

# **TEXTO PARA DISCUSSÃO N° 1257**

## **REÚSO DE ÁGUA NAS INDÚSTRIAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

**José Féres  
Arnaud Reynaud  
Alban Thomas**

Rio de Janeiro, janeiro de 2007



# TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1257

## REÚSO DE ÁGUA NAS INDÚSTRIAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL\*

**José Féres\*\***

**Arnaud Reynaud\*\*\***

**Alban Thomas\*\*\***

Rio de Janeiro, janeiro de 2007

---

\* Os autores agradecem a Ronaldo Seroa da Motta, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) pelos comentários, a Anícia Pio, da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) pelo auxílio no contato com os estabelecimentos industriais pesquisados e a Gabriel Levy pelo eficiente trabalho de assistência de pesquisa. Este trabalho contou com recursos financeiros do Programa Rede de Pesquisa e Desenvolvimento de Políticas Públicas (Redelpea) e do Programa Latino-Americano de Economia do Meio Ambiente (Laceep). A realização da pesquisa de campo foi financiada com recursos do Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

\*\* Do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

\*\*\* Do Institut National de Recherche Agronomique (INRA - França).

## **Governo Federal**

### **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**

**Ministro** – Paulo Bernardo Silva

**Secretário-Executivo** – João Bernardo de Azevedo Bringel



Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais, possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro, e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

#### **Presidente**

Luiz Henrique Proença Soares

#### **Diretor de Cooperação e Desenvolvimento**

Alexandre de Ávila Gomide

#### **Diretora de Estudos Sociais**

Anna Maria T. Medeiros Peliano

#### **Diretora de Administração e Finanças**

Cinara Maria Fonseca de Lima

#### **Diretor de Estudos Setoriais**

João Alberto De Negri

#### **Diretor de Estudos Regionais e Urbanos**

Marcelo Piancastelli de Siqueira

#### **Diretor de Estudos Macroeconômicos**

Paulo Mansur Levy

#### **Chefe de Gabinete**

Persio Marco Antonio Davison

#### **Assessor-Chefe de Comunicação**

Murilo Lôbo

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

ISSN 1415-4765

JEL: Q21, Q25, L5

## **TEXTO PARA DISCUSSÃO**

Uma publicação que tem o objetivo de divulgar resultados de estudos desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo Ipea e trabalhos que, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

## **SINOPSE**

Este artigo examina os fatores que influenciam a decisão das firmas de adotar práticas de reúso de água e avalia se essa decisão afeta o comportamento delas em relação à demanda por recursos hídricos. Para isso, estima-se um modelo econométrico em dois estágios, a partir de informações coletadas em 447 estabelecimentos industriais situados na região da bacia do Rio Paraíba do Sul. O primeiro estágio analisa a decisão da firma de reutilizar ou não a água através de um modelo *probit*. No segundo estágio são estimadas equações de demanda de água separadamente para os estabelecimentos industriais que reutilizam água e as demais. Os resultados sugerem que a implementação da cobrança pelo uso da água pode ser um instrumento eficaz de incentivo à adoção de práticas de reúso e também na redução da demanda de água, promovendo, dessa forma, a conservação de recursos hídricos. A estimação das elasticidades-preço das demandas de água mostra ainda que os estabelecimentos que reutilizam água reagem de maneira mais forte a variações no preço da água que aquelas que não adotam práticas de reúso.

## **ABSTRACT**

This paper examines the factors influencing water reuse in manufacturing firms and analyzes whether the structure of intake water demand differs between firms that adopt water reuse practices and those which do not. To this purpose, we estimate a two-stage econometric model based on a sample of 447 industrial facilities located in the Paraíba do Sul river basin. The first stage applies a probit model for the water reuse decision and the second stage employs an endogenous switching regression to estimate the intake water demand equations. Results suggest that water charges may act as an effective mechanism in inducing firms to undertake water reuse investments and reducing intake water demand. Estimates of the water demand price elasticities indicate that plants reusing water are more sensitive to water price increases than plants without access to reuse technologies.



# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 CARACTERIZAÇÃO DO REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	8
3 MODELO ECONOMETRICO	11
4 RESULTADOS	15
5 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	22





# 1 INTRODUÇÃO

Em função da demanda crescente de água para usos urbano, industrial e agrícola, diversas regiões brasileiras já enfrentam problemas relacionados à escassez e à degradação dos recursos hídricos. Esses problemas são particularmente críticos nos grandes centros urbanos, onde o rápido crescimento demográfico e industrial não foi acompanhado por medidas de controle da ocupação do solo e pela implantação de uma infra-estrutura sanitária adequada. Muitas regiões metropolitanas (RMs) com oferta relativamente abundante de recursos hídricos, mas insuficiente para satisfazer as demandas excessivamente elevadas, experimentam conflitos de uso e apresentam condições precárias de saneamento ambiental.

Ao mesmo tempo, os grandes investimentos necessários para a ampliação ou a instalação de novos sistemas de abastecimento de água impõem limites para uma estratégia de gestão baseada exclusivamente no aumento da oferta de recursos hídricos. Além da questão financeira, tal prática tende a se tornar cada vez mais restrita devido a maior conscientização ambiental da sociedade. Os gestores de recursos hídricos defrontam-se assim com o desafio de formular e implementar uma política baseada na adequada combinação de medidas de gestão de demanda e oferta de água, tendo por fim a conservação e o uso sustentável desse recurso. Neste contexto, o reúso de água surge como um importante componente para o alcance desse objetivo.

De maneira geral, pode-se definir o reúso de água como o uso de água residuária, tratada ou não, no atendimento de algum uso benéfico.<sup>1</sup> A adoção de práticas de reúso está associada a uma série de benefícios ambientais e econômicos. Primeiramente, sua adoção resulta na redução da necessidade de captação de água, bem como na diminuição do lançamento de efluentes nos corpos hídricos.<sup>2</sup> Essas reduções possibilitam uma melhora na qualidade da água e contribuem para o uso mais sustentável dos recursos hídricos, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais exigentes – um deles o abastecimento doméstico. O reúso, ao promover a conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, abre ainda a possibilidade de maior inserção dos produtos agrícolas e industriais em mercados internacionais, assim como reforça a imagem corporativa das empresas junto aos consumidores. Por fim, o reúso contribui para a melhoria da eficiência do uso da água, reduzindo a necessidade de investimentos na expansão da oferta de água e os decorrentes impactos financeiros e ambientais associados a tais intervenções.<sup>3</sup>

O setor industrial apresenta numerosas oportunidades para a adoção de práticas de reúso. Estas incluem a reutilização da água em torres de resfriamento, como fluido de aquecimento, como fluido auxiliar em processos industriais, na lavagem de pisos e na irrigação de áreas verdes das plantas industriais, entre outras. De acordo com relatório publicado pela Environment Canadá, de 2002, as taxas de reúso de água na

---

1. Por sua vez, conforme definido em Fiesp (2004), a água residuária é o esgoto, a água descartada, os efluentes líquidos de edificações, de indústrias, de agroindústrias e da agropecuária, tratados ou não.

