio de negociação entre os interessados, de forma *ad hoc*, sem nenhuma fundamentação econômica ou qualquer critério de eficiência.

A vasta experiência internacional e as poucas propostas brasileiras de cobrança pelo uso da água seguem o critério do usuário-pagador e/ou poluidor-pagador. No entanto, os preços emanados nessas experiências não trazem nenhuma preocupação explícita com a alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usuários na bacia hidrográfica. Com exceção do Estado da Bahia, os preços pelo uso da água praticados ou considerados nos estudos de cobrança buscam apenas financiar os custos e investimentos necessários para o setor de recursos hídricos, sem haver uma preocupação explícita com a maximização do bem-estar social ou com a minimização das distorções na economia.

As próprias legislações federal e estaduais de recursos hídricos adotam explicitamente, em seus textos, a racionalização do uso da água como um dos principais objetivos da cobrança pelo seu uso. No entanto, em momento algum este objetivo é efetivamente considerado, via mecanismo de cobrança, uma vez que tais leis prevêm apenas que cada usuário participe do rateio dos custos e investimentos necessários para garantir a oferta dos recursos hídricos. Nesses dispositivos de lei os usuários são tratados igualmente, independentemente de suas necessidades, contribuições e capacidade de pagamento. Se tais preços forem efetivamente implementados, eles estariam contribuindo para alocar de forma ineficiente os recursos hídricos na economia, com reflexos negativos para toda a sociedade.

Objetivando contribuir para equacionar esse problema, este trabalho apresenta uma metodologia alternativa de formação de preços pelo uso da água, que se preocupa explicitamente com a eficiência na alocação dos recursos hídricos entre os seus múltiplos usuários. A metodologia apresentada está fundamentada na teoria econômica do *second best* (ou segundo melhor), de modo a fazer com que os preços ótimos resultantes propiciem uma alocação eficiente dos recursos hídricos na economia, tendo em vista que a diferença entre os benefícios e os custos sociais é maximizada, ao mesmo tempo que os impactos distributivos negativos na economia são minimizados.

2 Aspectos teóricos da cobrança pelo uso da água

O problema central da alocação ineficiente de um recurso natural como a água reside no fato de a água ser um bem público, cujos direitos de propriedade ou de uso não estão claramente definidos, de modo que os usuários tendem a subestimar o seu valor. Em consequência, todo bem subestimado tende a ser superutilizado. Ao decidir quanto consumir, cada usuário dos recursos hídricos não leva em consideração o efeito que suas decisões de consumo provoca sobre os demais usuários do sistema. Ou seja, o usuário dos recursos

hídricos estabelece um padrão de consumo ineficiente, sob o ponto de vista paretiano,⁴ visto que a sua decisão de consumir afeta o nível de utilização dos outros usuários do sistema hídrico. Nesse sentido, cada usuário causa um efeito externo aos demais, o qual não é levado em consideração nas decisões individuais de consumo.

Esse problema é conhecido na literatura econômica pelas múltiplas denominações de problema do custo social ou externalidades tecnológicas ou teorema de Coase, exatamente porque foi Coase (1960) quem primeiro discutiu sistematicamente a importância dos custos de transação em relação à alocação de recursos. Ao decidir quanto consumir, o usuário expande o seu consumo de água até o ponto onde o benefício marginal é igual ao seu custo marginal (isto é, custo de oportunidade da água, avaliado em termos de mão-de-obra, equipamentos e outros insumos). O problema é que, na sua decisão individual de consumo, o usuário não leva em consideração o custo marginal social, que inclui, além do custo de oportunidade privado da água, o custo adicional imposto à sociedade. Em consequência, o usuário estará consumindo um volume de água maior que a quantidade socialmente ótima, com prejuízos para todos os outros usuários do sistema. A condição necessária para uma alocação ótima da água no consumo é que cada usuário fundamente sua decisão de consumo, igualando o benefício marginal ao custo marginal social, custo esse que inclui, além dos custos privados, o custo implícito que a captação de um metro cúbico adicional de água causa à sociedade.

Assim, se o órgão gestor cobrasse pelo uso da água a exata diferença entre o custo marginal social e o custo marginal privado da água, o nível de captação seria reduzido para o nível socialmente ótimo. Em consequência, o benefício sofreria uma redução, mas o custo total também seria reduzido de forma mais do que proporcional à redução do benefício, o que resultaria em um ganho líquido para a sociedade.

Esta análise pode ser ampliada para o caso da utilização da água de um manancial como diluente de esgotamentos. Este é o caso específico da atividade industrial, que utiliza os recursos hídricos para diluição de seus efluentes, com implicações semelhantes para a alocação desses recursos. Neste caso, o nível ótimo de produção e, conseqüentemente, o nível “ótimo” de diluição de efluentes seria obtido no ponto onde o custo marginal social fosse igual ao benefício marginal social. Este “nível ótimo” de diluição só seria obtido se o órgão gestor dos recursos hídricos cobrasse das empresas o valor representado pela diferença entre os custos

4 Um padrão de consumo é eficiente sob o ponto de vista paretiano se não é possível melhorar a situação de algum usuário sem piorar a situação de qualquer outro.

social e privado, internalizando (aos custos privados de produção) os custos sociais impostos aos demais usuários do sistema hídrico.⁵

É com base neste exercício lógico que a ação do poder público é justificada. Nesse sentido, o papel da ação pública via o estabelecimento de um preço pelo uso da água funciona como mecanismo de correção da distorção entre o custo social e o custo privado. Em outras palavras, o mecanismo de cobrança pelo uso da água (aí incluída a utilização para diluição de esgotamentos) funciona como instrumento legal de internalizar os efeitos externos que cada usuário de uma bacia hidrográfica impõe aos demais na sua decisão particular de utilização da água, quer seja no consumo ou na produção (como insumo de produção ou como diluente de poluentes).

2.1 Princípios e objetivos da cobrança pelo uso da água

A gestão dos recursos hídricos é uma atividade que traz consigo um custo marginal zero ou bastante próximo de zero, principalmente naquelas bacias com balanço hídrico favorável. O aumento na utilização dos recursos da água, tanto no seu componente quantitativo quanto qualitativo, não está, em geral, diretamente associado a um aumento no custo de oferta. No entanto, o gerenciamento dos recursos hídricos exige certos custos fixos provenientes de investimentos em obras e ações necessárias para garantir e/ou expandir a oferta desse recurso (nos seus componentes quantitativo e qualitativo), além, é claro, dos custos de operação e manutenção. Os recursos necessários para cobrir esses custos terão que ser garantidos, sob pena da oferta desse recurso ser reduzida ou até mesmo interrompida, com prejuízos para toda a sociedade. Nesse sentido, a cobrança pelo uso da água seria então justificada, servindo assim como mecanismo de financiamento dos investimentos e custos de operação e manutenção necessários à atividade de gestão dos recursos hídricos.

Além desse objetivo institucional de financiar os investimentos necessários, que por si só já se justificaria, a cobrança pelo uso da água também se justifica como mecanismo eficiente de corrigir as externalidades negativas que os usuários dos recursos hídricos impõem aos demais usuários do sistema, ao utilizarem a água no consumo, como produto final, ou na produção, como insumo de produção ou diluente de poluentes. Nesse sentido, a cobrança pelo uso da água funciona também como instrumento de correção das distorções entre o custo social e o custo privado, internalizando os efeitos externos que cada usuário de um sistema hídrico impõe aos demais.

5 Não é absurda a idéia de uma quantidade ótima de diluição de poluentes, visto que a tarefa de eliminar a poluição hídrica é custosa. Isto é, reduzir os níveis de poluição das águas abaixo do nível ótimo significa uma redução no bem-estar social.

Além de racionalizar o uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água tem sido também utilizada em outros países como mecanismo para: (i) contribuir para o gerenciamento da demanda, aumentando a produtividade e a eficiência na utilização dos recursos hídricos; (ii) promover a redistribuição dos custos sociais de forma mais eqüitativa; (iii) disciplinar a localização dos usuários, buscando a conservação dos recursos hídricos; (iv) fazer a promoção do desenvolvimento regional integrado, principalmente nas suas dimensões social e ambiental; e (v) incentivar a melhoria dos níveis de qualidade dos efluentes lançados nos mananciais.

O objetivo mais importante da cobrança pelo uso da água é, portanto, garantir aos usuários dos recursos hídricos um uso eficiente desse recurso à medida que corrige as distorções no uso. O mecanismo de cobrança não objetiva incrementar a arrecadação do Estado, nem muito menos reforçar o caixa dos governos, mas sim internalizar os efeitos externos e corrigir as distorções entre o custo social e custo privado, ao mesmo tempo que financia os investimentos necessários ao bom funcionamento do setor.

2.2 Metodologias alternativas para formação de preços e a política de preços ótimos pelo uso da água

Até o final da década de 50 existiam, na literatura econômica, apenas dois pontos de vista diferentes, e até certo ponto conflitantes, de encarar os objetivos que uma política de preço público deveria ter. O primeiro deles, fundamentado na teoria econômica e, portanto, mais amplo, estabelecia que a função do preço público era buscar a eficiência na alocação dos recursos públicos. O segundo ponto de vista, mais restrito, argumentava que o objetivo da política de preço público seria cobrir os custos de produção, de modo que cada usuário deveria pagar uma proporção “justa” destes custos. A consequência do primeiro ponto de vista era ter preço refletindo o custo marginal de produção, enquanto que o segundo era ter preço cobrindo o custo médio de produção. (Carrera-Fernandez, 1997a)

O segundo ponto de vista seduziu e ainda continua seduzindo muitos estudiosos da área de recursos hídricos. A política de preço igual ao custo médio tem sido justificada pelo argumento de que são os próprios beneficiários do sistema hídrico que devem suportar o ônus, na forma de rateio dos custos totais, de modo que cada usuário contribuiria com uma proporção “justa” destes custos.⁶ Embora a política de preço igual ao custo médio seja “eficiente” em termos

6 Segundo essa metodologia de cobrança, o custeio do sistema deveria incluir, além dos investimentos atuais e futuros necessários para que o sistema possa operar eficientemente, todos os custos associados à gestão propriamente dita, manutenção e operação da infra-estrutura do sistema hídrico.

distributivos - ao prever que os próprios usuários gerarão os recursos necessários para a auto-sustentabilidade do setor -, tal política de preço não é economicamente eficiente, uma vez que ela cria ou amplia as distorções na alocação dos recursos hídricos em relação aos níveis socialmente ótimos. Esta é, na realidade, a principal desvantagem de uma política de preços igual ao custo médio de produção.

O estabelecimento de preço igual ao custo marginal, que até a década de 70 parecia ser um passatempo teórico dos economistas, aparentemente longe da realidade, recebeu bastante atenção a partir de então, com grande aplicabilidade prática. A principal desvantagem de implementar uma política de preços igual ao custo marginal é que esta acarreta, via de regra, distorções distributivas. Isto é, embora a política de preço igual ao custo marginal seja economicamente eficiente, ao garantir uma alocação ótima de recursos produtivos, ela não é, em geral, socialmente ótima, visto que essa política de preços gera distorções distributivas.

Essas distorções podem ocorrer em uma indústria que apresenta custos médios declinantes (economias de escala), como é o caso do gerenciamento de recursos hídricos em bacias com excedentes hídricos, porque a política de preços refletindo o custo marginal de produção não gera receita suficiente para cobrir os custos dessa atividade, acarretando, em conseqüência, prejuízos sistemáticos. Do mesmo modo, a conseqüência de uma política de preço refletindo o custo marginal em uma indústria com custos médios crescentes (deseconomias de escala), como parece ser o caso do gerenciamento de recursos hídricos em bacias com balanço hídrico⁷ crítico, é a presença sistemática de lucro econômico, visto que, nesse caso, a receita é potencialmente maior que o custo. Isto significa que, em qualquer dos dois casos, a formação de preços igual ao custo marginal cria efeitos redistributivos negativos na economia (ineficiência distributiva). No primeiro caso, os prejuízos terão que ser forçosamente pagos pelos contribuintes, os quais estariam, em conjunto, subsidiando os usuários dos recursos hídricos. No segundo, os lucros terão que ser compulsoriamente gerados pelos próprios usuários do sistema, os quais estariam sendo punidos ao transferir tais recursos para outras finalidades. Parece então surgir um dilema entre uma alocação eficiente de recursos, mas financeiramente insolvente, ou uma alocação financeiramente solvente, mas economicamente ineficiente.

A maior contribuição dos economistas nessa área foi mostrar que esse dilema era mais aparente do que real, de modo que a eficiência na alocação dos recursos e a solvência financeira não eram objetivos inconsistentes ou contraditórios. Uma solução alternativa

7 Definido pela diferença entre a disponibilidade hídrica do sistema e as demandas consuntivas.

proposta para resolver esse dilema e evitar, assim, os problemas distributivos associados com uma política de preço igual ao custo marginal foi utilizar como referência o custo marginal de longo prazo. Nessa solução, o diferencial entre o preço efetivamente cobrado e o custo marginal de curto prazo foi considerado como renda econômica, atribuída à escassez da água. Essa diferença seria então adicionada ao custo marginal de curto prazo e considerada como componente do custo marginal de longo prazo, que se justificaria como forma de garantir os recursos necessários para futuros investimentos no setor.

Segundo os defensores dessa política de preço, entre eles o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), preço igual ao custo marginal de longo prazo sinalizava para a sociedade a necessidade de investimentos futuros, indispensáveis para suprir o crescimento de demanda, ademais de: (i) estimular o comportamento racional da demanda por meio do aumento da produtividade e da eficiência no uso dos recursos hídricos; (ii) evitar oscilações de preço de um ano para outro, que se verificaria ao se adotar o custo marginal de curto prazo; e (iii) permitir a geração de recursos programados para financiar os investimentos planejados necessários para garantir o aumento de oferta dos recursos hídricos, pois esse conceito considera os custos futuros. São Paulo, o Estado que mais tem avançado na área de recursos hídricos, tem adotado, para nortear seus estudos, a política de preços igual ao custo marginal de longo prazo.⁸

A grande desvantagem de uma política de preço igual ao custo marginal de longo prazo é que, se existe a impossibilidade de se obter eficiência na alocação de recursos em uma parte da economia, a busca dessa condição padrão de eficiência (preços refletindo custo marginal de produção) para o resto da economia não é mais relevante. Isso significa que, em uma economia caracteristicamente marcada pela existência de mercados com retornos crescentes de escala e externalidades tecnológicas - como é o caso característico dos “mercados de águas” e do gerenciamento de recursos hídricos -, os quais não operam sob as condições padrão do bem-estar econômico, não é mais socialmente ótimo ter preços refletindo custos marginais de produção, mesmo no longo prazo, para alguns mercados, mas não todos, pois a economia pode se afastar ainda mais das condições Pareto ótimo do bem-estar social. Portanto, por mais paradoxal que pareça, uma economia com um número menor de mercados operando com preços que reflitam custos marginais pode ser socialmente preferível. A intuição por trás desse resultado, que até certo ponto é surpreendente, está fundamentada na teoria do *second best* de Lypsei e Lancaster (1956-7).

