

# VALOR DA ÁGUA DESTINADA À IRRIGAÇÃO DAS LAVOURAS BRASILEIRAS EM UM MODELO MULTISSETORIAL DE CRESCIMENTO ECONÔMICO

**Peterson Felipe Arias Santos**

Doutorando em Economia Aplicada, ESALQ-USP

**Humberto Francisco Silva Spolador**

Professor Associado, ESALQ-USP

## Área ANPEC 11: Economia Agrícola e do Meio Ambiente

**Resumo:** O presente artigo, por meio da implementação e simulação de um modelo multissetorial de crescimento (com seis setores), obteve estimativas da remuneração-sombra e preço-sombra do estoque de água utilizada nas lavouras irrigadas brasileiras. O modelo empírico foi calibrado a partir de uma matriz de contabilidade social derivada da base de dados do Global Trade Analysis Project (GTAP) com a parcela do valor adicionado atribuível à água explicitada a partir da estratégia residual de Haqiq et al. (2016); adicionalmente, outros parâmetros foram obtidos por meio de um exercício de decomposição do crescimento. Os resultados sugerem uma baixa remuneração-sombra e preço-sombra da água, sendo os menores valores encontrados na produção de cana-de-açúcar, que é a lavoura mais demandante de água na agricultura brasileira. A partir dos resultados do modelo, ainda foi possível obter o valor de todo o estoque de água utilizado para fins de irrigação no país, cujo valor representaria apenas 0,22% daquele do estoque de capital físico. Com exceção da produção de cana-de-açúcar, os valores obtidos mostraram-se abaixo daqueles presentes nas políticas de cobrança já existentes no país.

**Palavras-chave:** Crescimento econômico, valoração de recursos naturais, equilíbrio geral dinâmico.

**Abstract:** This article aims to estimate the shadow-rent and shadow-price of irrigation water in Brazilian crops by implementing a multisector growth model with six sectors derived from Roe, Smith e Saracoğlu (2010). The empirical model was calibrated using a social account matrix build upon the Global Trade Analysis Project (GTAP) database in which water contribution to sectoral value added was obtained through residual method developed by Haqiq et al. (2016). Other parameters were calculated through a growth accounting exercise. Results suggested low shadow-rents and low shadow-prices of irrigation water, being the smallest values found in sugar cane production, which is the largest user of irrigation water in Brazil. Furthermore, the paper estimates that the stock value of irrigation water would be about only 0,22% of the physical capital stock value. Except for the sugarcane production, the values obtained were lower than those defined by policies already in place in the country.

**Keywords:** Economic growth, natural resources valuation, dynamic general equilibrium.

**JEL:** O1, O4, Q25

## 1. Introdução

O Brasil possui uma extensão territorial da ordem de 8,5 milhões de quilômetros quadrados divididos em dozes grandes regiões hidrográficas com diferentes perfis de clima e disponibilidade hídrica, e que concentram, de maneira heterogênea, a população residente. Tal característica faz com que, a despeito de possuir cerca de 12% da disponibilidade hídrica global (MIN, 2008), exista relativa escassez de água, especialmente em áreas muito populosas e/ou em ocasiões de estiagens severas, como aquela observada no sudeste brasileiro a partir de 2014.

O abastecimento humano representava 24% da retirada total e 10% do consumo de água bruta em 2015, considerando as áreas urbanas e rurais (ANA, 2016). Assim, a maior parte da água retirada das fontes brasileiras destina-se, como é comum em diversos países, à atividade agropecuária, especialmente às técnicas irrigação. A figura 1 apresenta as diferentes demandas por água bruta no país, conforme os conceitos de vazão retirada e vazão consumida, correspondendo a primeira ao montante retirado dos corpos d'água para os respectivos usos, e a segunda à quantidade água que, após utilizada, não retorna ao sistema hídrico.