2. As reduções da captação de água bruta e lançamento de efluentes acarretam ainda uma diminuição dos custos associados a essas atividades.

3. Veja Anderson (2003) e Unep (2005) para uma discussão mais detalhada sobre os benefícios associados ao reúso da água.

indústria canadense são superiores às dos demais setores usuários, indicando o papel relevante que o reúso industrial pode desempenhar na conservação dos recursos hídricos.

A despeito da ampla gama de aplicações e dos benefícios ambientais e econômicos associados ao reúso industrial da água, a literatura econômica empírica dedicada ao assunto é bastante reduzida. Em nosso conhecimento, Renzetti (1992) e Dupont e Renzetti (2001) são os únicos trabalhos que abordam a questão do reúso em um modelo econométrico de demanda de água. Ambos indicam que a água de reúso e a água diretamente captada dos corpos hídricos podem ser consideradas insumos substitutos nas atividades industriais. Esse resultado sugere que, caso haja aumento no custo de captação da água, as firmas podem recorrer ao reúso como alternativa para substituir suas necessidades de captação. No entanto, várias questões acerca do reúso permanecem em aberto, tais como os fatores que determinam a adoção de tais práticas.

Este artigo examina os fatores que influenciam a decisão das firmas em adotar práticas de reúso de água e avalia se essa decisão afeta o comportamento das firmas em relação à demanda por recursos hídricos. Tal análise possui importantes implicações para a formulação de políticas de recursos hídricos. Caso a decisão sobre a adoção ou não do reúso seja influenciada pelo preço de captação da água, por exemplo, a introdução da cobrança pelo uso de recursos hídricos pode ser um mecanismo eficaz para a promoção do uso racional da água. Já a identificação de possíveis diferenças no comportamento de demanda de água entre as firmas que praticam o reúso e as demais permite uma melhor avaliação sobre como a demanda desses dois grupos reage à implementação da cobrança pelo uso da água ou ao crescimento da produção industrial.

Para avaliar tais questões, estima-se um modelo econométrico em dois estágios. O primeiro analisa a decisão da firma de se reutilizar ou não a água através de um modelo *probit*. No segundo estágio, a partir de um modelo de *swichting regressions*, são estimadas equações de demanda de água separadamente para as plantas industriais que reutilizam água e as demais. O modelo é estimado a partir de informações coletadas em 447 plantas industriais situadas na região da bacia do Rio Paraíba do Sul.

O artigo está organizado da seguinte forma. Após esta seção introdutória, a seção 2 apresenta uma caracterização geral do reúso industrial de água na região da bacia do Rio Paraíba do Sul. A seção 3 descreve o modelo econométrico e as variáveis utilizadas na aplicação empírica. Os resultados da estimação e suas implicações são discutidos na seção 4. Por fim, a seção 5 sumariza as principais conclusões do trabalho.

## **2 CARACTERIZAÇÃO DO REÚSO INDUSTRIAL DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Os dados utilizados na análise foram extraídos da Pesquisa sobre Utilização de Água pelos Estabelecimentos Industriais da Bacia do Paraíba do Sul, coordenada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) em parceria com o Institut National de Recherche Agronomique (INRA) da França. A pesquisa levantou informações sobre 488 estabelecimentos industriais instalados na região da bacia. A escolha dessa

bacia hidrográfica para a realização da pesquisa baseou-se em dois fatores: *a*) sua importância econômica, uma vez que a região responde por aproximadamente 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e concentra um dos mais importantes parques industriais do país; e *b*) pelo fato de a bacia do Paraíba do Sul ter sido aquela em que se realizou o experimento pioneiro de implementação da cobrança pelo uso da água em rios de dominialidade federal.<sup>4</sup>

A pesquisa coletou informações detalhadas sobre o uso da água, avaliado em relação a quatro aspectos: captação, pré-tratamento, reúso e tratamento/descarte de efluentes.<sup>5</sup> Foram obtidos dados sobre os volumes e custos envolvidos em cada uma dessas operações. O questionário ainda pesquisou informações econômicas relativas à produção e ao uso de insumos por parte dos estabelecimentos. Todos os dados referem-se ao ano de 2002. Devido à ausência de informações para alguns dos estabelecimentos pesquisados, utilizou-se uma amostra de 447 estabelecimentos em nossa análise.

Uma avaliação preliminar dos dados permite a identificação de alguns padrões relativos ao reúso industrial de água na região da bacia do Paraíba do Sul. De maneira geral, o número de estabelecimentos pesquisados que adotam tais práticas é relativamente pequeno: dos 447, apenas 63 (14% do total) afirmaram reutilizar água. Contudo, um exame mais detalhado sugere que o comportamento em relação à prática do reúso varia significativamente de acordo com certas características dos estabelecimentos.

Como pode ser observado na tabela 1, o volume médio de captação de água para o grupo de estabelecimentos com reúso (210.984 m<sup>3</sup>/ano) é mais de quatro vezes superior ao volume dos que não reutilizam água. Tal fato sugere que a prática está associada aos grandes usuários de água. Pode-se também verificar que o custo médio de uso da água captada é maior no caso dos estabelecimentos que não adotam práticas de reúso. Essa discrepância de custos pode ser explicada pelo fato de uma grande proporção de estabelecimentos que não reutilizam água ser abastecida pela rede pública, cujas tarifas médias são em geral superiores aos custos de captação dos estabelecimentos com sistemas de abastecimento próprio. Por outro lado, a maioria das firmas que adotam práticas de reúso possui sistemas próprios de captação de água.

Analisando-se os estabelecimentos que adotam práticas de reúso, observa-se que o custo de reutilização da água (R\$ 0,88/m<sup>3</sup>) corresponde a aproximadamente 1/3 do custo de uso da água captada (R\$ 2,46/m<sup>3</sup>). Essa diferença significativa sugere que esses estabelecimentos tenham incentivos econômicos para substituir a captação de água por um maior volume de reutilização. Tal hipótese será analisada no modelo econométrico estimado na seção 4.