8 A esse respeito, veja-se FUNDAP (1991) e FUNDAP (1993).

Outra solução alternativa mais recentemente desenvolvida e adotada pelo Estado da Bahia para nortear os estudos nessa matéria, que não apresenta as desvantagens das políticas de preço igual ao custo médio e ao custo marginal (curto e longo prazos), é a cobrança pelo uso da água com base na teoria do *second best* (veja-se Carrera-Fernandez, 1997a). Nessa alternativa, o mecanismo pelo qual o uso mais eficiente desse recurso é obtido por meio de uma política de preços que maximize a diferença entre os benefícios e custos sociais e, ao mesmo tempo, minimize os impactos distributivos na economia. Esta política de preços, doravante denominada de estrutura de **preços ótimos**, não gera ganhos ou perdas financeiras associados à política de preço igual ao custo marginal de curto prazo, além de não correr o risco de levar a economia a se afastar ainda mais da fronteira Pareto ótimo - tão provável com uma política de preço igual ao custo marginal de longo prazo, nem tampouco cria (ou amplia) as distorções na utilização dos recursos hídricos associada com a política de preços igual ao custo médio.

A política de preços ótimos é derivada fazendo-se uso da função de utilidade indireta de bem-estar da sociedade, a qual é especificada por:⁹

$$v = v(p, M), \text{ com } \partial v / \partial p < 0 \text{ e } \partial v / \partial M > 0$$

assim como utilizando-se a função de restrição orçamentária da sociedade (ou excedente econômico), que é definida por:

$$M(p) = \sum_j p_j x_j(p) - \sum_j c_j[x_j(p)]$$

onde p é o vetor de preços da economia e M é a renda da comunidade, a qual depende do vetor de preços da economia.

A cobrança pelo uso da água de mananciais (incluído-se aí a diluição de efluentes), para ser eficiente, deve descartar a possibilidade de perdas ou ganhos financeiros e restringir o órgão responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos a gerar um excedente econômico

9 É perfeitamente possível agregar o bem-estar social em uma única função, com base em certas condições estabelecidas pela teoria do bem-estar econômico. No entanto, a existência da função de bem-estar social está condicionada a cinco axiomas (ordenamento completo, não discriminação, não imposição, não ditatorial e independência). Conforme apontado por Arrow (teorema da possibilidade ou "impossibilidade"), não é possível, em geral, construir uma função de bem-estar social a partir de preferências individuais sem violar pelo menos um desses cinco axiomas. Deve-se ressaltar, entretanto, que a existência de uma função de utilidade social é um pressuposto legítimo, de modo que qualquer proposição alicerçada na teoria do bem-estar social é tecnicamente válida. Segundo Samuelson (1988), isso é verdade sempre que essa proposição represente uma implicação dedutível de um pressuposto e não de uma hipótese refutável a respeito do mundo real.

zero. Em realidade, essa restrição estabelece a tão desejada auto-sustentabilidade para o setor dos recursos hídricos.¹⁰ Assim, os preços são escolhidos de modo a maximizar a função de utilidade indireta, sujeito à restrição de que $M(p) = 0$.¹¹ É importante lembrar que tudo que se requer nesta análise é que a função de bem-estar exista, independentemente de ela poder ou não ser especificada matematicamente. Ao resolver-se este problema de otimização, resulta a seguinte condição necessária para um ótimo interior:¹²

$$\partial v / \partial p_j + \mu [p_j (\partial x_j / \partial p_j) + x_j - (\partial c_j / \partial x_j) (\partial x_j / \partial p_j)] = 0 \quad \text{para todo } j$$

onde μ é o multiplicador de Lagrange (que pode ser interpretado como sendo a utilidade marginal da renda). Fazendo-se uso da identidade de Roy, que estabelece que $(\partial v / \partial p_j) / (\partial v / \partial M) = -x_j$, essa expressão pode ser reescrita, após algumas manipulações algébricas, da seguinte forma:

$$-x_j (\partial v / \partial M) + \mu x_j + \mu x_j \{ [p_j - (\partial c_j / \partial x_j)] / p_j \} \varepsilon_j = 0 \quad \text{para todo } j$$

onde $\varepsilon_j = (\partial x_j / \partial p_j) (p_j / x_j) < 0$ é a elasticidade-preço da demanda do bem j . Alternativamente, a equação acima pode ser reescrita, de forma mais sugestiva, da seguinte maneira:

$$(p_j - CMg_j) / p_j = \alpha (1 / |\varepsilon_j|) \quad \text{para todo } j$$

onde $\alpha = 1 - (\partial v / \partial M) / \mu$ é uma constante de proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre benefícios e custos marginais.

Essa condição tem um resultado interessante para a determinação da política de preços ótimos pelo uso da água. Ela estabelece que a variação porcentual de preço da água no uso j , em relação ao seu custo marginal, é inversamente proporcional à sua elasticidade-preço da demanda. Isto significa que quanto menor for a elasticidade-preço para um determinado uso da água maior o preço que deverá ser cobrado em relação ao custo marginal e vice-versa. Portanto, é

10 A auto-sustentabilidade do setor de recursos hídricos é um objetivo justo, tendo em vista que os custos não cobertos terão que ser forçosamente pagos pelos contribuintes (via transferências governamentais), os quais estariam, em conjunto, subsidiando os usuários dos recursos hídricos.

11 Rigorosamente falando, nada impede que esse nível seja diferente de zero. Por exemplo, se a administração pública deseja contribuir com parte dos recursos, o que só seria aceitável nos primeiros anos de implementação da cobrança, então $M(p) < 0$.

12 Supõe-se que a condição suficiente para um ótimo interior é satisfeita.

cobrando preços diferenciados que a distorção no consumo e na produção, em relação aos seus níveis ótimos, é minimizada. Esse resultado segue a mesma linha de Baumol e Bradford (1970).

A intuição por trás desse resultado, que até certo ponto é surpreendente, está fundamentada na teoria do *second best*, a qual estabelece que se existe a impossibilidade de se obter eficiência na alocação de recursos em uma parte da economia, então a busca para o resto da economia das outras condições padrão de eficiência não é mais relevante. Isso significa que, em uma economia caracteristicamente marcada pela existência de mercados regulamentados, com retornos crescentes de escala, e externalidades tecnológicas, os quais não operam sob as condições padrão de bem-estar econômico, não é mais socialmente ótimo ter preços refletindo custos marginais de produção para alguns mercados (mas não todos), pois a economia pode se afastar ainda mais das condições Pareto ótimo. Portanto, por mais paradoxal que pareça, uma economia com menos mercados operando com preços que reflitam custos marginais pode ser socialmente preferível. Essa é, de fato, a mensagem da política de preços ótimos pelo uso da água.

3 Caracterização e descrição da bacia do Pirapama: demandas, disponibilidade e balanço hídrico

Localizada nas mesorregiões Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, a bacia hidrográfica do rio Pirapama ocupa uma área de cerca de 600 km², tem sua nascente no município de Pombos, no Agreste Pernambucano, e uma extensão aproximada de 80 km. A bacia hidrográfica do rio Pirapama engloba parte do território de sete municípios, ou seja, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Jaboatão dos Guararapes e Moreno, todos integrantes da região metropolitana de Recife - RMR, além de Vitória de Santo Antão, Pombos e Escada, os quais estão situados na Zona da Mata Pernambucana.

Os recursos hídricos dessa bacia têm sido utilizados para diferentes finalidades de uso, destacando-se o abastecimento humano, industrial e animal, a diluição de efluentes industriais e esgotamentos sanitários, a agricultura irrigada e a fertirrigação,¹³ a geração de energia elétrica e a preservação da vida aquática (demanda ecológica).

13 A fertirrigação é a prática utilizada pelas usinas e destilarias da região do Pirapama de irrigar as lavouras de cana-de-açúcar com o vinhoto, subproduto que surge tanto no processo de destilação do álcool quanto da aguardente. O benefício da prática da fertirrigação é duplo. Primeiro, porque há uma redução do custo com adubação, visto que as empresas que adotam essa prática não realizam complementação mineral com adubação nas áreas que recebem vinhaça. O segundo benefício é que essa prática representa um aumento de 30% na produtividade agrícola das áreas fertirrigadas.

A cana-de-açúcar é o principal produto agrícola da região, com produtividade média de 50 ton/ha, em sequeiro, significativamente inferior à produtividade do Sul e Centro-Oeste do País, que é de cerca de 73 ton/ha. Essa produtividade aumenta em 30% (ou seja, atinge 65 ton/ha) quando é utilizada a prática da fertirrigação, mas continua ainda inferior às outras regiões do País produtoras de cana-de-açúcar.

A atividade industrial é, de fato, a vocação natural da bacia do rio Pirapama. Existem na área da bacia 24 grandes indústrias, as quais produzem produtos químicos básicos, gases industriais, materiais cerâmicos, caldeiraria, açúcar e álcool, entre outros. A atividade industrial vem sendo estimulada com a implantação de novos projetos nos emergentes distritos industriais de Escada e Vitória de Santo Antão, além dos novos empreendimentos industriais no Complexo Portuário e Industrial de SUAPE e no Distrito Industrial do Cabo, no município do Cabo de Santo Agostinho, o mais importante da bacia.

As águas da bacia do rio Pirapama já apresentam altos índices de poluentes, dentre eles o fósforo total, cujos níveis de até 0,15 mg/l estão bem acima dos índices permitidos pela Resolução N° 20 do CONAMA, que é de 0,025 para águas de Classe 2. Os fatores que mais contribuem para a poluição da bacia são a fertirrigação com vinhaça, as descargas diretas de vinhaça nos cursos d'água de usinas de açúcar e destilarias, os efluentes industriais (principalmente da indústria química), o uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, e os próprios esgotos sanitários.

Os índices de coliformes fecais são também elevados ao longo da bacia do Pirapama, comprometendo, assim, a qualidade de suas águas. A disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos e industriais em lixões, bem como os efluentes industriais e os esgotamentos sanitários sem tratamento adequado estão provocando danos ambientais, contaminando os recursos hídricos da bacia do Pirapama. Os lixões e o alto potencial poluidor do setor agroindustrial, aliado à falta de sistemas públicos de esgotamento sanitário nos municípios que integram a bacia do Pirapama, põem em xeque a qualidade de seus recursos hídricos. Com exceção do município de Vitória de Santo Antão, que apresenta 26% da sua população atendida por rede de esgoto, os sistemas públicos de esgotamento dos demais municípios limitam-se a conjuntos habitacionais ou vilas populares, de modo que a grande maioria da população é desprovida de sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos, utilizando-se, via de regra, de sistemas individuais de esgotos sanitários, quando não são lançados a céu aberto.

O abastecimento de água na região da bacia do Pirapama é feito pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), por meio de um conjunto integrado de sistemas

que captam água do rio Gurjaú e do riacho Sebastopol, bem como do Sistema Hídrico do Complexo Industrial e Portuário de SUAPE. Os serviços de abastecimento de água na RMR vêm sofrendo racionamento nos últimos anos. Os sistemas de abastecimento de água de outros municípios integrantes da bacia que não fazem parte da RMR já estão também enfrentando problemas para atender às crescentes demandas por água potável.

Dentre todas as modalidades previstas de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Pirapama, o abastecimento humano é aquela que exerce a maior demanda por água. Segundo o planejamento da COMPESA, a bacia do Pirapama será fonte importante de suprimento de água bruta para o plano de expansão do abastecimento urbano da RMR. Tomando-se por base a construção da Barragem Principal e as séries geradas na área da referida bacia pelo modelo SMAP, calibrado com 9 anos, estima-se que a demanda por água para o abastecimento público da RMR será em torno de 6,13 m³/s.

Estima-se que a demanda por água para abastecimento industrial na área da bacia do Pirapama seja da ordem de 1,2 m³/s. Todas as grandes unidades industriais instaladas nessa área se abastecem na própria bacia, seja por meio de captações superficiais ou de mananciais subterrâneos. Do total dessas indústrias, 53% utilizam água da COMPESA e 47% fazem captações próprias, via mananciais superficiais ou subterrâneos.

A demanda por água para irrigação é variável ao longo do ano e depende de uma série de parâmetros, tais como climatologia, características do solo, tipo de programa de cultivos, índice de evaporação da região, método de irrigação empregado, e eficiência no uso da água. Tomando-se por base o cenário otimista de utilização dos recursos hídricos na bacia do Pirapama, vislumbrados no Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia do Pirapama, estima-se que a demanda por água para irrigação (pequenos agricultores) seja em torno de 0,22 m³/s.

A estimativa da demanda por água para geração de energia elétrica é feita tomando-se como referência o cenário de aproveitamento dos recursos hídricos apresentados no Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia do Pirapama e a capacidade instalada das PCHs de Cachoeira Tapada e do Cotonifício José Rufino.¹⁴ Com base nesse cenário, estima-se que a demanda por água para geração de energia elétrica nas referidas PCHs não seja superior a 1,2 m³/s, demanda esta estabelecida pelo aproveitamento hidroelétrico marginal do Cotonifício José Rufino.

14 A PCH de Cachoeira Tapada, localizada a montante da barragem Principal, tem capacidade para geração de 1.800 kWh de energia elétrica e necessita de uma vazão média para geração da ordem de 0,8 m³/s. Por outro lado, a PCH do Cotonifício José Rufino tem potência instalada menor, mas é o aproveitamento hidroelétrico marginal em termos de requerimento de água, com uma necessidade maior de vazão estimada em 1,2 m³/s.

Com base na produção de álcool das três principais destilarias que operam na área da bacia do Pirapama, que é da ordem de 522.000 litros/dia, estima-se uma produção diária de vinhaça¹⁵ da ordem de 7.308.000 litros/dia. Isso representa uma carga orgânica potencial de cerca de 182.545 kgDBO/dia. No entanto, estima-se que a carga orgânica potencial total não seja menor que 226.000 kgDBO/dia. Por outro lado, tomando-se por base a vazão dos efluentes industriais das principais indústrias na região do Pirapama (excetuando-se as empresas do setor sucroalcooleiro), chega-se uma demanda de água para diluição de efluentes industriais da ordem de 70.164 kgDBO/dia. Quanto à demanda por água para diluição de esgotamentos sanitários, chega-se uma carga orgânica potencial de 4.131 kgDBO/dia, que exigirá do sistema hídrico do Pirapama vazão suficiente para diluí-la.