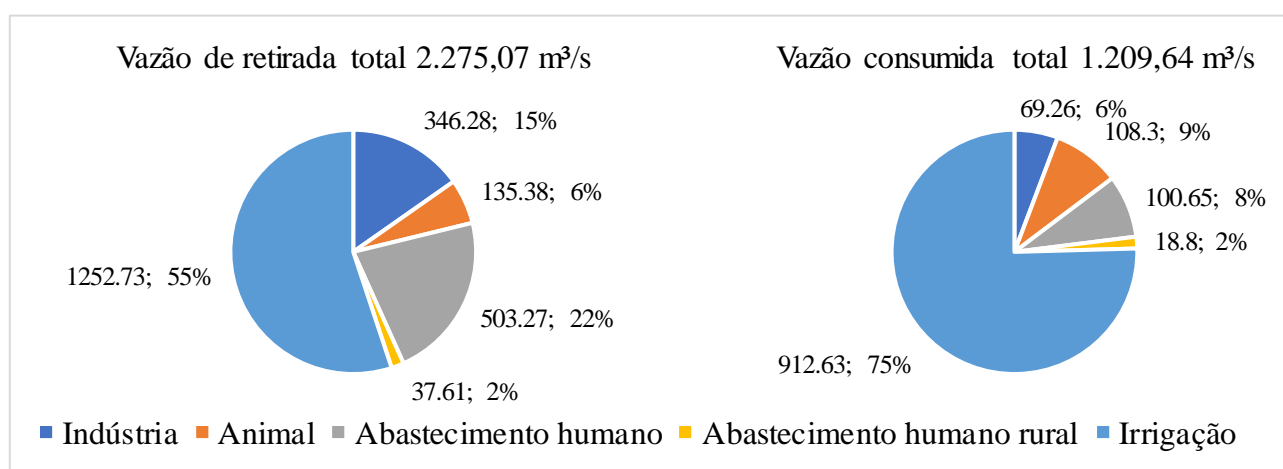


Figura 1 – Vazões retirada e consumida no Brasil em 2015.

Fonte: ANA (2016)

Sendo a taxa de retorno baixa na atividade agropecuária, as participações da irrigação e consumo animal no consumo total são superiores às suas respectivas participações na vazão retirada. No presente trabalho utilizou-se o conceito de retirada, particularmente nas lavouras, na medida em que, em tese, a produção não é afetada pelo retorno posterior da água utilizada ao sistema hídrico.

Por uma questão de disponibilidade de informações, os dados referentes ao consumo por cultura das lavouras temporárias e permanentes referem-se apenas ao ano de 2006 (apresentados na figura 2), tendo sido calculados a partir dos resultados do projeto *Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil* viabilizado pela parceria entre a Fundação Banco do Brasil, Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Fundação de Apoio à Universidade de Viçosa (FUNARBE, 2011).

Segundo o referido projeto, 27,7 bilhões de metros cúbicos foram retirados para fins de irrigação no ano de 2006 e, deste montante, as culturas da cana-de-açúcar e arroz concentraram mais de 80% do volume total demandado, demonstrando a importância de se considerar de maneira particular estas duas atividades no modelo dinâmico implementado. Além disso, as citadas atividades localizam-se, em grande parte, em regiões sujeitas a períodos de seca como os estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul, resultando em potenciais perdas econômicas e de bem-estar na ocorrência de restrições ao acesso à água por parte destas lavouras específicas