O percentual de gastos com água em relação ao custo total de produção mostra-se maior no caso dos estabelecimentos com práticas de reúso: enquanto essas despesas representam 1,4% do custo total de produção dos estabelecimentos que reutilizam água, no caso daqueles que não adotam tais práticas os gastos correspondem a aproximadamente 0,8% do custo. Vale observar ainda que a produtividade média da

---

4 A cobrança na bacia do Rio Paraíba do Sul teve início em março de 2003.

5. Para uma descrição mais detalhada da pesquisa, ver Féres *et al.* (2005).

água, em termos de valor de produção por metro cúbico utilizado é maior no caso dos estabelecimentos que reutilizam água (R\$ 6.657/m<sup>3</sup>) que nas demais (R\$ 4.103/m<sup>3</sup>). Por fim, nota-se que o valor de produção dos estabelecimentos com reúso é bastante superior àqueles que não adotam tais práticas.

TABELA 1

**Características econômicas e relativas ao uso da água nos estabelecimentos pesquisados, segundo a adoção de práticas de reúso**

Variável	Unidade	Estabelecimentos sem reúso de água (384 observações)		Estabelecimentos com reúso de água (63 observações)	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Captação de água	m <sup>3</sup> /ano	46.051	290.988	210.984	665.487
Custo de uso da água captada	R\$/m <sup>3</sup>	2,74	2,21	2,46	2,25
Custo do reúso de água	R\$/m <sup>3</sup>	-	-	0,88	0,89
Percentual dos gastos com água	%	0,77	1,4	1,44	3,02
Produtividade média da água	R\$/m <sup>3</sup>	4.103	9.567	6.657	24.549
Valor da produção	R\$ milhão	36,05	405,66	92,71	255,55

A tabela 2 apresenta o percentual de estabelecimentos que adotam práticas de reúso segundo algumas características selecionadas. Observa-se que a proporção de estabelecimentos que reutilizam água é consideravelmente maior entre os que possuem sistemas de captação própria de água (25%) do que entre aqueles que utilizam a rede pública de abastecimento (7%). Essa diferença pode ser atribuída ao fato de estabelecimentos com sistemas de captação próprio serem em geral grandes usuários de água, para os quais o investimento em tecnologias de reúso pode implicar substanciais reduções nas despesas com captação e tratamento de efluentes. O reúso é também mais comum entre os estabelecimentos com certificação ISO 14000 e naqueles controlados por capital estrangeiro. Tal constatação conduz a duas questões: *a)* se estabelecimentos de capital estrangeiro possuem um comportamento em relação ao uso da água distinto dos estabelecimentos domésticos; e *b)* se a certificação ISO 14000 conduz a um uso mais eficiente dos recursos hídricos. A prática de reúso parece também mais disseminada no grupo que se declarou favorável à implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul. Esse padrão pode ser possivelmente explicado pelo fato de estabelecimentos com posicionamento favorável à cobrança valorizarem mais a questão ambiental do que aqueles que se declararam contrários, com o primeiro grupo investindo mais em ações visando ao uso eficiente da água. Por fim, o reúso tende a ser mais comum nos estabelecimentos onde a água é utilizada principalmente como fluido de resfriamento e/ou aquecimento. De fato, sistemas de resfriamento são caracterizados pela grande demanda de água e por padrões pouco exigentes em termos de qualidade do insumo em questão, o que torna aquela aplicação uma das alternativas mais atraentes para o reúso na indústria. Por outro lado, apenas um pequeno percentual de estabelecimentos cujo uso principal da água destina-se a fins sanitários adota práticas de reúso.

TABELA 2

**Percentual de estabelecimentos com reúso de água, segundo características selecionadas**

	Número de estabelecimentos pesquisados	Estabelecimentos que adotam o reúso de água (%)
Estabelecimentos com captação própria de água	177	24,9
Estabelecimentos abastecidos pela rede pública	273	7,0
Estabelecimentos com certificação ISO 14000	23	30,4
Estabelecimentos sem ISO 14000	424	13,2
Estabelecimentos de capital estrangeiro	37	29,7
Estabelecimentos de capital doméstico	410	12,7
Estabelecimentos favoráveis à cobrança do uso da água	221	16,7
Estabelecimentos contrários à cobrança	226	11,5
Uso principal da água: resfriamento ou aquecimento	29	44,8
Uso principal da água: processos industriais	139	21,6
Uso principal da água: fins sanitários e outros	279	7,2

Feita a caracterização geral do reúso da água nos estabelecimentos da bacia do Paraíba do Sul, cabe agora fazer uma análise econométrica dos fatores que influenciam a decisão dos estabelecimentos no sentido de adotar o reúso e de como tal decisão influi no comportamento da demanda industrial de água.

### 3 MODELO ECONOMÉTRICO

Pressupõe-se que o processo de decisão da firma é realizado em dois estágios. No primeiro, a firma decide se adota ou não o reúso de água (isto é, se investe em tecnologias de reúso). No segundo, a firma escolhe a quantidade de água a ser captada, condicionada à primeira decisão acerca da adoção de reúso.

O modelo econométrico conhecido como *switching regression model* permite representar de forma adequada esse processo de decisão das firmas e estimar coeficientes não viesados para as funções de demanda de água. O modelo consiste na especificação de funções de demanda de água distintas para as firmas que reutilizam água e para as demais, além de uma terceira equação referente à decisão sobre a adoção ou não do reúso. Defina-se  $Q_i$  como a quantidade de água captada pela firma  $i$ ,  $I_i^*$  como a variável latente que determina a decisão sobre o reúso de água,  $I_i$  como a variável indicadora de valor 1 quando a firma adota o reúso de água e 0 caso contrário,  $X_i$  como o vetor de características que afetam a demanda de água das firmas e  $Z_i$  como o vetor de características que influem na decisão sobre a adoção do reúso. A forma geral do modelo estatístico é expressa pelas seguintes equações:

$$Q_i = g(X_{1i}, \alpha) + \mu_{1i} \quad \text{se } I_i = 1 \quad (1)$$

$$Q_i = h(X_{2i}, \beta) + \mu_{2i} \quad \text{se } I_i = 0 \quad (2)$$

$$I^* = \gamma' Z_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$I = 1 \text{ se e somente se } I^* > 0$$

$$= 0 \text{ se e somente se } I^* \leq 0$$

onde (1) e (2) correspondem às equações de demanda de água das firmas que reutilizam água e daquelas que não reutilizam, respectivamente; (3) à equação que se refere à decisão de se adotar ou não o reúso;  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são os vetores de parâmetros a serem estimados; e  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  e  $\varepsilon_i$  são os termos de erro das equações. Adota-se a hipótese de que os erros possuem distribuição normal trivariada de média 0 e matriz de variância-covariância expressa por:

$$\text{Cov}(\mu_1, \mu_2, \varepsilon) = \begin{pmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12} & \sigma_{1\varepsilon} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22}^2 & \sigma_{2\varepsilon} \\ \sigma_{1\varepsilon} & \sigma_{2\varepsilon} & 1 \end{pmatrix}.$$