A Tabela 1 sumaria as demandas por água nos vários usos previstos na bacia do rio Pirapama, tomando-se por base a construção da barragem Principal e as séries geradas na área da referida bacia pelo modelo SMAP, calibrado 9 anos. Deve-se ressaltar que a utilização da água para abastecimento humano é, por força de lei, prioritária sobre os demais usos dos recursos hídricos. Isso significa que para poder satisfazer a demanda total por água prevista para o abastecimento urbano, em certos períodos, será necessário racionalizar a utilização da água para o abastecimento industrial e para a irrigação, bem como reduzir a sua utilização para geração de energia elétrica, pelo menos para a PCH do Cotonifício José Rufino, que é o aproveitamento hidroelétrico marginal, por se encontrar a jusante da barragem Principal.

Tabela 1
Demandas por Recursos Hídricos por Modalidade de Uso Após a Construção da Barragem Principal na Bacia do Rio Pirapama (M³/S)

Usos dos Recursos	Demanda	
	kgDBO/dia	m ³ /s
Abastecimento urbano		6,13
Abastecimento industrial		1,20
Irrigação		0,22
Geração de energia elétrica		1,20
Ecológico		0,80
Diluição de vinhoto de destilarias	226.000	
Diluição de efluentes industriais	70.164	
Diluição de esgotamento sanitário	4.131	
Total	300.295	9,55

Fonte: Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia do Pirapama/CPRH, 1999.

15 A vinhaça de álcool é produzida na proporção 14:1, de modo que para cada litro de álcool produzido obtém-se 14 litros de vinhaça. A vinhaça de aguardente é produzida em proporção menor, ou seja, de 7:1.

Portanto, excluindo-se a demanda ecológica por água¹⁶ a jusante da barragem Principal (de 0,8 m³/s) e desconsiderando-se a vazão necessária para diluição de efluentes líquidos industriais e esgotamento sanitário, a demanda total por água nas várias modalidades de uso na bacia do Pirapama, após a construção da barragem Principal, é da ordem de 8,75 m³/s, o que significa um volume anual de água de 2,76x10⁸ m³.

4 As funções de demanda por água e as elasticidades-preço nas várias modalidades de uso

O maior problema associado com a valorização da água, cujo recurso não tem preço de mercado, é como estimar a função de demanda por água em cada uso. A técnica de estimar as funções de demanda por água, recurso natural cujo mercado inexistente, pode ser interpretada como o esforço de simular a situação de um mercado hipotético. Uma solução conhecida na literatura econômica para resolver esse tipo de problema é o emprego do método da avaliação contingente (MAC). O MAC consiste em determinar a disponibilidade a pagar dos usuários da água, por meio de procedimentos econométricos baseados em dados obtidos via pesquisa direta com os próprios usuários envolvidos. Esse método apresenta duas desvantagens básicas. A primeira delas é que o MAC é uma solução custosa. A elaboração de questionários, o treinamento dos pesquisadores, bem como todo o processo de análise e processamento dos dados obtidos são todos procedimentos que demandam tempo e principalmente recursos para cobrir os custos durante esse longo processo. A segunda desvantagem é que os resultados obtidos com essa técnica podem não ser tão precisos quanto se gostaria que fossem, pois, independentemente de os questionários terem sido bem elaborados e aplicados, não é possível fazer com que os usuários revelem precisamente o quanto eles estariam realmente dispostos a pagar pelo uso da água. Mesmo que se obtenha um certo valor dos usuários da água, nada garante que esse seja o verdadeiro valor para a água, visto que os usuários comportam-se estrategicamente segundo o princípio hedonístico (máximo com o mínimo de esforço), de modo que ao esconderem a verdade eles poderiam obter um benefício extra.

Outra solução alternativa que não apresenta as desvantagens da demanda contingente e pode ser aplicada a qualquer uso da água, é a demanda “tudo ou nada”. Esse método foi recentemente utilizado por Carrera-Fernandez (1997b) para avaliar as demandas por água nas

16 A demanda ecológica (a jusante da barragem Principal) é a vazão necessária para que a água permaneça na composição do cenário físico, onde cumprirá um papel bem definido na preservação de ecossistemas. Embora tratando-se de um “uso” muito especial, a demanda ecológica não se configura como uso econômico da água. Daí porque ela foi retirada do cálculo da demanda total por água.

principais bacias hidrográficas do Estado da Bahia e consiste em avaliar as funções de demanda por água por meio do conceito de preços de reserva da água para os seus vários usuários.

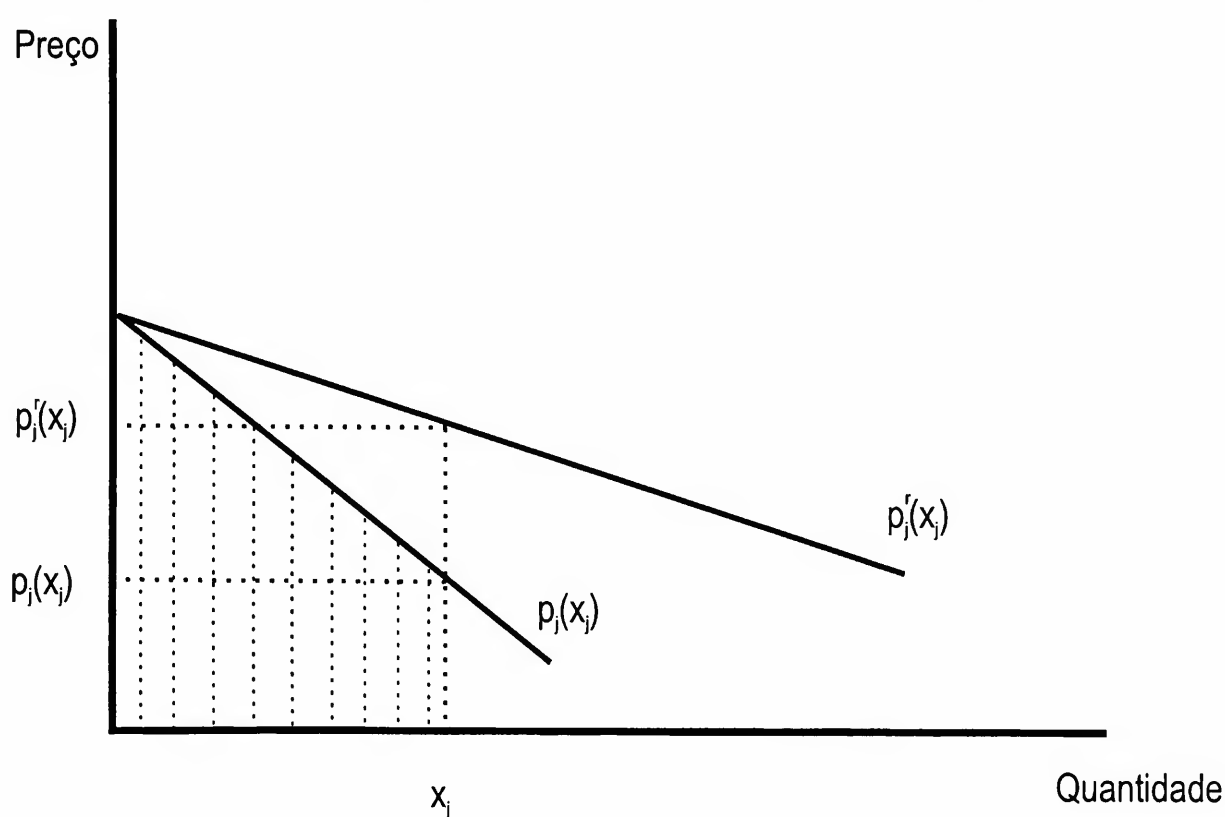
Neste ponto é relevante distinguir dois diferentes conceitos de demanda: a demanda ordinária e a demanda “tudo ou nada”. A demanda ordinária é largamente utilizada na teoria econômica, e o seu conceito é bastante disseminado. Por outro lado, a demanda “tudo ou nada” é muito pouco utilizada pelos economistas, e o seu conceito não é trivial. Demonstra-se, a seguir, que uma é a transformada da outra, por um processo de derivação ou integração, respectivamente.

A curva inferior na Figura 1 ilustra a função de demanda ordinária por água no uso j , a qual é especificada por:

$$p_j = p_j(x_j), \text{ com } dp_j(x_j)/dx_j < 0$$

onde x_j é a quantidade demandada de água no uso j e p_j o seu preço. A altura da curva de demanda ordinária em qualquer ponto, $p_j(x_j)$, representa a disposição a pagar, a qual é definida pelo máximo valor que um usuário da água no uso j estaria disposto a pagar por uma dada quantidade x_j de água nesse uso.

Figura 1
Funções de Demanda Ordinária e “Tudo ou Nada”



Com base nessa mesma curva de demanda, pode-se avaliar o conceito de preço de reserva, p_j^r (ou seja, o máximo valor que o usuário da água no uso j estaria disposto a pagar e permanecer indiferente entre pagar e ter a água disponível para o uso ou não tê-la, absolutamente), o qual é definido por:

$$p_j^r(x_j) = (1/x_j) \int_0^{x_j} p_j(x_j) dx_j$$

O preço de reserva representa a altura da curva de demanda “tudo ou nada”, que é mostrada na Figura 1 pela curva mais alta,¹⁷ e corresponde à área por baixo da curva de demanda ordinária (área hachurada na Figura 1). Diferenciando-se a demanda “tudo ou nada” em relação a x_j , obtém-se a função de demanda ordinária:

$$d[p_j^r(x_j)x_j]/dx_j = p_j(x_j)$$

Em outras palavras, a função de demanda ordinária, $p_j(x_j)$, é a curva marginal da função de demanda “tudo ou nada”, $p_j^r(x_j)$, de modo que ao se estimar uma pode-se obter automaticamente a outra.

Além de ser uma solução simples e barata em relação à demanda contingente, a principal vantagem da técnica da demanda “tudo ou nada” é que ela consegue estimar o custo de oportunidade da água em cada uso, alternativa legítima do valor social da água. As funções de demanda ordinária podem ser derivadas a partir das funções de demanda “tudo ou nada”

As funções de demanda “tudo ou nada” são ajustadas por meio dos preços de reserva da água em cada uso, os quais são obtidos admitindo-se uma interrupção hipotética na utilização desse recurso, de modo que os usuários seriam induzidos a buscar uma solução alternativa mais barata (ou menos cara), que causasse o mesmo efeito e suprisse suas necessidades de água. Deve-se ressaltar que, ao interromper o fornecimento de água para um dado uso, a técnica da demanda “tudo ou nada” estabelece um cenário hipotético, que exige do usuário uma solução alternativa. Ao buscar essa solução alternativa, o usuário estaria revelando o

17 Desde que $p_j(x_j)$ é decrescente em x_j , então $p_j^r(x_j) > p_j(x_j)$. Isso significa que a demanda “tudo ou nada” se situa, de fato, acima da demanda ordinária.

verdadeiro valor (ou custo de oportunidade) da água nesse uso. O custo de oportunidade da água nesse uso é, portanto, o valor adicional que os usuários terão que incorrer com essa solução alternativa e permanecer indiferentes entre essas duas soluções.

Estima-se a seguir os preços de reserva da água em cada modalidade de uso e as respectivas funções de demanda “tudo ou nada” por água.

4.1 Preços de reserva da água por modalidade de uso

O preço de reserva da água em um dado uso é estimado a partir dos custos adicionais de substituição por uma solução alternativa ao se interromper o fornecimento ou a captação de água do manancial em questão. A substituição hipotética por uma solução alternativa objetiva revelar a máxima disposição de pagar pelo uso da água de cada usuário. Assim, o preço de reserva da água é o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar para continuarem a utilizar a água, capturado pelo custo adicional da solução alternativa mais barata (ou menos cara) disponível, e permanecerem indiferentes entre essas duas soluções.

Apresenta-se a seguir o referencial metodológico para determinação dos preços de reserva nas várias modalidades de uso, elementos fundamentais na determinação das funções de demanda “tudo ou nada” por água.

4.1.1 Abastecimento humano

O preço de reserva da água no abastecimento humano, p_{ah}^r , é o valor que os consumidores de água potável teriam que gastar a mais para captar água de poços artesianos, segunda alternativa mais barata ou menos cara, e permanecerem indiferentes entre continuarem a utilizar a água da companhia de abastecimento público ou fazerem suas próprias captações por meio de poços. Outra solução alternativa que poderia ser utilizada pelos usuários, ao se interromper o abastecimento público de água, seria o suprimento de água potável de outros mananciais via carros pipa. Assim, o preço de reserva da água para abastecimento humano pode ser então avaliado da seguinte forma:

$$p_{ah}^r = (1+\gamma_p)c_p - (1+\gamma_m)c_m$$

onde c_p é o custo médio de cada metro cúbico de água captada de poços artesianos (ou carro pipa); c_m é o custo médio de água captada do manancial em questão para abastecimento; e

$\gamma_i, \forall i = p, m$ é a perda de água no abastecimento humano em cada uma das alternativas (poços ou manancial em questão).

O custo médio de produção de água tratada na área da bacia foi estimado em R\$ 0,51 por metro cúbico, ou seja, $(1+\gamma_m)c_m = 0,51$. Segundo dados levantados em empresas perfuradoras de poços, o custo médio de captação de água potável via poços artesianos é de R\$ 0,65 por metro cúbico para grandes vazões e R\$ 0,95 por metro cúbico para pequenas vazões. Por outro lado, o custo médio de abastecimento por meio de carros pipa (operados pela iniciativa privada na RMR) está em torno de R\$ 4,37 por metro cúbico de água. A perda média de água na área da bacia do Pirapama é de cerca de $\gamma_m = 45\%$.¹⁸ Admite-se que as perdas no abastecimento via poços artesianos seja de apenas $\gamma_p = 5\%$. No abastecimento por meio de carros pipa admite-se que não há perdas, de modo que $\gamma_{cp} = 0$.

A solução alternativa menos cara, na hipótese de suspensão do fornecimento público, seria a captação individual mediante poços artesianos. Assim, substituindo-se os valores correspondentes na expressão acima, obtém-se o preço de reserva da água no abastecimento humano, que é da ordem de R\$ 0,49 por metro cúbico de água captada, ou seja, $p_{ah}^r = (1,05 \times 0,95) - 0,51 = 0,49$. Nessa estimativa, utilizou-se o custo médio de captação de água de R\$ 0,95 por metro cúbico, visto que a maior parte das captações seria feita por meio de poços com pequenas vazões. A Tabela 2 mostra esse par ordenado, cujas coordenadas são (0,49; 6,13). A quantidade desse par ordenado foi a própria demanda por água da bacia para abastecimento público, que é de 6,13 m³/s.

Admitindo-se agora que a solução alternativa ao abastecimento público fosse o abastecimento por meio de carros pipa, então o preço de reserva da água nesse uso seria ainda maior. Nesse caso, o novo preço de reserva seria de R\$ 3,86 por metro cúbico de água consumida, visto que $p_{ah}^r = 4,37 - 0,51 = 3,86$. Como não haveria perdas nesse caso, a quantidade de água efetivamente captada do manancial seria reduzida para $x_{ah}' = (1 - \gamma_m)x_{ah} = (1 - 0,45) \times 6,13 = 3,37$ m³/s. Essa nova situação alternativa permitiu obter um segundo ponto cujas coordenadas são (3,86; 3,37), o qual possibilitará, juntamente com o par ordenado obtido anteriormente, o ajustamento da função de demanda “tudo ou nada” (veja-se Tabela 2).

18 A qual inclui perdas na captação, tratamento, distribuição, bem como perdas de faturamento.

4.1.2 Abastecimento industrial

Admitindo-se hipoteticamente que o fornecimento ou a captação de água da bacia do Pirapama para as indústrias fosse interrompido, então o custo de oportunidade da água no abastecimento industrial, p_{ai}^r , seria computado pelo valor (ou gasto) adicional que as empresas teriam que incorrer para se abastecer de água por meio de uma solução alternativa menos cara. Uma solução alternativa seria captar água de outras bacias hidrográficas, via carros pipa ou mesmo mediante a construção de linhas de adução. Outra alternativa que poderia ser ainda utilizada seria a reciclagem de suas águas, ou mesmo uma combinação de reciclagem e captação própria. Em qualquer caso, as firmas teriam que despender recursos adicionais para continuar produzindo o mesmo nível de produção que produziam antes da interrupção do fornecimento de água.

Portanto, o preço de reserva da água no abastecimento industrial, p_{ai}^r , seria o máximo valor que as indústrias estariam dispostos a pagar pela água e permanecerem indiferentes entre continuar a utilizar água desse manancial ou fazer captações em outras bacias (e/ou reciclar suas águas), segunda alternativa mais barata ou menos cara. Admitindo-se que a solução alternativa menos cara seja a captação via carros pipa, uma vez que grandes captações necessitariam, teoricamente, de outorga de direito de uso, então o preço de reserva da água para abastecimento industrial poderia ser avaliado por meio da seguinte expressão:

$$p_{ai}^r = c_{cp} - (1 + \gamma_m)c_m$$

onde c_{cp} é o custo médio da água para abastecimento industrial por meio de carros pipa, c_m é o custo médio de água captada do manancial para uso industrial, e γ_m é a perda no abastecimento industrial com captação do manancial em questão.

A estimativa do preço de reserva da água nesse uso, na hipótese de haver uma interrupção na captação de água do manancial em consideração, foi feita tomando-se por base o custo médio de abastecimento via carros pipa, cujo valor médio foi de R\$ 3,45 por metro cúbico de água. Adotou-se nessa avaliação o custo médio de captação do manancial, que é de cerca de R\$ 0,59 por metro cúbico de água abastecida.¹⁹ Admitiu-se uma perda de água no

¹⁹ Valor esse obtido ao se computar a média ponderada entre a tarifa de água bruta no abastecimento industrial praticada pela COMPESA, que é de R\$ 0,46/m³, e o custo de captações próprias (grandes vazões) incorrido pelas indústrias, que é em torno de R\$ 0,65/m³. Os fatores de ponderação foram 0,7 para abastecimento próprio e 0,3 para o abastecimento público.

abastecimento industrial de 20%, ou seja, $\gamma_m = 0,2$. Assim, substituindo-se esses valores na expressão acima, obtém-se o preço de reserva nesse uso, o qual foi igual a R\$ 2,74 por metro cúbico de água abastecida, visto que $p_{ai}^r = 3,45 - 1,2 \times 0,59 = 2,74$. Esse preço de reserva pode ser visto na Tabela 2, como o primeiro elemento de um par ordenado, cujas coordenadas são (2,74; 1,2).

Outra solução alternativa não tão barata quanto a anterior, mas que poderia causar o mesmo efeito, seria a utilização da prática de reciclagem (de parte da água utilizada pela indústria), combinada com o abastecimento (do restante das necessidades de água) por meio de captações próprias. Adotando-se o índice médio de reciclagem de água da indústria americana, que é de cerca de 75% da água utilizada,²⁰ estima-se que haveria necessidade de captar apenas 25% da demanda prevista de água da indústria (o que significa uma vazão de $x_{ai}' = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$). Adotou-se o custo médio de reciclagem da água na indústria química de R\$ 9,68 por metro cúbico de água, e o custo de captação própria para grandes vazões de R\$ 0,65 por metro cúbico de água. Nesse caso, o custo médio para abastecimento de água na indústria será igual a R\$ 7,42 ($0,75 \times 9,68 + 0,25 \times 0,65$) por metro cúbico. Substituindo-se os valores correspondentes na expressão do custo de oportunidade da água, obtém-se o novo preço de reserva da água, o qual é de R\$ 6,91 ($7,42 - 0,51$) por metro cúbico. A Tabela 2 mostra esse ponto, cujas coordenadas são (6,91; 0,30), o qual possibilitará estimar a função de demanda “tudo ou nada” nessa modalidade de uso.

4.1.3 Irrigação

O preço de reserva da água para a agricultura irrigada é o máximo valor que os irrigantes estariam dispostos a pagar por metro cúbico de água e ficarem indiferentes entre produzir com ou sem irrigação, ou seja, é o ganho adicional que os agricultores teriam se irrigassem suas lavouras com as águas desse manancial, em relação ao valor da produção em sequeiro, p_i^r , o qual pode ser computado da seguinte forma:

$$p_i^r = (t_i - t_s)S_i/x_i$$

onde x_i é o volume anual de água captada do manancial para irrigação; S_i é a área total irrigada com a água desse manancial, por unidade de tempo; t_i é o preço da terra irrigada por unidade de área; e t_s é o preço da terra em sequeiro por unidade de área.

20 Dados do Departamento de Comércio dos Estados Unidos da América. (Frederiksen, 1994).

O diferencial de preços $t_i - t_s$ na expressão acima representa a renda ou quase-renda da terra irrigada em relação à terra não irrigada,²¹ a qual é utilizada como *proxy* para o acréscimo do lucro que os produtores teriam com suas lavouras irrigadas, em relação ao lucro que se obteria ao se produzir em sequeiro. Essa renda ou quase-renda é, de fato, apropriada pelos fazendeiros que irrigam a terra e, portanto, pode ser tomada como uma medida do custo de oportunidade da água na agricultura irrigada.

Embora não se disponha de um cadastro de irrigantes na bacia do Pirapama, nem tampouco processos de outorga já aprovados ou em tramitação, estima-se que a área irrigada pelos pequenos produtores não seja inferior a 220 hectares (tomando-se como referência um cenário otimista), que demandam uma vazão de aproximadamente $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$ ²² (ou $x_i = 6,94 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$).

Em levantamento efetuado na área da bacia do Pirapama observou-se que os preços de um hectare de terra (plana, nua, e passível de ser irrigada) podem variar de R\$ 1.200,00 a R\$ 3.000,00, com média em torno de R\$ 1.800,00 por hectare. Por outro lado, os preços de terra não irrigável, de condições semelhantes, podem variar de R\$ 1.000,00 a R\$ 1.800,00, com média ao redor de R\$ 1.500,00. Substituindo-se essas estimativas na expressão acima obtém-se o preço de reserva da água para irrigação,²³ que é de $\text{R\$ } 9,51 \times 10^{-3}$ por metro cúbico, visto que $p_i^r = (1800 - 1500)(220 / 6,94 \times 10^6) = 9,51 \times 10^{-3}$. Esse preço de reserva é o primeiro elemento de um par ordenado, cujas coordenadas são $(9,51 \times 10^{-3}; 0,22)$, e pode ser visualizado na Tabela 2.

Outra solução alternativa que poderia ser utilizada em substituição à produção agrícola em sequeiro seria permitir a captação de água para irrigação apenas para aqueles irrigantes outorgados, limitando-se o volume de outorgas a 80% da demanda prevista para esse uso, ou seja, $x_i' = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ (o que equivaleria a $5,68 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água por ano). Isso significa que a área irrigada seria reduzida de 220 ha para 176 ha. Estima-se que o diferencial de valor das terras irrigáveis com outorga de direito de uso, em relação àquelas sem outorga, seria em torno de 15%.²⁴ Na composição desse diferencial haveria uma redução de 5% no valor da terra

21 Renda ou quase-renda econômica é o pagamento a um fator de produção que excede o pagamento mínimo necessário para ter aquele fator suprido pelo mercado.

22 Estimado tomando-se por base o requerimento técnico usual de $1,0 \text{ l/s/ha}$ de água necessário para irrigar um hectare.

23 Tendo em vista que a prática da outorga ainda não está bem difundida na região, esses valores de terra ainda não capturam totalmente a renda ou quase-renda proveniente da outorga de direito de uso da água. Portanto, espera-se que esse diferencial de preços seja ainda maior, à medida que o mecanismo de outorga de direito de uso da água seja paulatinamente implementado na bacia do Pirapama.

24 Avaliado com base nos dados obtidos na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, no Estado da Bahia. (Carrera-Fernandez, 1997b)

irrigável sem outorga e um aumento de 10% no valor da terra irrigável com outorga. Desse modo, o hectare de terra irrigável na área da bacia do Pirapama, que antes valia em média R\$ 1.800,00, deverá valer R\$ 1.980,00 com outorga e R\$ 1.710,00 sem outorga. Portanto, o valor médio da terra irrigável (ponderado pela participação da terra com e sem outorga de direito de uso) será de cerca de R\$ 1.926,00 por hectare. Substituindo-se esses valores na expressão do preço de reserva nessa modalidade de uso, obtém-se o novo preço de reserva, que é de $p_i^r = \text{R\$ } 1,32 \times 10^{-2}$ por hectare,²⁵ visto que $(1.926 - 1.500)(176/5,68 \times 10^6) = 1,32 \times 10^{-2}$. O segundo par ordenado fica então determinado, cujas coordenadas são $(1,32 \times 10^{-2}; 0,18)$.

4.1.4 Geração de energia elétrica

A utilização da água para geração de energia elétrica pode ser considerada como uso não consuntivo desse recurso, tendo em vista que a geração nas duas PCHs é a fio d'água.²⁶ Embora a geração de energia elétrica seja considerada como uso não consuntivo dos recursos hídricos, deve-se ressaltar que a geração hidráulica de energia estabelece uma restrição de vazão que deve ser garantida e imposta a todos os usuários a montante do sistema hídrico, vazão essa que ficaria indisponível e não poderia ser utilizada por qualquer outro usuário a montante do ponto de geração.

O preço de reserva que os consumidores-produtores de energia elétrica estariam dispostos a pagar por cada metro cúbico de água para geração de energia elétrica, p_e^r , é o valor que tais consumidores teriam que despende a mais para consumir energia elétrica de outra fonte alternativa de geração, como, por exemplo, de uma usina térmica ou de um motor a diesel, e estarem indiferentes entre uma alternativa e outra. Isto é:

$$p_e^r = (q_e/x_e)(c_t - c_h)$$

onde x_e é o volume de água por unidade de tempo requerido para geração de energia elétrica; q_e é a capacidade instalada de energia elétrica da central hidroelétrica em questão; c_h é o custo

25 Nessa avaliação admitiu-se que o valor da terra em sequeiro não se alteraria e permaneceria no nível estabelecido pelo seu valor médio de R\$ 1.500,00 por hectare.

26 Nesse caso, a água é utilizada em seu próprio manancial sem haver necessidade de retirá-la, devolvendo-a integralmente ao mesmo. Esse fato não ocorreria se fosse necessária a construção de barramento para regularização da vazão, visto que a simples existência do espelho d'água provocaria evaporação de água suficiente para garantir um uso consuntivo da água.

de geração de 1 mW de energia elétrica pela central hidroelétrica; e c_t é o custo de geração de 1 mW de energia elétrica por meio de usina térmica ou de um motor a diesel. O diferencial $c_t - c_h$ na expressão acima representa a economia de custo entre duas fontes alternativas de geração de energia elétrica, benefício esse apropriado pelo produtor.

Ao se proibir a utilização de água pelas duas centrais hidroelétricas localizadas na bacia do Pirapama admite-se que a solução alternativa menos cara (ou mais barata) que produziria o mesmo efeito seria a geração de energia elétrica por meio de usinas térmicas, as quais representariam um custo de aproximadamente R\$ 53,89 por mWh de energia elétrica produzida. Tomou-se a tarifa de suprimento de energia elétrica do sistema Norte-Nordeste da Eletrobrás, que é de R\$ 34,51 por mWh, como *proxy* para o custo de geração de energia elétrica pelas PCHs do Pirapama. A demanda por água para geração de energia elétrica na PCH do Cotonifício José Rufino (aproveitamento marginal), com potência instalada em torno de $q_e = 0,5$ mW, foi estimada em $1,2$ m³/s, o que equivale a uma demanda de $x_e = 4.320$ m³/h. Admitiu-se que a demanda por água para geração termelétrica foi da ordem de 5% daquela demandada por uma hidroelétrica, o que significaria algo em torno de $0,06$ m³/s (ou 216 m³/h).²⁷ Assim, substituindo-se os valores correspondentes na expressão acima obtém-se o preço de reserva para geração de energia elétrica na bacia do Pirapama: $p_e^r = \text{R\$ } 2,24 \times 10^{-3} = (0,5/4.320)(53,89 - 34,51)$. Portanto, esse par (preço de reserva e consumo de água) forma um ponto da função de demanda ‘tudo ou nada’, cujas coordenadas são $(2,24 \times 10^{-3}; 0,06)$, que pode ser visto na Tabela 2.

Outra solução alternativa à produção de energia elétrica em uma usina termelétrica seria a geração por meio de um motor à diesel, cujo custo de produção estaria em torno de R\$ 58,31 por mWh de energia elétrica. Nesse caso, o preço de reserva seria obtido substituindo-se os respectivos valores na expressão acima, ou seja, $p_e^r = \text{R\$ } 1,73 \times 10^{-2} = 0,5(58,31 - 53,89)/216$ por m³ de água. Portanto, o segundo ponto da função de demanda ‘tudo ou nada’ fica assim definido, cujas coordenadas são $(1,73 \times 10^{-2}; 0,06)$, conforme pode ser visto na Tabela 2.

27 A geração de energia elétrica por meio de usinas térmicas também exerce demanda sobre a base de recursos hídricos, principalmente para a produção de vapor e para refrigeração nas referidas usinas. Nas plantas termelétricas, o vapor descarregado pelas turbinas a uma pressão inferior à atmosférica passa através dos condensadores, onde sofre resfriamento e retorna ao estado líquido, sendo bombeado novamente para as caldeiras, em circuito fechado. As perdas nesse processo não chegam a ser apreciáveis, razão porque o uso da água para essa finalidade é, para fins práticos, considerado não consuntivo. No entanto, para a refrigeração dos condensadores, deve-se fazer circular grandes volumes de água, gerando perdas um pouco maiores do que aquelas que sucedem no circuito das caldeiras quando a água é devolvida à fonte ou às torres de arrefecimento.