A distribuição estatística dos erros definida acima possui uma importante implicação para a estimação do modelo. Caso existam variáveis não observadas que afetem tanto a demanda de água quanto a decisão sobre a adoção do reúso, os termos  $\mu_1$  e  $\mu_2$  estarão correlacionados com  $\varepsilon_i$ . Nesse caso, os erros das equações de demanda (1) e (2), condicionados ao critério de seleção (isto é, dada a decisão sobre o reúso), terão um valor esperado diferente de 0. Isso significa que a estimação das equações de demanda de água pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) resulta em coeficientes viesados. De modo a se corrigir esse viés de seleção, as equações de demanda (1) e (2) são modificadas da seguinte forma:

$$Q_i = g(X_{1i}, \alpha) + \sigma_{1\varepsilon} \frac{\phi(\gamma' Z)}{\Phi(\gamma' Z)} + \zeta_{1i} \quad \text{se } I_i = 1 \quad (4)$$

$$Q_i = h(X_{2i}, \beta) + \sigma_{2\varepsilon} \frac{-\phi(\gamma' Z)}{(1 - \Phi(\gamma' Z))} + \zeta_{2i} \quad \text{se } I_i = 0 \quad (5)$$

onde  $\phi(\cdot)$  e  $\Phi(\cdot)$  denotam a função de densidade de probabilidade e a função de distribuição, associadas a uma variável normal, respectivamente, e os erros  $\zeta_1 = \mu_1 + \sigma_{1\varepsilon}$  e  $\zeta_2 = \mu_2 + \sigma_{2\varepsilon}$  são não-correlacionados. As variáveis adicionais  $\frac{\phi(\gamma' Z)}{\Phi(\gamma' Z)}$  e  $\frac{-\phi(\gamma' Z)}{(1 - \Phi(\gamma' Z))}$  são denominadas razões inversas de Mills, e podem ser calculadas a partir da estimação dos parâmetros da equação sobre a decisão de reúso expressa em

(3). Os coeficientes associados às razões inversas de Mills,  $\sigma_{1\varepsilon}$  e  $\sigma_{2\varepsilon}$ , correspondem à correlação entre os erros da equação de demanda e a equação da decisão de reúso. Portanto, caso esses coeficientes sejam estatisticamente significativos, a hipótese de que os erros das equações não estejam correlacionados pode ser rejeitada.

De modo a se estimar o modelo econométrico definido acima, é necessário especificar a forma funcional de  $g(\cdot)$  e  $h(\cdot)$  e definir as variáveis explicativas a serem incluídas nos vetores  $Z$ ,  $X_1$  e  $X_2$ . Considera-se que a decisão das firmas em adotar ou não práticas de reúso está relacionada ao preço dos insumos, a características da estrutura produtiva das firmas (nível de produção, setor de atividade etc.) e a características relacionadas ao uso da água (tipo da fonte de abastecimento em água, uso principal da água no interior da planta industrial etc.). Adota-se a seguinte especificação para a equação da decisão de reúso:

$$I = \gamma_0 + \gamma_Y Y + \sum_{j=1}^J \gamma_j P_j + \sum_{l=1}^L \gamma_l Z_l + \varepsilon \quad (6)$$

onde  $Y$  denota o nível de produção,  $P_j$  corresponde ao preço do insumo  $j$  ( $j = 1, \dots, J$ ) e  $Z$  representa o conjunto de variáveis de características técnicas e regulatórias que podem influir na decisão de reúso das firmas.

No que tange às equações de demanda, considera-se que a única diferença entre os vetores de variáveis explicativas  $X_1$  e  $X_2$  consiste na inclusão do preço do reúso como componente do primeiro e não do segundo vetor. A inclusão do preço do reúso da água em  $X_1$  deve-se à possibilidade de a água reutilizada ser um insumo substituto à água captada. Desse modo, em sua decisão sobre a demanda de água a ser captada, as firmas que adotam práticas de reúso levariam em consideração o custo de reutilização da água. Já as firmas que não adotam tais práticas não teriam possibilidade de realizar tal substituição, excluindo-se dessa forma essa variável da sua função de demanda. As demais variáveis explicativas incluídas em  $X_1$  e  $X_2$  são idênticas para os dois grupos. Ambas as especificações incluem o preço da água captada, o nível de produção e o uso principal da água no interior da planta industrial. Considera-se ainda que as demandas de água possuem uma forma log-log, sendo expressas por

$$\ln Q_i = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \alpha_{AC} \ln P_{AC} + \alpha_{AR} \ln P_{AR} + \sum_{l=1}^L \alpha_l Z_l + \sigma_{1\varepsilon} \frac{\phi(\gamma' Z)}{\Phi(\gamma' Z)} + \zeta_{1i} \quad \text{if } I=1 \quad (7)$$

$$\ln Q_i = \beta_0 + \beta_Y \ln Y + \beta_{AC} \ln P_{AC} + \sum_{l=1}^L \beta_l Z_l + \sigma_{2\varepsilon} \frac{-\phi(\gamma' Z)}{(1 - \Phi(\gamma' Z))} + \zeta_{2i} \quad \text{if } I=0 \quad (8)$$

onde  $P_{AC}$  refere-se ao preço da água captada e  $P_{AR}$  ao preço da água de reúso.

Adota-se o seguinte procedimento para a estimação do modelo. Primeiramente, a equação sobre a decisão acerca da prática de reúso (6) é estimada através do método *probit*. Os parâmetros estimados  $\gamma$  são então utilizados para se calcular as razões inversas de Mills. Em seguida, estimam-se as equações de demanda de água dadas por (7) e (8) pelo método de MQO de modo a se obter os coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\sigma$ .

As informações da pesquisa de campo apresentadas na seção 2 foram utilizadas para a construção das variáveis necessárias para a estimação do modelo definido pelas equações (6), (7) e (8). Em relação ao preço dos insumos, o preço do capital ( $P_K$ ) corresponde à soma da taxa de juros real e da taxa de depreciação. O preço da energia elétrica ( $P_E$ ) é calculado como o valor da conta de energia dividido pela quantidade total de quilowatt-hora (kWh) consumida. O preço da água captada ( $P_{AC}$ ) é dado pelo custo médio de seu uso, cujo cálculo depende da fonte de abastecimento de água utilizada pelo estabelecimento. Para os estabelecimentos que captam água por conta própria,  $P_{AC}$  é computado como a soma das despesas com captação, pré-tratamento e com o tratamento/descarte de efluentes, dividido pelo volume total de água envolvido em tais processos. Para os estabelecimentos conectados à rede pública de abastecimento,  $P_{AC}$  é calculado dividindo-se o valor total da conta de água pela quantidade total de água utilizada. O preço da água de reúso ( $P_{AR}$ ) é dado pelo seu custo médio, conforme declarado pelos estabelecimentos nos questionários. Também foi computado o percentual dos gastos com água em relação ao custo dos estabelecimentos ( $PERC_{CA}$ ), obtido através da soma de todas as despesas relativas ao uso da água dividida pelo custo total de produção. Por fim, o nível de produção ( $Y$ ) é dado por seu valor em reais.