4.1.5 Fertirrigação

O preço de reserva pelo uso dos recursos hídricos da bacia do Pirapama como corpo diluidor dos poluentes do vinhoto na fertirrigação, p_f^r , é o máximo valor que as usinas estariam dispostas a pagar pelo direito de continuarem a fertirrigar suas lavouras de cana, poluindo os mananciais de forma difusa, e permanecerem indiferentes entre a solução atual ou terem que buscar uma solução alternativa. Uma solução alternativa que reduziria a poluição difusa a níveis bastante baixos seria aumentar a área a ser fertirrigada (ou seja, diminuir a concentração de vinhoto),²⁸ complementando-se essa medida com o replantio de matas ciliares ao longo da área da bacia, objetivando evitar o carreamento do vinhoto ao leito dos rios. Assim, o preço de reserva poderia ser avaliado da seguinte forma.²⁹

$$p_f^r = [(\Delta C_f - \Delta P m_e p_c - \Delta C_a) \Delta S_f + C_r] / x_{\text{DBO}}$$

onde ΔC_f é o custo adicional de fertirrigação por hectare ampliado, $\Delta P m_e p_c$ é o acréscimo da produtividade média da cana-de-açúcar com a fertirrigação, p_c é o preço médio da cana-de-açúcar, ΔC_a é a redução no custo de adubação da lavoura de cana com a fertirrigação, ΔS_f é o acréscimo da área a ser fertirrigada, C_r é o custo de replantio de mata ciliar, e x_{DBO} é a carga orgânica potencial do vinhoto produzido nas destilarias, em kgDBO.

Estimativas dão conta que as maiores destilarias que se localizam na área da bacia do Pirapama produzem uma carga orgânica potencial de mais de 226 mil kgDBO/dia, resultado da vinhaça que surge no processo de destilação.³⁰ Adotando-se a proporção de 12 litros de vinhaça para cada litro de produto (média de álcool e aguardente), então a produção diária de vinhaça é da ordem de 6.264.000 litros/dia ou 2,29 milhões de m³/ano. Tomando-se a dose “ideal” de vinhaça que está em torno de 300 m³/ha, estima-se que a área a ser fertirrigada é da ordem de 7.621 hectares por ano. Portanto, dobrar a área fertirrigada significa ampliar a área em mais 7.621 hectares por ano. Admitindo-se que expansão na área fertirrigada aumente tais custos em 60% e tomando-se o custo médio de fertirrigação por aspersão na região da bacia do Pirapama de R\$ 4.000,00 por hectare, estima-se um custo adicional de $0,6 \times 4.000 \times 7.621 = \text{R\$ } 1,83 \times 10^7$ por ano.

28 Estima-se uma dosagem média de vinhaça na fertirrigação da ordem de 300 m³/ha.

29 A prática da fertirrigação tem um duplo benefício: o benefício direto com o aumento na produtividade agrícola das áreas fertirrigadas em cerca de 30% e o benefício com a redução verificada com o custo de adubação, visto que as empresas que adotam essa prática não realizam complementação mineral com adubação nas áreas que recebem vinhaça.

30 Essa carga de poluente é equivalente a uma carga orgânica produzida por uma população de 4,2 milhões de habitantes.

Pressupõe-se que a ampliação na área fertirrigada acarretará um aumento de produtividade da cana-de-açúcar em 30%, ou seja, de 50 tn/ha para 65 tn/ha, além de reduzir os custos com adubação. Tomando-se por base o preço da tonelada de cana-de-açúcar, no campo, na região Norte-Nordeste, que é em torno de R\$ 27,00, avalia-se que o ganho em termos de produtividade seja de $15 \times 27,00 \times 7.621 = \text{R\$ } 3,09 \times 10^6$ por ano. Utilizando-se o custo com adubo de R\$ 2,39 por tonelada de cana, estima-se que a redução do custo com adubação propiciado pela prática da fertirrigação seja da ordem de $2,39 \times 65 \times 7.621 = \text{R\$ } 1,18 \times 10^6$ por ano.

Objetivando evitar o carreamento do vinhoto para o leito dos rios, admitiu-se que o replantio de matas ciliares abranja uma extensão de 30 km e uma largura de 40 metros (20 metros em cada margem do rio), então a área a ser replantada seria de aproximadamente 120 hectares. Admitindo-se preços de terras ao redor de R\$ 2.000 o hectare, o custo com as desapropriações seria em torno de $120 \times 2.000 = \text{R\$ } 240.000$. Tomando-se o custo de replantio de mata ciliar de R\$ 1.400,00 por hectare, então tem-se um custo total com o replantio da ordem de $(1.400,00 + 2.000,00) \times 120 = \text{R\$ } 408.000,00$ por ano.

Portanto, acrescentando-se o custo do replantio de mata ciliar ($\text{R\$ } 4,08 \times 10^5$ por ano) ao custo líquido da expansão da área fertirrigada ($\text{R\$ } 1,4 \times 10^7$ por ano = $\text{R\$ } 1,83 \times 10^7 - \text{R\$ } 3,09 \times 10^6 - \text{R\$ } 1,18 \times 10^6$) obtém-se o custo de oportunidade total líquido da fertirrigação na bacia do Pirapama, o qual é da ordem de $\text{R\$ } 1,44 \times 10^7$ por ano. Esse seria o montante de recursos (custo de oportunidade da fertirrigação) que a sociedade teria que despender para evitar a poluição hídrica. Dividindo-se esse custo de oportunidade líquido anual pela carga orgânica potencial de vinhoto ($x_f = 8,25 \times 10^7$ kgDBO por ano), obtém-se o preço de reserva pelo uso dos recursos hídricos da bacia do Pirapama como corpo diluidor dos poluentes do vinhoto (na fertirrigação), ou seja: $p_f^r = [(2.401,26 - 405,46 - 154,83) \times 7.621 + 4,08 \times 10^5] / 8,25 \times 10^7 = \text{R\$ } 0,175$ por kgDBO. O primeiro ponto na função de demanda “tudo ou nada” fica então determinado, ou seja, $(0,175; 8,25 \times 10^7)$, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Outra solução alternativa não menos cara seria a transformação do vinhoto em adubo sólido. Essa transformação industrial seria viabilizada mediante a construção de açudes especiais, dispostos em série, para o processo de evaporação da água e conseqüente obtenção do adubo sólido. Estima-se que tais investimentos necessitariam recursos da ordem de $\text{R\$ } 1,83 \times 10^7$ por ano. Tomando-se a quantidade de DBO demandada pelas três principais destilarias que operam na área da bacia do Pirapama, que é da ordem de $6,66 \times 10^7$ kgDBO/ano, então o preço de reserva da água como corpo diluidor da carga orgânica do vinhoto na fertirrigação seria de $\text{R\$ } 0,28$ por kgDBO. Esse valor é o resultado da divisão do custo anual pela carga orgânica potencial anual de vinhoto dessas empresas. Assim, o segundo ponto a

ser considerado para o ajustamento da função de demanda “tudo ou nada” fica então determinado, cujas coordenadas são (0,28; 182.545).

4.1.6 Diluição de efluentes industriais

O preço de reserva dos recursos hídricos quando utilizados como corpo diluidor de efluentes industriais, p_{ei}^r , é o valor que as indústrias estariam dispostas a pagar para continuarem a diluir seus esgotos, com uma certa concentração aceitável de poluentes, e ficarem indiferentes entre continuarem a produzir do mesmo modo ou, ao serem impedidas de diluir seus esgotos, terem que buscar uma solução alternativa que produza o mesmo efeito. Uma solução alternativa seria a construção de um sistema centralizado de tratamento de efluentes industriais. O custo de oportunidade da água nesse caso seria, portanto, o valor que as empresas, em conjunto, teriam que desembolsar a mais para continuarem produzindo os mesmos níveis de produção que vinham produzindo anteriormente e permanecerem indiferentes entre uma ou outra alternativa, ou seja:

$$p_{ei}^r = (c_r - c)/y_{DBO} = \Delta c_t / x_{DBO}$$

onde c e c_r são, respectivamente, o custo de produção por unidade física com a tecnologia atual e com a construção de sistemas de tratamento dos efluentes, de modo que $\Delta c_t = c_r - c$ é o acréscimo no custo de produção ao se usar a tecnologia mais cara, que reduz a carga orgânica (ou concentração do poluente) no meio ambiente a níveis compatíveis com certos parâmetros ambientais,³¹ e x_{DBO} é a carga orgânica potencial dos efluentes industriais.

Estima-se que os efluentes líquidos das grandes indústrias localizadas na área da bacia do Pirapama são responsáveis por uma carga orgânica potencial de mais de 70.164 kgDBO/dia (ou $2,56 \times 10^7$ kgDBO/ano). Estimou-se que construção de um sistema de depuração centralizado de efluentes industriais, o qual incluiria a rede coletora, estação de tratamento, estação elevatória e linha de recalque, exigiria investimentos totais (custos com capital, operação e manutenção) da ordem de R\$ $7,8 \times 10^7$ (valor presente), o que representaria uma anuidade (amortização do investimento total)³² de cerca de R\$ $1,04 \times 10^7$. Assim, dividindo-se

31 Esse diferencial de custo é implicitamente apropriado pelas indústrias, ao lançarem e diluírem seus efluentes nos mananciais.

32 Utilizou-se como referência para esse projeto um horizonte de 20 anos.

esse custo anual pela carga orgânica potencial anual da indústria obtém-se o preço de reserva da água para diluição de efluentes industriais $p_{ei}^r = R\$ 0,41$ (ou seja, $1,04 \times 10^7 / 2,56 \times 10^7 = 0,41$) por kgDBO. Portanto, o primeiro ponto da função de demanda “tudo ou nada” terá as seguintes coordenadas (0,41; $2,56 \times 10^7$).

Outra solução alternativa mais radical e, portanto, mais cara, seria a implantação de um sistema de tratamento terciário (ou até mesmo quaternário), o qual exigiria, além daqueles investimentos contemplados no tratamento secundário, a construção de uma lagoa de polimento. Nesse caso, admite-se que haveria uma redução de 75% no volume de efluente líquido despejado nos mananciais, o que implica igual redução na carga potencial de DBO de 70.164 para 17.541 kgDBO/dia (ou $6,40 \times 10^6$ kgDBO/ ano). Estimou-se que o custo anual necessário para o tratamento terciário³³ dos efluentes industriais seria de aproximadamente R\$ $1,27 \times 10^7$. Assim, dividindo-se o custo anual de tratamento terciário dos efluentes líquidos industriais pela carga orgânica potencial anual obtém-se o preço de reserva da água para diluição de efluentes industriais nessa solução alternativa, que é da ordem de R\$ 1,98 por kgDBO. Portanto, o segundo ponto a ser considerado para o ajustamento da função de demanda “tudo ou nada” terá as seguintes coordenadas (1,98; 17.541) e pode ser visto na Tabela 2.

4.1.7 Diluição de esgotamentos sanitários

O preço de reserva da água para diluição de esgotamentos sanitários, p_{es}^r , é o valor que os consumidores (agentes poluidores), ou a sociedade de modo geral, estariam dispostos a pagar para diluir seus esgotos, e ficarem indiferentes entre continuarem a utilizar os mananciais como corpos diluidores ou, ao serem impedidos de continuar diluindo seus esgotos nos mananciais, terem que buscar uma solução alternativa que produza o mesmo efeito, ou seja:

$$p_{es}^r = \Delta c_t / x_{DBO}$$

onde Δc_t é o valor que a sociedade teria que desembolsar para construir um sistema de tratamento de esgotamento sanitário (solução alternativa que produz o mesmo efeito), e x_{DBO} é a carga orgânica potencial dos esgotamentos sanitários.

33 Tomou-se por base o aumento de 22% no custo com o tratamento terciário do sistema centralizado do Pólo Petroquímico de Camaçari/Bahia (Garrido, 1891), o qual inclui todos os custos de operação, manutenção e amortização do investimento, associados com a construção de uma lagoa de polimento.

Estima-se que a carga orgânica potencial que é descartada no solo e nos corpos receptores da bacia do rio Pirapama seja da ordem de 4.131 kgDBO/dia (ou $x_{es} = 1,51 \times 10^6$ kgDBO/ano), a qual deverá exigir do sistema hídrico do Pirapama vazão suficiente para diluí-la. Supõe-se que o menor valor que a sociedade gastaria com o tratamento de seus esgotos seria aquele incorrido pela própria COMPESA nessa tarefa, que é da ordem de R\$ 0,65 por m^3 de esgoto. Assim, admitindo-se que cada m^3 de esgoto contém 17 kgDBO, então o preço de reserva pelo uso da água para diluição de esgotamentos sanitários será igual a $p_{es}^r = 0,65/17 = R\$ 0,04/\text{kgDBO}$. O primeiro ponto na função de demanda “tudo ou nada” nesse uso fica, então, definido e terá as seguintes coordenadas (0,04; $1,51 \times 10^6$), conforme pode ser constatado na Tabela 2.

Outra solução alternativa mais dispendiosa seria a construção de um sistema de tratamento terciário no município do Cabo de Santo Agostinho, o qual seria capaz de reduzir os níveis de DBO nas águas da bacia em 85%. Estima-se que o sistema completo, que inclui a rede coletora, estação de tratamento, lagoa de polimento, estação elevatória e linha de recalque, exigiria investimentos da ordem de R\$ $1,2 \times 10^6$ (valor presente), o que representaria uma amortização do investimento de cerca de R\$ $1,61 \times 10^5$ anuais.³⁴ Assim, dividindo-se o custo anual de implementação do referido sistema de tratamento de esgotos sanitários pela carga orgânica potencial residual de 15%, ou seja, $2,26 \times 10^5$ kgDBO/ano, obtém-se o preço de reserva da água para diluição de esgotamentos sanitários, que é de R\$ 0,71 por kgDBO. Portanto, o segundo ponto da função de demanda “tudo ou nada” é assim obtido, cujas coordenadas são (0,71; 619,65) e pode ser visto na Tabela 2.

4.2 Especificação das demandas e das elasticidades-preço

A Tabela 2 mostra os dois pares ordenados (preço de reserva–quantidade) para cada modalidade de uso, obtidos a partir das estimativas dos preços de reserva da água e das respectivas quantidades demandadas em cada finalidade de uso na bacia do Pirapama. De posse desse conjunto de dois pontos, pode-se então ajustar uma função linear aos mesmos, de modo a obter-se a função linear de demanda “tudo ou nada” por água em cada uso.

34 Nessa estimativa considerou-se um horizonte de 20 anos e uma taxa anual de desconto de 12%.

Tabela 2
Pares de Preço de Reserva e Quantidade em Cada Modalidade de Uso da Água -
Coefficientes Linear e Angular da Demanda “Tudo ou Nada”

Usos	Preço de Reserva *		Quantidade **		Coeficiente	
	P_{r1}	P_{r2}	X_1	X_2	Linear	Angular
Abastecimento humano	0,49	3,86	6,13	3,37	6,53	-0,82
Abastecimento industrial	2,74	6,91	1,2	0,30	1,79	-0,22
Irrigação	$9,51 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-2}$	0,22	0,18	0,32	-10,84
Geração de energia elétrica	$2,24 \times 10^{-3}$	$1,73 \times 10^{-2}$	1,2	0,06	1,37	-75,70
Fertirrigação	0,175	0,28	226.000	182.545	298.425,00	-413.857,14
Diluição de efluentes industriais	0,41	1,98	70.164	17.541	83.906,31	-33.517,83
Diluição de esgotamentos sanit.	0,04	0,71	4.131	619,65	4.340,63	-5.240,82

Fonte: Tabela 1 e cálculos no texto.

* Os quatro primeiros preços em R\$/m³ e os três últimos em R\$/kgDBO.

** As quatro primeiras quantidades em m³/s e as três últimas em kgDBO/dia.

Conforme demonstrado anteriormente, a função de demanda ordinária por água em cada modalidade de uso é obtida a partir das funções de demanda “tudo ou nada”, visto que as curvas de demanda ordinária correspondem às curvas marginais das demandas “tudo ou nada”. A Tabela 3 mostra as funções de demanda “tudo ou nada” e as correspondentes demandas ordinária por água em cada modalidade de uso na bacia hidrográfica do rio Pirapama, bem como o valor absoluto das elasticidades-preço da demanda, avaliadas nos respectivos pontos previstos de demanda.

Tabela 3
Demandas por Água nos Vários Usos e Suas Respectivas
Elasticidades-Preço da Demanda, em Valor Absoluto

Usos	Demandas “Tudo ou Nada”	Demandas Ordinária	$ \epsilon_i $
Abastecimento humano	$X_{ah}=6,53-0,82p_{ah}$	$X_{ah}=6,53-1,64p_{ah}$	0,13
Abastecimento industrial	$X_{ai}=1,79-0,22p_{ai}$	$X_{ai}=1,79-0,44p_{ai}$	0,99
Irrigação	$X_i=0,32-10,84p_i$	$X_i=0,32-21,68p_i$	0,94
Geração de energia elétrica	$X_{ge}=1,37-75,7p_{ge}$	$X_{ge}=1,37-151,4p_{ge}$	0,28
Fertirrigação	$X_f=298.425,0-413.857,14p_f$	$X_f=298.425,0-827.714,28p_f$	0,64
Diluição de efluentes industriais	$X_{ei}=83.906,31-33.517,83p_{ei}$	$X_{ei}=83.906,31-67.035,66p_{ei}$	0,39
Diluição de esgotamentos sanit.	$X_{es}=4.340,63-5.240,82p_{es}$	$X_{es}=4.340,63-10.481,64p_{es}$	0,10

Fonte: Tabela 2 e cálculos no texto.

5 Custos de gerenciamento dos recursos hídricos

Embora a construção da barragem Principal seja condição necessária para expansão da oferta de água para o abastecimento urbano da RMR, ela não é suficiente para garantir o suprimento sem racionamento de água. A condição suficiente para garantir a oferta de água ao sistema hídrico do Pirapama, sem riscos de racionamento em anos de secas severas, é a construção do sistema de transposição de águas da bacia do rio Ipojuca.³⁵ A razão é que secas severas em anos atípicos e aumentos de demanda superiores a 0,8 m³/s a montante da barragem Principal podem comprometer a oferta de água para o abastecimento humano e despertar o fantasma do racionamento de água na RMR.

Tomando-se como referência o plano de investimento desejado para a bacia hidrográfica do rio Pirapama para um horizonte de 20 anos,³⁶ estima-se que serão necessários recursos da ordem de R\$ 71 milhões de reais. Isso significa que a amortização do capital investido será de aproximadamente R\$ 9.505.752,49, cujos recursos teriam que ser supridos, pelo menos em teoria, pelo instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos na referida bacia. Deve-se ressaltar que, além da construção do sistema de transposição de águas do rio Ipojuca, o plano de investimento desejado também contempla a implantação de sete sistemas de esgotamentos sanitários, a construção de sistemas de resíduos sólidos urbanos e recuperação de áreas degradadas, bem como investimentos na área de gerenciamento dos recursos hídricos e ambientais e melhoria da qualidade das águas.

Os custos anuais de operação para a bacia do Pirapama foram estimados tomando-se por base os custos de operação de uma hipotética Agência de Águas (ainda não implementada), os quais são da ordem de R\$ 255.996,00. Essa estimativa foi elaborada com base nos custos de implantação e funcionamento dessa Agência e a previsão orçamentária do Comitê de Bacia do Pirapama (já instalada). Assim, o custo anual total de gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Pirapama, que é a soma do custo anual de operação (R\$ 255.996,00) mais a amortização dos investimentos e dos respectivos custos de manutenção (R\$ 9.505.752,49), é da ordem de R\$ 9.761.748,49 (veja-se Tabela 4).

35 A implantação do sistema de transposição de águas da bacia do Ipojuca será viabilizada por meio da construção de uma barragem na localidade do Engenho Maranhão, cujo investimento está estimado em cerca de R\$ 6 milhões de reais, além da construção de uma estação elevatória e uma adutora, ambos estimados em R\$ 15 milhões de reais. O custo de manutenção do sistema de transposição de águas do Ipojuca foi avaliado tomando-se por hipótese o percentual de 1% dos recursos investidos nesse sistema.

36 Plano esse que, além da construção do sistema de transposição de águas do rio Ipojuca, contempla a implantação de sete sistemas de esgotamentos sanitários, a construção de sistemas de resíduos sólidos urbanos e recuperação de áreas degradadas, investimentos na área de gerenciamento dos recursos hídricos e ambientais e melhoria da qualidade das águas.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, os custos totais foram desagregados em dois grupos, de acordo com seus objetivos, ou seja: (i) os que visam aumentar a quantidade (oferta) de recursos hídricos; e (ii) os que objetivam aumentar a qualidade da água (redução da carga de efluentes). Estima-se que 30% desses custos (ou seja, R\$ 2.928.524,55) são para expansão da oferta dos recursos hídricos na bacia do Pirapama, enquanto que os outros 70% (ou seja, R\$ 6.833.223,94) são para reduzir o potencial poluidor, visando melhorar a qualidade de suas águas e expandir o poder de diluição de poluentes na bacia.

Tabela 4
**Custos Totais Anuais (Operação, Manutenção e Amortização do Investimento),
Médio e Marginal na Bacia do Pirapama**

Discriminação	Custo Total (R\$)	CMe	CMg ^{LP} (CMg*)
Amortização do investimento e custo de manutenção	9.505.752,49		
Custos de operação e gerenciamento	255.996,00		
• Relacionado à expansão na oferta dos recursos hídricos (CMe em R\$/m ³)	76.798,80	2,78x10 ⁻⁴	
• Relacionado a melhorar a qualidade das águas (CMe em R\$/kgDBO)	179.197,20	1,63x10 ⁻³	
TOTAL	9.761.748,49		
• Para expansão na oferta dos recursos hídricos (CMe e CMg em R\$/m ³)	2.928.524,55	1,06x10 ⁻²	1,81x10 ⁻² (0,25)
• Para expandir o potencial de diluição de poluentes na bacia (CMe e CMg em R\$/kgDBO)	6.833.223,94	6,21x10 ⁻²	8,91x10 ⁻² (5,27x10 ⁻²)

Fonte: cálculos no texto.

Estimou-se que do custo anual de operação da bacia hidrográfica do Pirapama R\$ 76.798,80 são para ações específicas de melhoria e expansão da oferta dos recursos hídricos na mesma, enquanto que os outros R\$ 179.197,20 estão relacionados com ações voltadas a reduzir o potencial poluidor na bacia e melhoria na qualidade de suas águas (veja-se Tabela 4). Assim, o custo operacional médio (ou custo unitário) de gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Pirapama, em termos de oferta de recursos hídricos, $CMe_{\text{ÁGUA}}$, pode ser avaliado dividindo-se o custo operacional dessas ações pela demanda total de água nas várias modalidades (consuntiva e não consuntiva) de uso (que foi de $2,76 \times 10^8$ m³), donde se obtém $CMe_{\text{ÁGUA}} = R\$ 2,78 \times 10^{-4}$ por metro cúbico (ou R\$ 0,28 por 1.000 m³) de água. Por outro lado, dividindo-se o custo operacional das ações voltadas à melhoria do potencial diluidor pela demanda total anual de carga orgânica potencial para diluição nos mananciais da bacia hidrográfica do Pirapama (que foi de $1,10 \times 10^8$ kgDBO) obtém-se o custo operacional médio

de gerenciamento na bacia do Pirapama, em termos de carga orgânica, ou seja, $CMe_{DBO} = R\$ 1,63 \times 10^{-3}$ por kgDBO.

O custo marginal de gerenciamento no longo prazo,³⁷ CMg^{LP} , corresponde ao custo adicional que se incorreria ao expandir a oferta de água na bacia hidrográfica em um metro cúbico a mais desse recurso, independentemente do uso que se dê à água, ou o custo adicional que seria necessário para reduzir (em uma unidade) a carga orgânica ou concentração de poluentes nos recursos hídricos. Ao se fazer um levantamento das demandas atuais e as demandas futuras por água (ou seja, após a construção da barragem Principal) nos vários usos múltiplos, estimou-se que haveria um acréscimo de vazão no sistema hídrico do Pirapama da ordem de 5,13 (ou seja, 8,75 - 3,62) m³/s, o que representaria um volume de água de cerca de $1,62 \times 10^8$ m³/ano. Estimou-se ainda que, com os investimentos programados, a demanda por água para diluição de carga orgânica potencial nos mananciais da bacia do Pirapama poderia sofrer acréscimos de até 70% (cenário otimista), o que representaria um aumento da carga orgânica da ordem de $5,5 \times 10^7$ kgDBO. Portanto, o custo marginal de gerenciamento de longo prazo na bacia hidrográfica do rio Pirapama será de $CMg^{LP}_{ÁGUA} = R\$ 1,81 \times 10^{-2}$ por metro cúbico de água, em termos de oferta de água, e de $CMg^{LP}_{DBO} = R\$ 8,91 \times 10^{-2}$ por kgDBO, em termos de carga orgânica. Estes valores foram obtidos dividindo-se o correspondente acréscimo do custo anual (R\$ 2.928.524,55 e R\$ 6.833.223,94, respectivamente) pelo acréscimo de água bruta em cada finalidade de uso (ou seja, captação ou diluição de carga orgânica) na referida bacia ($1,62 \times 10^8$ m³/ano e $7,67 \times 10^7$ kgDBO/ano, respectivamente).

O conceito alternativo de custo marginal de racionamento está fundamentado no fato de que nem sempre pode-se satisfazer a demanda por água em uma ou mais modalidades de uso da água. Isso significa que é perfeitamente possível que a disponibilidade hídrica em um dado instante de tempo seja insuficiente para atender à demanda em um certo uso, o que levaria forçosamente a um racionamento na utilização de água, de modo que o seu consumo seria compulsoriamente reduzido em relação à sua demanda em condições normais.

Conforme estabelecido em Albouy (1983), a metodologia utilizada para cálculo do custo marginal de racionamento, CMg^* , está fundamentada no custo operacional da unidade marginal, CMe , assim como na possibilidade de racionamento de água em certos períodos do ano

37 O custo marginal de gerenciamento está fundamentado no fato de que a gestão dos recursos hídricos é uma atividade (ou indústria, no sentido mais amplo) que produz um serviço essencial de utilidade pública, tendo em vista que a água é um recurso econômico escasso, embora renovável.

(estação mais seca) em anos normais, ou mesmo durante todo o tempo em anos atípicos. Denotando-se a probabilidade média de racionamento de água em qualquer ano por P , o custo marginal de gerenciamento (de curto prazo) pode ser definido por:

$$CMg^* = (1-P)CMe + P \sum_j C(x_j^0)$$

onde x_j^0 é a quantidade de água racionada no uso j por unidade de tempo; e $C(x_j^0)$ é o custo de racionamento da água no uso j , o qual será avaliado a seguir. É interessante observar que o custo marginal fora do racionamento é igual ao custo operacional do sistema hídrico (CMe), o qual é, em geral, pequeno quando comparado ao custo de racionamento.³⁸

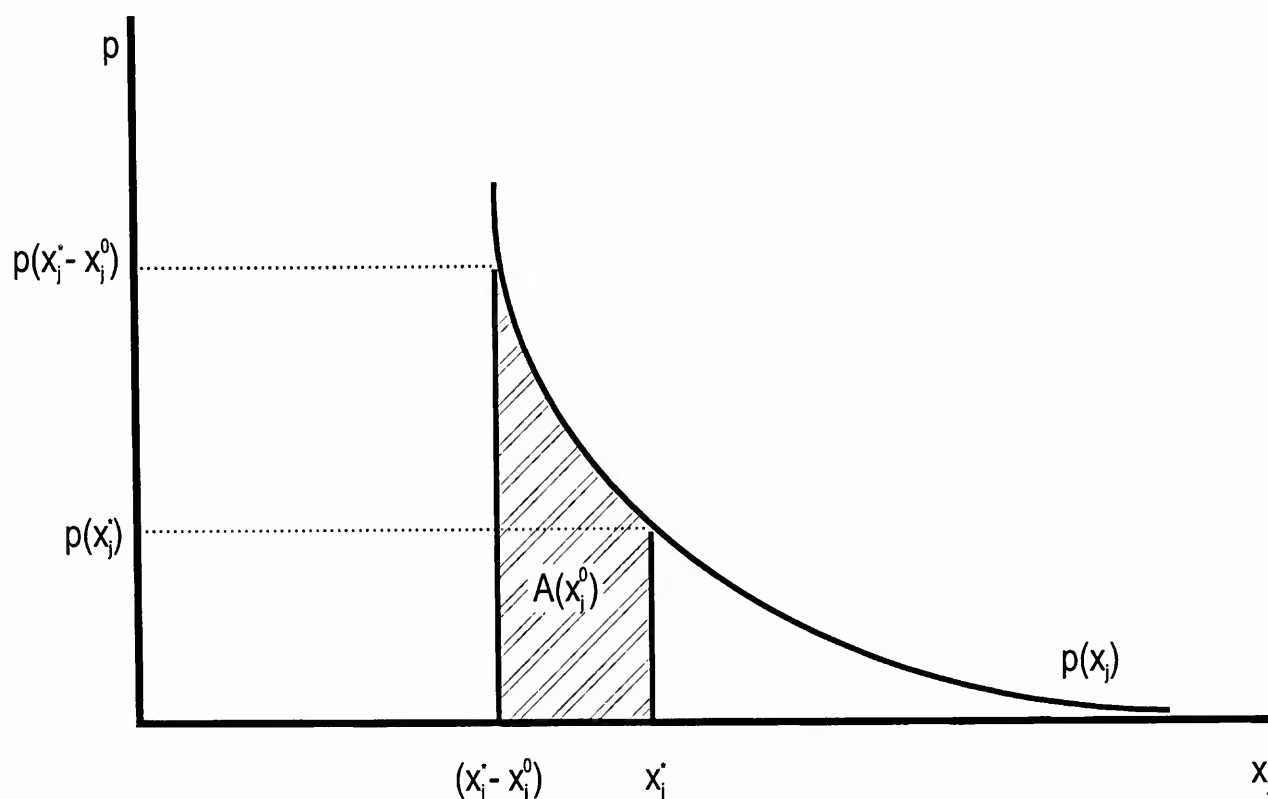
O custo associado ao racionamento de x_j^0 metros cúbicos de água no uso j é avaliado com base na curva de demanda por água nesse uso, por meio do valor que o usuário (ou grupo de usuários), sob racionamento, estaria disposto a pagar pelo consumo de um metro cúbico adicional de água (ou pelo despejo de diluir $1m^3$ adicional de efluentes líquidos industriais ou esgotamentos sanitários). Tomando-se a Figura 2 como referência, vê-se que o custo de racionamento de x_j^0 m^3 de água será representado pela área hachurada $A(x_j^0)$, valor esse que representa o custo para a sociedade de x_j^0 m^3 de água. Essa área corresponde à redução do bem-estar dos usuários ao serem racionados em x_j^0 metros cúbicos de água, Assim, o custo unitário de racionamento poderá ser estimado por:

$$C(x_j^0) = A(x_j^0) / x_j^0 = Pp(x_j^* - x_j^0) + (1-P)p(x_j^*)$$

onde $p(x_j^*)$ é o valor da água fora do racionamento, avaliado com base na curva de demanda por água em cada uso, $p(x_j^* - x_j^0)$ é o valor da água no racionamento, e P é a probabilidade de racionamento.