Diversas variáveis indicadoras (*dummies*) relativas às características dos estabelecimentos em termos de uso da água e das práticas ambientais foram também incluídas no modelo. A variável *CAPT\_PROP* refere-se à fonte de abastecimento em água, tendo valor 1 no caso de estabelecimentos com captação própria e 0 no caso daqueles abastecidos via rede pública. *ISO14000* é uma variável *dummy* de valor 1 para estabelecimentos com certificação ISO14000 e de valor 0 para os demais. Variáveis dicotômicas também foram definidas para representar o uso principal da água dentro do estabelecimento, que foi classificado em três grandes grupos: fluido de resfriamento ou aquecimento (*RESF\_COND*), parte integrante dos processos industriais (*PROCESS*) e fins sanitários/outros (*SANIT*). A variável *D\_KEXT* refere-se à estrutura de capital da firma, tendo valor 1 caso a firma seja de capital externo e 0 caso contrário.<sup>6</sup> Por fim, a variável *COB\_OK* refere-se à receptividade do estabelecimento em relação à implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul. Esta possui valor 1 para os estabelecimentos que disseram ser favoráveis à introdução da cobrança e 0 para os que se opõem a esse mecanismo.<sup>7</sup>

---

6. Classifica-se aqui uma firma como de capital externo quando mais de 50% de seu capital pertence a investidores estrangeiros.

7. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do Paraíba do Sul tem enfrentado certa resistência por parte dos usuários industriais. Essa questão é analisada em Féres *et al.* (2005).



## 4 RESULTADOS

Os resultados do modelo *probit* que analisa os fatores que influenciam a decisão das firmas em relação ao reúso de água são apresentados na tabela 3. Como dito anteriormente, a variável dependente  $I$  é definida como uma *dummy* que possui valor 1 quando a firma adota o reúso de água e 0 caso contrário. Portanto, um coeficiente estimado de sinal positivo indica um aumento na probabilidade da adoção de práticas de reúso.

TABELA 3  
Resultados da estimação *probit* para a equação de reúso da água

Variável independente	(1)		(2)	
	Coefficiente	Efeito marginal	Coefficiente	Efeito marginal
$\ln Y$	0,105 (0,055)	0,019	0,119* (0,057)	0,020
$P_k$	-5,558* (2,272)	-0,988	-4,696* (2,396)	-0,774
$\ln P_{AC}$	0,115 (0,063)	0,020	0,135* (0,068)	0,022
$\ln P_e$	0,150 (0,140)	0,027	0,129 (0,140)	0,021
ISO14000	0,054 (0,389)	0,010	0,048 (0,412)	0,008
D_KEXT	0,112 (0,306)	0,021	0,042 (0,313)	0,007
CAPT_PROP	0,642** (0,189)	0,126	0,675** (0,197)	0,124
PROCESS	0,440* (0,190)	0,087	0,495* (0,211)	0,092
RESF_COND	0,985** (0,306)	0,272	0,839* (0,330)	0,210
COB_OK	0,250 (0,168)	0,045	0,306 (0,171)	0,051
PLASTIC			1,108** (0,379)	0,301
PAPEL			1,018 (0,650)	0,282
QUIM			0,398 (0,379)	0,081
NOMET			0,828* (0,411)	0,207
SIDER			0,655* (0,331)	0,142
OUTROS			0,388 (0,288)	0,065
Constante	-2,480** (0,767)		-3,416** (0,839)	
	Número de observações: 447		Número de observações: 447	
	Log verossimilhança: -148.95503		Log verossimilhança: -142.34224	
	Chi-quadrado(10): 61.30		Chi-quadrado(16): 77.71	
	Porcentagem de previsões corretas: 88		Porcentagem de previsões corretas: 86	

Nota: A variável dependente é definida como  $I=1$  se o estabelecimento reutiliza água e  $I=0$  caso contrário. Desvio-padrão (robusto) entre parênteses.

\* Estatisticamente significativo ao nível de 5%.

\*\* Estatisticamente significativo ao nível de 1%.

Consideram-se duas especificações para a equação sobre a decisão de reúso. A especificação apresentada na coluna (1) não controla para efeitos fixos setoriais. Já a exibida na coluna (2) inclui um conjunto de variáveis *dummies* que representam sete atividades industriais: alimentos e bebidas (ALIM), artigos de borracha e plásticos (PLASTIC), papel e celulose (PAPEL), químicos (QUIM), produtos não-metálicos (NOMET), siderurgia e metalurgia (SIDER) e outros (OUTROS). A inclusão dessas variáveis tem por fim considerar certas especificidades dos diferentes setores de atividade que podem influenciar na decisão de reúso das firmas, mas que não foram captadas pelas demais variáveis explicativas do modelo. A comparação entre as duas especificações mostra que a exclusão dos efeitos fixos setoriais pode ter importantes implicações sobre os coeficientes estimados e sua significância estatística. Em particular, observa-se que enquanto na especificação (1) o preço da água ( $P_{AC}$ ) e a produção ( $Y$ ) não parecem afetar a decisão de reúso, ao se levar em consideração os efeitos fixos setoriais essas duas variáveis passam a ser estatisticamente significativas. Em vista disso, adota-se a especificação (2) para a análise dos coeficientes estimados.<sup>8</sup>

Os coeficientes do modelo *probit* indicam que diversas variáveis incluídas na especificação do modelo parecem influenciar a decisão dos estabelecimentos em relação ao reúso. Em primeiro lugar, o coeficiente positivo e estatisticamente significativo da variável relativa ao valor da produção  $Y$  sugere que os estabelecimentos de maior porte têm maior probabilidade de adotar o reúso de água. Da mesma forma, o coeficiente associado a  $CAPT\_PROP$  indica que a probabilidade de reúso também é maior nos estabelecimentos dotados de sistemas de captação próprio de água, quando comparados aos abastecidos através da rede pública. Como plantas de grande porte e dotadas de sistemas de captação próprio em geral caracterizam-se como grandes usuários de água, os resultados acima sugerem que a escala de uso de recursos hídricos é um importante determinante para a decisão de reúso. De fato, para grandes usuários, investir em tecnologias de reúso pode acarretar reduções expressivas nas despesas associadas à captação de água e tratamento/descarte de efluentes.