38 Vale a pena ressaltar ainda que essa expressão é uma aproximação progressiva da realidade, pois à medida que a demanda do sistema vai ficando paulatinamente crítica, demandas adicionais não se traduzem apenas em aumentos de custos operacionais de gerenciamento, mas também as margens de reserva do sistema como um todo tornam-se cada vez menores, aumentando conseqüentemente os riscos de racionamento. Ademais, essa expressão é estável numericamente e se aproxima dos custos de longo prazo quando a capacidade do sistema está adaptada ao nível de utilização ótimo.

Figura 2
Custo Marginal de Racionamento



Com base na série de dados das secas da década de 1990 produziu-se um cenário pessimista de disponibilidade de água para a bacia do Pirapama. Nesse cenário, estimou-se que poderia haver redução do volume de água durante 12 meses a cada período de 5 anos. Isso significa que a probabilidade de racionamento de água nesse cenário pessimista estaria em torno de $1/5$, ou seja, 20%. No cenário otimista, estimou-se que haveria redução do volume de água na referida bacia durante 6 meses em um período de 10 anos, o que representaria uma probabilidade de racionamento de água da ordem de $1/20$ ou 5%. Para efeito de cálculo do custo marginal de racionamento na bacia hidrográfica do rio Pirapama tomou-se a média desses dois cenários, o que significa adotar uma probabilidade de racionamento de água de 12,5%.

A estimativa do custo marginal de racionamento para o sistema hídrico do Pirapama foi feita tomando-se por base as demandas por água para geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento industrial, demandas mais sacrificadas no racionamento, bem como a demanda para abastecimento urbano, que também sofrerá algum racionamento, o que de certa forma restringirá seu consumo, mas não tão significativo quanto as modalidades de uso anteriores, visto que a água para abastecimento humano tem prioridade sobre os demais usos. O racionamento de água para o abastecimento industrial implicará também uma redução na utilização da água da bacia para diluição de efluentes industriais e fertirrigação, enquanto que

o racionamento de água para abastecimento humano, por sua vez, também fará com que haja uma redução na utilização da água para diluição de esgotamentos sanitários.

Tomando-se por base a disponibilidade hídrica na bacia do Pirapama no período mais seco do ano e as necessidades efetivas dos vários usuários da água, o custo da água no racionamento será avaliado de acordo com a seguinte hipótese de racionamento no consumo e das necessidades de diluição de poluentes: (i) racionamento de 30% no abastecimento humano e, em conseqüência, redução dos esgotamentos sanitários, o que significa reduzir o potencial de poluição e diluição de carga orgânica em 30%; (ii) racionamento total da água para as finalidades de geração de energia elétrica e irrigação; (iii) racionamento de 50% na utilização de água para abastecimento industrial, induzindo as unidades industriais a utilizarem mais fortemente a prática de reciclagem e reaproveitamento de suas águas, o que significa também reduzir a diluição de efluentes industriais e a fertirrigação em 50%.

A Tabela 5 contém o demonstrativo do custo da água no racionamento em cada modalidade de uso, tomando-se por base as hipóteses de racionamento e os respectivos preços de demanda, agrupados de acordo com as suas finalidades, ou seja: (i) captação e consumo de recursos hídricos; e (ii) diluição de carga orgânica de esgotamentos. Assim, os custos marginais de racionamento da água na bacia do Pirapama, em cada agrupamento de uso, podem ser finalmente estimados, ou seja:

$$CMg^*_{\text{ÁGUA}} = 0,875 \times 2,78 \times 10^{-4} + 0,125 \times 1,979 = \text{R\$ } 0,25/\text{m}^3 \text{ de água}$$

e

$$CMg^*_{\text{DBO}} = 0,875 \times 1,63 \times 10^{-3} + 0,125 \times 0,410 = \text{R\$ } 5,27 \times 10^{-2}/\text{kgDBO diluído,}$$

onde 0,125 e 0,875 são, respectivamente, as probabilidades de racionamento e não racionamento de água; $2,78 \times 10^{-4}$ e $1,63 \times 10^{-3}$ são os custos operacionais médio em termos de água bruta captada e em termos de carga orgânica, respectivamente; e 1,979 e 0,41 são, respectivamente, os somatórios dos custos de racionamento da água na bacia, em cada agrupamento de uso.

Tabela 5
Demonstrativo do Custo da Água no Racionamento na
Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama

Modalidade de Uso	(1) Demanda por Água [x_i]	(2) Quantidade Racionada [x_i^0]	(3) Consumo no Racionam. [$x_i - x_i^0$]	(4) Preço no Racionam. [$p(x_i - x_i^0)$]	(5) Preço de Demanda [$p(x_i^*)$]	(6) Custo no Racionam. [$C(x_i^0)$]
Abastecimento humano	6,13 ⁽¹⁾	1,84 ⁽¹⁾	4,29 ⁽¹⁾	1,366 ⁽³⁾	0,244 ⁽³⁾	0,800 ⁽³⁾
Abastecimento industrial	1,20 ⁽¹⁾	0,60 ⁽¹⁾	0,60 ⁽¹⁾	2,704 ⁽³⁾	1,341 ⁽³⁾	1,173 ⁽³⁾
Irrigação	0,22 ⁽¹⁾	0,22 ⁽¹⁾	0,00 ⁽¹⁾	0,015 ⁽³⁾	0,005 ⁽³⁾	0,004 ⁽³⁾
Energia elétrica	1,20 ⁽¹⁾	1,20 ⁽¹⁾	0,00 ⁽¹⁾	0,009 ⁽³⁾	0,001 ⁽³⁾	0,002 ⁽³⁾
TOTAL	8,75⁽¹⁾	3,86⁽¹⁾	4,89⁽¹⁾			1,979⁽³⁾
Fertirrigação	226.000 ⁽²⁾	113.000 ⁽²⁾	113.000 ⁽²⁾	0,224 ⁽⁴⁾	0,088 ⁽⁴⁾	0,105 ⁽⁴⁾
Diluição de efluentes ind.	70.164 ⁽²⁾	35.082 ⁽²⁾	35.082 ⁽²⁾	0,728 ⁽⁴⁾	0,205 ⁽⁴⁾	0,270 ⁽⁴⁾
Diluição de esgot. Sanitário	4.131 ⁽²⁾	1.239 ⁽²⁾	2.892 ⁽²⁾	0,138 ⁽⁴⁾	0,020 ⁽⁴⁾	0,035 ⁽⁴⁾
TOTAL	300.295⁽²⁾	149.321⁽²⁾	150.974⁽²⁾			0,410⁽⁴⁾

Fonte: Cálculos no texto.

(1)m³/s; (2)kgDBO/dia; (3)R\$/m³; (4)R\$/kgDBO.

Vale destacar que, em termos de água bruta captada e/ou consumida, o custo marginal de racionamento (R\$ 0,25/m³) foi cerca de 13 vezes maior que o custo marginal de longo prazo (R\$ 1,81x10⁻²/m³). Já em termos de carga orgânica diluída, houve uma inversão, e o custo marginal de racionamento (R\$5,27x10⁻²/kgDBO, ou seja, R\$0,05) foi menor que o custo marginal de longo prazo (8,91x10⁻²/kgDBO, ou seja, R\$0,09), representando quase 60% do custo marginal de longo prazo.

6 Preços ótimos pelo uso da água

A política de preços ótimos pelo uso da água é fundamentada, de um lado, no custo marginal de gerenciamento dos recursos hídricos e, do outro, nas elasticidades-preço de demanda por água nas várias modalidades de uso. Ademais, essa política impõe ao órgão gestor dos recursos hídricos um comportamento gerencial auto-sustentável, no sentido de que não haja perdas ou ganhos financeiros nessa atividade, ou seja, condicionando-o a cobrir todos os seus custos na atividade de gerenciamento da bacia. Conforme avançado anteriormente, os preços ótimos pelo uso da água na bacia hidrográfica do Pirapama são determinados a partir da solução do seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} p_j^* = (CMg^* |\epsilon_j|) / (|\epsilon_j| - \alpha) \forall j \\ \sum_j p_j^* x_j - C = 0 \end{cases}$$

onde p_j^* é o preço ótimo da água no uso j , a ser determinado; x_j é a respectiva quantidade de água ou carga orgânica demandada do sistema hídrico após os investimentos programados terem sido feitos; CMg^* é o custo marginal de gerenciamento (de racionamento); $|\epsilon_j|$ é a elasticidade-preço da demanda por água no uso j , em valor absoluto; C é o custo total do órgão gestor no gerenciamento dessa bacia; e α é uma constante de proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre benefícios e custos marginais, a ser determinada.

As j primeiras equações $p_j^* = (CMg^* |\epsilon_j|) / (|\epsilon_j| - \alpha)$, uma para cada uso j , podem ser reescritas, de maneira mais sugestiva, da seguinte forma $(p_j^* - CMg^*) / p_j^* = \alpha / |\epsilon_j|$, para todo j . Quando escritas dessa forma, elas estabelecem que o diferencial no preço da água no uso j , em relação ao custo marginal, em termos porcentuais, é inversamente proporcional à sua elasticidade-preço de demanda. A última equação, por outro lado, é a equação de restrição que restringe o órgão gestor dos recursos hídricos a não apresentar perdas ou ganhos financeiros no gerenciamento dos recursos hídricos da bacia. É importante lembrar que a política de preços ótimos minimiza as distorções na alocação dos recursos da água entre seus vários usuários. Ou seja, é cobrando preços diferenciados que as distorções na utilização dos recursos hídricos são minimizadas.

Substituindo-se os respectivos parâmetros nas equações acima, e resolvendo-se o sistema de oito equações (uma para cada uso múltiplo da água, no total de sete, mais a equação de restrição) e oito incógnitas (os sete preços p_{ah}^* , p_{ai}^* , p_i^* , p_{ge}^* , p_f^* , p_{ei}^* , p_{es}^* , e a constante de proporcionalidade α), obtêm-se os preços ótimos pelo uso da água em cada modalidade de uso na bacia do Pirapama (veja-se Tabela 6).

A Tabela 6 confronta os preços ótimos com outros parâmetros obtidos anteriormente, possibilitando assim uma análise comparativa. Uma inspeção dessa tabela revela ainda que, com exceção dos preços ótimos pelo uso da água para irrigação e geração de energia elétrica, todos os outros preços ótimos são menores que os correspondentes preços de demanda e os respectivos preços de reserva (limite superior e inferior). Convém lembrar que o preço de reserva indica o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar para utilizar a água desse manancial e ficarem indiferentes entre continuar a captar água desse manancial ou buscar

uma solução alternativa que produza o mesmo efeito. Isso significa que a implementação da cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do Pirapama, para ser viável (ou seja, se enquadrar dentro da capacidade de pagamento de seus usuários), necessita restringir os preços ótimos aos seus respectivos preços de reserva (ou custo de oportunidade) da água nesses usos.

Tabela 6
Preços da Água por Modalidade de Uso para a Bacia do Pirapama

Usos	Preço de Demanda	Preço de Reserva		Preço Ótimo
		Inferior	Superior	
Abastecimento humano ⁽¹⁾	0,244	0,49	3,86	$1,68 \times 10^{-2}$
Abastecimento industrial ⁽¹⁾	3,614	3,66	6,91	$8,85 \times 10^{-2}$
Irrigação ⁽¹⁾	$4,61 \times 10^{-3}$	$9,51 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$8,86 \times 10^{-2}$ *
Geração de energia elétrica ⁽¹⁾	$1,12 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-3}$	$1,73 \times 10^{-2}$	$3,36 \times 10^{-2}$ *
Fertirrigação ⁽²⁾	$8,75 \times 10^{-2}$	0,175	0,28	$1,31 \times 10^{-2}$
Diluição de efluentes industriais ⁽²⁾	0,205	0,41	8,71	$8,88 \times 10^{-3}$
Diluição de esgotamentos sanitários ⁽²⁾	$2,0 \times 10^{-2}$	0,04	0,71	$2,62 \times 10^{-3}$

Fonte: Tabelas 2 e 5 e cálculos no texto.

(1)R\$/m³; (2)R\$/kgDBO.

* valor superior ao preço de reserva (em relação ao seu nível inferior e/ou superior).

Tendo em vista que os preços ótimos pelo uso da água para irrigação e para geração de energia elétrica extrapolaram a capacidade de pagamento desses usuários, será necessário restringir tais preços ao limite inferior de seus respectivos preços de reserva da água, ou seja, $p_i^* = p_i^r = 9,51 \times 10^{-3}$ e $p_{ge}^* = p_{ge}^r = 2,24 \times 10^{-3}$. Assim, substituindo-se os respectivos parâmetros nas equações restantes, obtém-se um sistema de seis equações e seis incógnitas (p_{ah}^* , p_{ai}^* , p_f^* , p_{ei}^* , p_{es}^* , e α). O conjunto de preços ótimos pelo uso da água, com restrição à capacidade de pagamento de seus usuários, é a solução desse sistema e pode ser visto na terceira coluna da Tabela 7.