No que se refere ao preço dos insumos, o coeficiente negativo associado à variável  $P_K$  indica que aumentos no preço do capital tendem a reduzir a probabilidade de os estabelecimentos adotarem práticas de reúso. Tal resultado sugere que a prática de reúso é intensiva em capital. A decisão sobre reúso também parece ser influenciada pelo preço da água: o coeficiente positivo de  $P_{AC}$  sugere que estabelecimentos com maiores preços médios de água têm maior probabilidade de adotar o reúso.<sup>9</sup> Por outro

---

8. Como o modelo na coluna (1) pode ser interpretado como uma versão com restrições da especificação proposta na coluna (2), onde os coeficientes das *dummies* setoriais são todos nulos, pode-se ainda aplicar um teste de razão de verossimilhança para selecionar o modelo mais adequado. A razão de verossimilhança é calculada como  $LR = -2 * ((-148,96) - (-142,34)) = 13,21$ , que está acima do valor crítico dado por  $\chi^2(6) = 12,59$  ao nível de significância de 5%. Portanto, rejeita-se a hipótese de que as variáveis *dummies* são iguais a 0. Esse resultado sugere que a especificação mais adequada é a definida na coluna (2), devendo-se levar em conta os efeitos fixos setoriais.

9. A equação de decisão de reúso também foi estimada utilizando-se a variável  $PERC\_C_A$  no lugar do preço da água. Os coeficientes estimados foram próximos aos obtidos utilizando-se a especificação da coluna (2) na tabela 3. Como esperado, observa-se que um aumento na proporção das despesas com água em relação ao custo total de produção aumenta a probabilidade de se adotar o reúso. Por outro lado, quando ambas as variáveis  $PERC\_C_A$  e  $P_{AC}$  são incluídas no modelo, elas não são estatisticamente significativas. Isso pode ser atribuído à colinearidade entre essas duas variáveis.

lado, a falta de significância estatística para  $P_E$  indica que o preço da energia elétrica parece não influir na decisão de reúso dos estabelecimentos.

Os resultados acima sugerem que a implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul pode ser um mecanismo eficaz de incentivo à adoção do reúso pelos estabelecimentos industriais. Como tais estabelecimentos tendem a adotar o reúso quanto maior for o preço da água, os gestores podem aumentar os valores da cobrança de modo a incentivar essa prática. Alternativamente, como as decisões sobre reúso também são influenciadas pelo preço do capital, uma segunda maneira de se promover o reúso seria utilizar os valores arrecadados com a cobrança na bacia na concessão de empréstimos subsidiados para financiar investimentos em planos de reúso industrial de água.

Em relação ao uso principal da água, os coeficientes positivos e estatisticamente significativos de RESF\_COND e PROCESS apontam que, quando comparados aos estabelecimentos cujo uso principal destina-se a fins sanitários, aqueles que utilizam água principalmente como fluido de resfriamento ou aquecimento e nos processos industriais têm maior probabilidade de adotar práticas de reúso. Em particular, verifica-se que os estabelecimentos que utilizam a água como fluido de resfriamento ou aquecimento têm uma probabilidade 21% maior de adotar práticas de reúso, em comparação com os que utilizam a água para fins sanitários. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Scharf *et al.* (2002), que observou o mesmo padrão para o setor industrial canadense.

No que tange às variáveis ligadas a práticas ambientais, deve-se observar que os coeficientes de ISO14000 e COB\_OK não são estatisticamente significativos. Isso representa que tanto a certificação ISO 14000 quanto a posição dos estabelecimentos em relação à cobrança pelo uso da água parecem não influenciar nas decisões dos estabelecimentos em relação à prática de reúso. Da mesma forma, a falta de significância estatística do coeficiente associado a D\_KEXT indica que o comportamento das firmas de capital estrangeiro em relação à adoção do reúso parece não se diferenciar daquele observado nos estabelecimentos de capital doméstico.

Por fim, as *dummies* setoriais mostram que os estabelecimentos dos setores de artefatos de borracha e plástico (PLASTIC), produtos não-metálicos (NOMET) e siderurgia e metalurgia (SIDER) têm maior tendência à adoção de práticas de reúso que os demais setores. Uma vez mais, os resultados estão de acordo com os observados por Tate e Scharf (1996) e Scharf *et al.* (2002), que verificaram que os índices de reutilização de água nesses ramos de atividade estão acima da média do setor industrial canadense como um todo.

A tabela 4 apresenta os coeficientes estimados das equações de demanda de água. Como as especificações adotam a forma funcional log-log, os coeficientes das variáveis contínuas correspondem às estimações das elasticidades de demanda. As colunas (1) e (3) apresentam os resultados das regressões para os estabelecimentos que adotam o reúso e para aqueles que não o adotam, respectivamente. Em ambas as equações, a inclusão da razão inversa de Mills (INVMILLS) corrige o possível viés de seleção, conforme discutido na seção 2.

TABELA 4

**Estimações das equações de demanda de água**

Variável independente	Estabelecimentos com reúso de água		Estabelecimento sem reúso de água		Amostra completa
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\ln Y$	0.660** (0.173)	0.918** (0.135)	0.529** (0.052)	0.629** (0.044)	0.676** (0.042)
$\ln P_{AC}$	-0.528* (0.226)	-0.434 (0.231)	-0.229** (0.061)	-0.193** (0.061)	-0.175** (0.060)
$\ln P_{AR}$	0.360* (0.160)	0.373* (0.167)			
$\ln P_E$	-0.949* (0.371)	-0.775* (0.378)	-0.189 (0.106)	-0.146 (0.107)	-0.235* (0.106)
PROCESS	0,171 (0.685)	1.165* (0.548)	1.034** (0.200)	1.395** (0.174)	1.262** (0.166)
RESF_COND	-1.737 (0.937)	-0.271 (0.705)	0,454 (0.438)	1.271** (0.375)	0.798* (0.311)
INVMILLS	-8.860* (3.906)		-4.780** (1.371)		
PLASTIC	-4.340** (1.210)	-2.903** (1.072)	-1.817** (0.391)	-1.147** (0.346)	-1.278** (0.317)
PAPEL	-4.816** (1.434)	-4.407** (1.481)	-0.494 (0.659)	0,286 (0.629)	-0.391 (0.571)
QUIM	-4.317** (1.208)	-3.906** (1.242)	-0.711* (0.328)	-0.456 (0.324)	-0.786* (0.315)
NOMET	-2.821* (1.255)	-1.961 (1.245)	-1.560** (0.367)	-1.108** (0.348)	-1.025** (0.340)
SIDER	-3.989** (0.990)	-3.319** (0.984)	-1.211** (0.277)	-0.850** (0.261)	-1.026** (0.255)
OUTROS	-2.688** (0.930)	-2.671* (0.968)	-1.055** (0.217)	-0.853** (0.212)	-0.996** (0.211)
D_REUSO					0,219 (0.208)
Constante	6,511 (5.192)	-4.162 (2.281)	-4.035** (0.915)	-1.675** (0.624)	-2.295** (0.604)
Número de observações	63	63	384	384	447
R <sup>2</sup>	0,72	0,70	0,62	0,61	0,62

Nota: Erros-padrão entre parênteses.

\* Estatisticamente significativo ao nível de 5%.

\*\* Estatisticamente significativo ao nível de 1%.

Como esperado, a demanda de água de ambos os grupos apresenta elasticidade-preço negativa, o que significa que um aumento no custo de uso da água captada acarreta redução na demanda. Em particular, as elasticidades estimadas (dadas pelos coeficientes de  $P_{AC}$ ) indicam que um aumento de 1% no preço da água leva a uma redução de -0,53% na demanda de água dos estabelecimentos com práticas de reúso e de -0,23% na demanda daqueles que não reutilizam água. Os valores estimados

para essas elasticidades estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.<sup>10</sup> Ademais, como as elasticidades-preço estimadas indicam que a demanda por água responde a variações no preço, os resultados sugerem que a implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul, ao aumentar o custo da água, pode ser mecanismo eficaz na redução da demanda. Portanto, a cobrança poderia obter resultados satisfatórios em termos de conservação de recursos hídricos e promoção do uso racional da água. Resultados similares foram encontrados por Féres e Reynaud (2005) e Féres *et al.* (2005).

Merece destaque o fato de a elasticidade-preço da demanda de água dos estabelecimentos com reúso ( $-0,53$ ) ser maior<sup>11</sup> do que a estimada para os que não reutilizam água ( $-0,23$ ), o que sugere que os estabelecimentos que reutilizam água reagem de maneira mais forte a variações no preço da água que aquelas que não adotam o reúso. Há duas possíveis explicações para esse resultado. Primeiro, como já mencionado, os estabelecimentos que adotam o reúso possuem um percentual de despesas com água em relação ao custo total de produção superior àqueles que não recorrem a tais práticas.<sup>12</sup> Dessa forma, os estabelecimentos com reúso seriam mais sensíveis a aumentos nas despesas com água. Uma segunda explicação seria a possibilidade de substituição da captação de água pelo reúso por parte dos estabelecimentos que adotam tais práticas. No caso dos estabelecimentos sem reúso de água, tal possibilidade de substituição não existiria. Dessa forma, não é possível para esse segundo grupo reduzir de forma mais acentuada sua demanda de água no caso de aumento de preços.

De fato, o sinal positivo do coeficiente do preço da água de reúso ( $P_{AR}$ ) indica que a água captada e a água reutilizada podem ser consideradas insumos substitutos no processo de produção. Isso sugere que, efetivamente, os estabelecimentos que reutilizam água possuem maior flexibilidade para se ajustarem a aumentos no preço da água captada. Além disso, como visto na tabela 1, o custo de reutilização da água corresponde em média a aproximadamente 1/3 do custo de uso da água captada, o que indica que os estabelecimentos tenham incentivos econômicos para substituir a captação de água por maior volume de reutilização. Esses resultados reforçam o argumento de que a possibilidade de substituição que se abre aos estabelecimentos que adotam o reúso pode ser uma possível explicação para a maior reação diante de aumentos do preço da água captada.

Como esperado, a elasticidade da demanda em relação ao nível de produção (dado pelo coeficiente de  $\ln Y$ ) é positiva para os dois grupos de estabelecimentos, o que indica que um crescimento da produção industrial leva a um aumento na demanda de água. A elasticidade estimada é ligeiramente superior para os estabelecimentos com reúso, mas a pequena diferença entre os coeficientes sugere que o comportamento da demanda de ambos os grupos responde de maneira similar a aumentos de produção. Por outro lado, as elasticidades da demanda em relação ao

---

10. Por exemplo, Grebenstein e Field (1979) estimam elasticidades-preço variando entre  $-0,33$  e  $-0,80$  para os diferentes setores de atividade da indústria nos Estados Unidos. Reynaud (2002) analisa a indústria francesa e estima elasticidades que variam entre  $-0,10$  e  $-0,79$ . Dupont e Renzetti (2001) encontram resultados similares para o Canadá.

11. Em valor absoluto.

12. Ver tabela 1.

preço da energia elétrica (dada pelo coeficiente de  $\ln P_e$ ) são bastante distintas entre os dois grupos: enquanto esta elasticidade é estimada em  $-0,95$  para o caso de firmas que reutilizam água, indicando uma complementaridade entre a água captada e a energia, a demanda de água por parte das firmas que não praticam o reúso parece não responder a variações do preço da energia elétrica. Uma possível explicação para esse resultado é que o reúso de água seria menos intensivo em energia que atividades relacionadas à captação de água (custos de bombeamento, custos de tratamento e descarte de efluentes etc.), de tal modo que estabelecimentos com reúso de água substituiriam a água captada por uma reutilização maior, quando confrontados com aumentos no preço da energia.

Também deve-se observar que as estimações dos coeficientes das razões inversas de Mills (INVMILLS) são estatisticamente significativas para ambos os grupos. Logo, a hipótese de ausência de viés de seleção é rejeitada. Isso significa que caso a demanda de água fosse estimada separadamente para qualquer dos dois grupos, sem se levar em conta a correção para a seleção da amostra, os coeficientes estariam viesados. Para se avaliar os efeitos de uma estimação que ignore o viés de seleção, as equações de demanda de água foram estimadas excluindo-se a variável INVMILLS. Os resultados são apresentados nas colunas (2) e (4) da tabela 4. Como pode ser visto, ignorar o problema de viés de seleção resulta na sobreestimação da elasticidade da demanda em relação ao nível de produção, especialmente no caso dos estabelecimentos com reúso de água. Por outro lado, as elasticidades-preço da demanda são subestimadas nos dois grupos. Tais resultados indicam que ignorar a questão do viés de seleção pode ser problemático quando se procura caracterizar o comportamento da demanda por água dos estabelecimentos condicionado à sua decisão de reúso.

Finalmente, também estimou-se uma única equação de demanda por água para a amostra completa de estabelecimentos, incluindo-se uma variável *dummy* para indicar os estabelecimentos que adotam o reúso (D\_REUSO). Como pode ser visto na coluna (5) da tabela 4, tratar a questão do reúso sem levar em conta a endogeneidade da variável D\_REUSO resulta em estimações viesadas. Em particular, pode-se observar que a elasticidade-preço da demanda estaria subestimada.