Vale ressaltar que à medida que os preços pelo uso da água para irrigação e geração de energia elétrica foram restritos aos seus preços de reserva (limite inferior), os preços ótimos dos outros usos (não restritos) sofreram um aumento proporcional, de modo a manter a receita proveniente da cobrança inalterada. De certa forma, esse resultado já era esperado, visto que a perda de receita nesses dois usos terá que ser compensada com um aumento de receita nos outros usos. Especificamente, ao se restringir tais preços aos seus respectivos preços de reserva, o preço ótimo pelo uso da água no abastecimento humano aumentou de R\$ $1,68 \times 10^{-2}$

para $R\$ 2,13 \times 10^{-2}$, ou seja, sofreu um aumento de quase 27% em relação à situação sem restrição. O preço ótimo para abastecimento industrial aumentou de $R\$ 8,85 \times 10^{-2}$ para $R\$ 1,04 \times 10^{-1}$, o que representa um aumento de 17,5%. O fato do preço ótimo para o abastecimento humano ter aumentado mais do que para o abastecimento industrial já era esperado, uma vez que a elasticidade-preço da demanda por água para abastecimento humano é menor que a respectiva elasticidade para abastecimento industrial.

No que se refere à utilização da água para diluição de poluentes, o preço ótimo pelo uso da água na fertirrigação aumentou de $R\$ 1,31 \times 10^{-2}$ para $R\$ 1,57 \times 10^{-2}$, o que representa um aumento de quase 20%. Já para a diluição de efluentes industriais o aumento de preço foi de $R\$ 8,88 \times 10^{-3}$ para $R\$ 1,09 \times 10^{-2}$ (o que significa um aumento de 22,7%), enquanto que para a diluição de esgotamentos sanitários o preço ótimo aumentou de $R\$ 2,62 \times 10^{-3}$ para $R\$ 3,34 \times 10^{-3}$ (aumento de 27,5%). Esses resultados permitem constatar que o aumento no preço ótimo pelo uso da água, ao se restringir o preço pela utilização da água em outra modalidade de uso, é inversamente proporcional à magnitude (em valor absoluto) da elasticidade-preço da demanda. Desse modo, quanto maior for a elasticidade-preço da demanda por água em certa modalidade de uso (em valor absoluto) menor será o aumento no preço ótimo e vice-versa.

É exatamente a possibilidade de estabelecer uma política de subsídio cruzado entre os múltiplos usuários, ou seja, cobrando mais dos usuários com mais condições de pagar e cobrando menos daqueles usuários que menos podem, que as distorções na utilização dos recursos hídricos será minimizada, com ganhos para toda a sociedade.

Finalmente, tendo em vista que a cobrança pelo uso da água para geração de energia elétrica não é de competência do Estado (mas sim da União) e sua cobrança ainda não está prevista na legislação federal, seria importante saber como os preços ótimos pelo uso da água seriam afetados ao se isentar a cobrança pelo uso da água para geração de energia elétrica. Essa simulação é feita restringindo-se o preço pelo uso da água para geração de energia elétrica a zero e fixando-se o preço ótimo pelo uso da água para irrigação ao seu preço de reserva (nível inferior), ou seja, $p_i^* = p_i^r = 9,51 \times 10^{-3}$, bem como substituindo-se os valores dos parâmetros nas equações não restritas. Resolvendo-se o sistema resultante de seis equações e seis incógnitas obtêm-se os respectivos preços ótimos restritos pelo uso da água na bacia hidrográfica do Pirapama, conforme pode ser visto na última coluna da Tabela 7.

Comparando-se os preços ótimos ao se isentar a geração de energia elétrica com os preços ótimos obtidos anteriormente (no modelo com restrição da capacidade de pagamento), pode-se observar que, com exceção do preço ótimo para abastecimento industrial, o qual não sofreu

alguma alteração, todos os outros preços ótimos sofreram um pequeno acréscimo. Esse acréscimo foi tanto maior quanto menor foi a elasticidade-preço da demanda no respectivo uso.

Tabela 7
Preços Ótimos pela Utilização da Água por Modalidade de Uso para a Bacia do Pirapama Sem e Com Restrição

Usos	Sem Restrição	Com Restrição	
		Cap. de Pag.	S/ Geração EE
Abastecimento humano ⁽¹⁾	$1,68 \times 10^{-2}$	$2,13 \times 10^{-2}$	$2,15 \times 10^{-2}$
Abastecimento industrial ⁽¹⁾	$8,85 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-1}$
Irrigação ⁽¹⁾	$8,86 \times 10^{-2}$	$9,51 \times 10^{-3}$	$9,51 \times 10^{-3}$
Geração de energia elétrica ⁽¹⁾	$3,36 \times 10^{-2}$	$2,24 \times 10^{-3}$	
Fertirrigação ⁽²⁾	$1,31 \times 10^{-2}$	$1,57 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$
Diluição de efluentes industriais ⁽²⁾	$8,88 \times 10^{-3}$	$1,09 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-2}$
Diluição de esgotamentos sanitários ⁽²⁾	$2,62 \times 10^{-3}$	$3,34 \times 10^{-3}$	$3,38 \times 10^{-3}$

Fonte: cálculos no texto.

(1)R\$/m³; (2)R\$/kgDBO.

7 Considerações finais

A cobrança pelo uso da água é um dos instrumentos de gestão mais apropriados e eficazes de induzir o uso racional dos recursos hídricos e combater o uso perdulário da água. A cobrança pelo uso da água é uma das armas do “arsenal” econômico que vêm reforçar uma série de outros instrumentos de gestão, cujo objetivo principal é alocar eficientemente os recursos da água entre seus múltiplos usuários, além de racionalizar o seu uso. Ademais, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos tem por objetivo: (i) gerenciar a demanda, influenciando, inclusive, a decisão de localização da atividade econômica; (ii) redistribuir de forma mais justa os custos sociais, à medida que impõe preços diferenciados para usuários diferentes; (iii) melhorar a qualidade dos efluentes industriais e esgotamentos sanitários lançados nos corpos d’água, visto que o valor cobrado é proporcional à carga de poluentes diluída; (iv) garantir fundos para financiar os investimentos e ações públicas necessários ao setor; e (v) incorporar ao planejamento global as dimensões social e ambiental.

A valorização econômica da água e a conseqüente implementação do instrumento de cobrança pelo seu uso são temas bastante complexos que, além das questões econômicas, envolvem questões legais, institucionais, técnicas, e sociais. Além da escolha do modelo

econômico apropriado, a tarefa de estabelecer um valor para a água requer uma sofisticada capacidade institucional em termos de informação, monitoramento e implementação de políticas. São vários os elementos que influem e afetam a determinação do valor ou preço pelo uso da água, podendo-se destacar, por exemplo, tipo e características hidrológicas do manancial, disponibilidade hídrica, perfil e sazonalidade das demandas, vocação econômica da região, existência de conflitos pelo uso da água, entre outros. É sabido que as variáveis hidrológicas, as quais determinam a disponibilidade hídrica, juntamente com ações técnicas de reservação hídrica, afetam significativamente as variáveis econômicas.

Além do mais, atribuir um valor econômico à água não é tarefa fácil, visto que ela pode ser utilizada em uma grande gama de diferentes usos, desde a sua utilização como bem de consumo final até ao seu uso como insumo na produção industrial ou doméstica, que inclui a diluição de poluentes. Quantificar o valor da poluição que um agente econômico causa aos recursos hídricos é uma das tarefas mais difíceis. Isto porque a avaliação dos impactos negativos aos recursos hídricos e dos custos sociais impostos para toda a sociedade depende, dentre outros fatores, da temporalidade e da intensidade dos danos causados a esses recursos. Não é tarefa fácil para o economista, por exemplo, quantificar o valor de um recurso natural sob o ponto de vista de gerações futuras. Mesmo quando o preço pela diluição de poluentes de um manancial for função apenas do seu custo de despoluição, o valor correspondente ao seu tratamento pode evidentemente não representar os custos reais para a sociedade, visto que diferentes avaliações podem estar associadas a diferentes finalidades e modalidades de uso das águas.

A metodologia utilizada neste estudo superou a impossibilidade de se obter diretamente as funções de demanda ordinária por água em cada uso, sem haver necessidade de se recorrer ao método da demanda contingente. As demandas ordinárias foram determinadas por meio da estimação das funções de demanda "tudo ou nada", visto que elas estão relacionadas por meio de um processo de integração ou derivação. Este ajustamento só foi possível graças à determinação dos preços de reserva da água em cada uso, os quais representam o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar por cada metro cúbico de água e estarem indiferentes entre continuarem a usar a água desse manancial ou buscarem uma solução alternativa menos cara que produza o mesmo efeito.

A escolha da melhor metodologia para nortear os estudos de preços pelo uso da água foi uma das principais preocupações deste trabalho. A metodologia dos preços ótimos foi escolhida por garantir uma alocação ótima dos recursos da água entre os seus múltiplos usuários, visto que a política de preços ótimos minimiza os impactos negativos na economia, além, é claro, de garantir a própria solvência financeira do órgão gestor dos recursos hídricos.

A cobrança pelo uso da água com base nos preços ótimos funciona como mecanismo eficiente de fazer com que os usuários da água internalizem aos custos privados o custo social que suas decisões individuais de consumo causam aos demais usuários do sistema hídrico.

Portanto, diferentemente do pensamento da grande maioria dos economistas, a adoção de uma política de preços ótimos não significa necessariamente que se deva cobrar o seu custo marginal (de curto ou longo prazos) ou o seu custo médio de produção. Como ficou patenteado neste trabalho, a política de preços ótimos minimiza as distorções na utilização de água, em relação aos seus níveis ótimos, e não apresenta as perdas financeiras associadas com uma política de preço igual ao custo marginal de curto prazo, não amplia as distorções na utilização desse recurso, associada com uma formação de preço igual ao custo médio, tampouco corre o risco de levar a economia a se afastar ainda mais da fronteira Pareto ótimo - tão provável com uma política de preço igual ao custo marginal de longo prazo.

Referência bibliográfica

Albouy, Yves. *Análisis de costos marginales y diseño de tarifas de electricidad y agua: notas de metodología*. Washington D. C: BID, 1983.

Baumol, W, Bradford, D. Optimal departures from marginal cost pricing. *American Economic Review*, v. 60, 1970.

Carrera-Fernandez, J. *Projeto de implantação da cobrança pelo uso e poluição da água dos mananciais do Alto Paraguaçu e Itapicuru*. Salvador: Governo do Estado da Bahia -SRH/BID, 1996.

_____. Cobrança e preços ótimos pelo uso e poluição das águas de mananciais. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 28, n. 3, p. 249-277, 1997a.

_____. *Ampliação do estudo de cobrança pelo uso e poluição da água em corpos d'água do domínio do Estado da Bahia e complementação da regulamentação da lei estadual*. Salvador: Governo do Estado da Bahia -SRH/BID, 1997b.

_____. *Economia dos recursos hídricos*. Salvador: Curso de Mestrado em Economia da UFBA, 1997c. (Texto para discussão).

_____. O plano estadual de recursos hídricos e o papel da cobrança pelo uso da água em corpos d'água do domínio do Estado da Bahia. Salvador: *Anais do Seminário dos Docentes da Faculdade de Ciências Econômicas da UFBA*, 1998a.

- _____. O princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos e o custo social da energia elétrica no Brasil. *Anais do III Encontro Regional de Economia da ANPEC. Revista Econômica do Nordeste*, v. 28, n. especial, p. 953-966, julho, 1998b.
- _____. O princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos: uma análise a partir da bacia do rio Formoso no oeste baiano. *Revista Econômica do Nordeste*. 2000 (no prelo).
- Carrera-Fernandez, J. & Ferreira, J. O custo social dos recursos hídricos em bacias hidrográficas internacionais: o caso da bacia do rio Paraná. *Primeras Jornadas Interdisciplinarias de Estudios y Agroindustriales*. Buenos Aires – Argentina, 1999.
- Carrera-Fernandez, J, Gmünder, U. eds). *Uso eficiente de recursos naturais e uma política tributária ecológica*. Salvador: Goethe-Institut (ICBA), 1998.
- Carrera-Fernandez, J, & Menezes, W. Determinação da disponibilidade a pagar por serviços de abastecimento, esgotamento e coleta de lixo na bacia hidrográfica de Subaé. *Programa de Qualidade Ambiental - Governo do Estado da Bahia*. Salvador, setembro de 1998.
- Coase, Ronald. The problem of social cost. *Jornal of Law and Economics*, 1960.
- Fisher, A. C. *Resource and environment economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- Frederiksen, Harald D. Drought planning and water efficiency implications in water resources management. Washington D. C: *World Bank Technical Paper*, n. 185, 1994.
- Fundação do Desenvolvimento Administrativo (FUNDAP). *Cobrança pelo uso da água*. Relatório Preliminar. São Paulo: FUNDAP/DAEE, 1991.
- _____. *Cobrança do uso da água - subsídios para a implantação*. Relatório Final. São Paulo: Convênio DAEE/FUNDAP, 1993.
- Garrido, Raymundo & Carrera-Fernandez, J. Metodología para la determinación de los precios óptimos y cobro por el uso y contaminación de las cuencas de Paraguaçu e Itapicuru (Brasil). Delgado, C. D. & Alberich, M. V. E. (eds), *Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en America Latina*. Mexico: Universidad Autónoma del Estado de México, 1997
- Garrido, Raymundo J. S. *A indústria como usuária dos recursos hídricos*. (Notas para discussão na CIESP - Cubatão). 1993.

- _____. *Aspectos institucionais do planejamento e gestão dos recursos hídricos*. Salvador: Programa CIRA - Universidade Católica de Salvador, v. I e II, 1997. (Apostila para o Curso de Gestão e Conservação dos Recursos Hídricos).
- _____. *Curso de gestão de recursos hídricos: aspectos institucionais Volume 1*. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 1998.
- _____. *As bases para a política nacional de recursos hídricos no Brasil. Uso eficiente de recursos naturais e uma política tributária ecológica*. Salvador: Goethe-Institut (ICBA), 1998.
- Governo do Estado de Pernambuco. *Diagnóstico ambiental integrado da Bacia do Pirapama Projeto Pirapama*. CPRH, 1999.
- Layard, P. R. G. & Walters, A. A. *Microeconomic theory*. Mac Grow Hill, 1978.
- Lypsei, R. G & Lancaster, K. J. The general theory of the second best. *Review of Economic Studies*, v. 24, p. 11-32, 1956-7.
- Mas-Colell, Andreu, Whinston, M. D. & Green, J. R. *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press, 1995.
- Samuelson, Paul Anthony. *Fundamentos da análise econômica*. São Paulo: Editora Nova Cultura Ltda, 1988.
- Silberberg, E. *The structure of economics: a mathematical analysis*. New York: Mac Graw-Hill, 1978.
- Pompeu, Cid Tomanik. *Aspectos jurídicos da cobrança pela utilização dos recursos hídricos*. 1992. (Relatório Técnico)
- Varian, Hal R. *Microeconomic analysis*. New York: Norton Company Inc, 1978.