## 5 CONCLUSÃO

O setor industrial apresenta numerosas oportunidades para a adoção do reúso de água. Contudo, a despeito da ampla gama de aplicações e dos benefícios ambientais e econômicos associados à essa prática, a literatura econômica dedicada ao assunto é bastante reduzida. Este artigo procurou investigar os fatores que influenciam a decisão das firmas em adotar práticas de reúso de água e avaliar se essa decisão afeta o comportamento das firmas em relação à demanda por recursos hídricos.

Para avaliar tais questões, estima-se um modelo econométrico em dois estágios. O primeiro analisa a decisão da firma de se reutilizar ou não a água através de um modelo *probit*. No segundo, a partir de um modelo de *switching regressions*, são estimadas equações de demanda por água separadamente para as plantas industriais que reutilizam água e as demais. O modelo é estimado a partir de informações coletadas em 447 estabelecimentos industriais situadas na região da bacia do Rio Paraíba do Sul.

Os resultados da análise *probit* mostram que a prática de reúso na indústria está associada aos grandes usuários de água. De fato, para grandes usuários, investir em tecnologias de reúso pode acarretar reduções expressivas nas despesas associadas à captação de água e ao tratamento/descarte de efluentes. A adoção do reúso também é determinada pelo setor de atividade do estabelecimento e o uso principal ao qual a água se destina. A tendência à adoção do reúso é maior nos setores de artefatos de borracha e artigos de plástico, produtos minerais não-metálicos, metalurgia e siderurgia. Em relação ao uso principal da água, o reúso é mais praticado pelos estabelecimentos que utilizam a água como fluido de resfriamento ou aquecimento.

Um resultado importante encontrado na análise *probit* é que preço dos insumos também influencia a decisão de reúso dos estabelecimentos. Em particular, o aumento do preço da água aumenta a probabilidade de adoção do reúso, enquanto um aumento no preço do capital reduz essa probabilidade. Essa relação entre preço dos insumos e decisões de reúso sugere que a implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul pode ser um mecanismo eficaz de incentivo à adoção do reúso pelos estabelecimentos industriais. De fato, como os estabelecimentos tendem a adotar o reúso quanto maior for o preço da água, os gestores de recursos hídricos podem aumentar os valores da cobrança de modo a incentivar essa prática. Alternativamente, como as decisões sobre reúso também são influenciadas pelo preço do capital, uma segunda maneira de se promover o reúso seria utilizar os valores arrecadados com a cobrança na concessão de empréstimos subsidiados para financiar investimentos em planos de reúso industrial de água.

As estimações da demanda de água apresentam uma elasticidade-preço negativa, o que significa que um aumento no custo de uso da água captada acarreta uma redução na demanda. Esse resultado sugere que, além de ser um mecanismo eficaz de incentivo à adoção de práticas de reúso, a implementação da cobrança pode também obter resultados satisfatórios em termos de redução da demanda industrial de água.

As elasticidades estimadas indicam que um aumento de 1% no preço da água leva a uma redução de 0,53% na demanda por água dos estabelecimentos com práticas de reúso e de 0,23% na demanda daqueles que não reutilizam água. Uma possível explicação para o fato de a demanda dos estabelecimentos com reúso ser mais sensível a variações no preço da água consiste nas possibilidades de substituição entre a água captada e a água de reúso. No caso dos estabelecimentos sem reúso de água, tal possibilidade de substituição não existiria, não sendo possível para esse grupo reduzir de forma mais acentuada sua demanda por água no caso de aumento de preços. De fato, as estimações econométricas de nosso modelo indicam que a água captada e a reutilizada podem ser consideradas insumos substitutos no processo de produção. Isso sugere que, efetivamente, os estabelecimentos que reutilizam água possuem maior flexibilidade para se ajustarem a aumentos no preço da água captada.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 3, n. 4, p. 1-10, 2003.
- DUPONT, D.; RENZETTI, S. The role of water in manufacturing. *Environmental and Resource Economics*, v. 18, n. 4, p. 411-432, 2001.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). *Manual de Conservação e Reúso de Água Para a Indústria*. São Paulo: Fiesp, 2004.
- FÉRES, J.; REYNAUD, A. Assessing the impact of environmental regulation on industrial water use: evidence from Brazil. *Land Economics*, v. 81, n. 3, p. 396-411, 2005.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; THOMAS, A.; SEROA DA MOTTA, R. *Demanda por água e custos de controle de poluição hídrica nas indústrias da bacia do rio Paraíba do Sul*. Rio de Janeiro: Ipea, 2005. (Texto para discussão, n. 1.084).
- GREBENSTEIN, C.; FIELD, B. Substituting for water inputs in U. S. manufacturing. *Water Resources Research*, v. 15, n. 2, p. 228-232, 1979.
- REYZETTI, S. Estimating the structure of industrial water demands: the case of Canadian manufacturing. *Land Economics*, v. 68, n. 4, p. 396-404, 1992.
- REYNAUD, A. An econometric estimation of industrial water demand in France. *Environmental and Resource Economics*, v. 25, n.2, p. 213-32, 2002.
- SCHARF, D.; BURKE, D. W.; VILLENEUVE, M; LEIGH, L. *Industrial water use, 1996*. Ottawa: Minister of Public Works and Government Services Canada, 2002.
- TATE, D. M.; SCHARF, D. N. *Water use in Canadian industry, 1991*. Ottawa: Environment Canada, 1996 (Social Science Series, n. 31).
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP). *Water and wastewater reuse*. Unep: International Environmental Technology Centre, 2005.





## **EDITORIAL**

### **Coordenação**

Iranilde Rego

### **Supervisão**

Marcos Hecksher

### **Revisão**

Lucia Duarte Moreira

Alejandro Sainz de Vicuña

Eliezer Moreira

Elisabete de Carvalho Soares

Míriam Nunes da Fonseca

Tamara Sender

### **Editoração**

Roberto das Chagas Campos

Camila Guimarães Simas

Carlos Henrique Santos Vianna

Leandro Daniel Ingelmo (estagiário)

## **COMITÊ EDITORIAL**

### **Secretário-Executivo**

Marco Aurélio Dias Pires

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES,

9<sup>a</sup> andar – sala 908

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5406

Correio eletrônico: madp@ipea.gov.br

### **Brasília**

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES,

9<sup>a</sup> andar – 70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5090

Fax: (61) 3315-5314

Correio eletrônico: editbsb@ipea.gov.br

### **Rio de Janeiro**

Av. Nilo Peçanha, 50, 6<sup>a</sup> andar — Grupo 609

20044-900 – Rio de Janeiro – RJ

Fone: (21) 3515-8433 – 3515-8426

Fax (21) 3515-8402

Correio eletrônico: editrj@ipea.gov.br

Tiragem: 165 exemplares