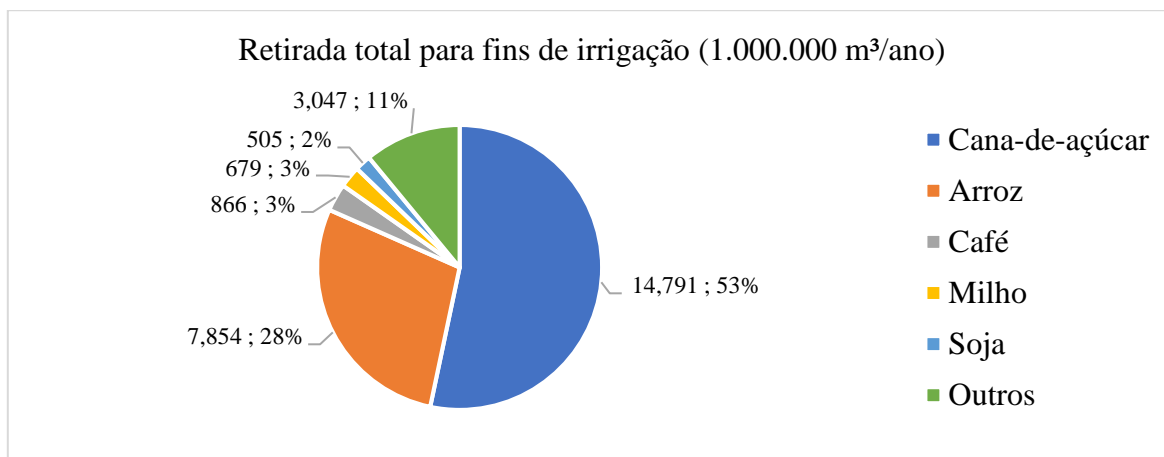


Figura 2 – Composição relativa da retirada anual de água para fins de irrigação em 2006, por cultura.  
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de FUNARBE (2011).

Portanto, tendo em conta a crescente demanda por os recursos naturais, iniciativas para que a água passe a ser tratada como recurso dotado de valor econômico e, portanto, sujeito a mecanismos de preços, têm surgido frente à necessidade do uso racional, e da definição de um sistema que garanta o acesso dos usuários a este recurso. De toda sorte, do ponto de vista microeconômico, a eficiência destas políticas estaria associada à sua capacidade de equalizar o benefício marginal de uma unidade de água ao custo marginal de ofertá-la.

Não existindo, contudo, um mercado para água utilizada na irrigação, de modo a estabelecer um preço eficiente, a cobrança pelo uso, por parte das agências reguladoras, demanda alguma metodologia para estimá-lo. Johanson (2005), por exemplo, sumarizou os métodos potenciais para aferir o valor da água nos níveis micro e macroeconômico, entre eles, modelos econométricos, de equilíbrio – geral e parcial – e outras abordagens empíricas como programação linear, método residual, hedônico, entre outros. Neste contexto, a presente tese adota uma abordagem macroeconômica a partir de um modelo multissetorial de crescimento, que tem como uma de suas características tornar endógena a decisão de poupança das famílias ao estilo de Ramsey (1928). Isto é importante, na medida em que o preço-sombra e a dinâmica das remunerações-sombra são fortemente influenciadas pelo processo de acumulação de capital.

O objetivo do trabalho é obter uma estimativa da remuneração e preço-sombra por m³ da água utilizada nas lavouras irrigadas brasileiras por meio de um modelo dinâmico de equilíbrio geral. Adicionalmente, busca-se calcular o valor do estoque da água utilizada na irrigação como parte do esforço recente de incorporar os recursos naturais na análise do processo econômico. De maneira análoga, dada a estrutura e as hipóteses admitidas no modelo, também foi possível obter estimativas da remuneração e preço-sombra da terra nos quatro setores que dela se utilizam. Além desta introdução, o artigo está estruturado de forma que não seção 2 está a apresentação do modelo teórico; a seção 3 apresenta os principais resultados e discussão e, finalmente, na seção 4 estão as considerações finais.

## 2. O modelo teórico

O modelo aqui considerado é de tempo contínuo, e baseado nos modelos propostos por Roe, Smith e Saracoğlu (2010), Smith e Gemma (2014) e Roe e Smith (2015); esses trabalhos remetem aos conceitos teóricos dos modelos de Ramsey (1928), Cass (1965) e Koopmans (1965). A economia modelada é aberta e pequena, sem governo, e possui seis setores, indexados pelos números entre parênteses, cujas produções destinam-se ao consumo do agente representativo, acumulação de capital e consumo intermediário, a saber: indústria (1), arroz (2), cana-de-açúcar (3), outras lavouras (4), outros produtos do setor agropecuários,

exceto lavouras (5)<sup>1</sup>, e serviços (6). Cada bem é produzido por um único setor, de modo que as expressões “setor” e “produto” são utilizadas de maneira equivalente ao longo do texto. A forma de agregação dos setores está detalhada no Anexo.

Inicialmente, a economia é dotada de  $L(0)$  unidades de trabalho e  $K(0)$  unidades de capital distribuídas entre os seis setores, além das dotações de água e terra em cada um dos setores que delas se utiliza. Os residentes são proprietários de todo o estoque de ativos, enquanto os serviços dos fatores de produção não são negociados internacionalmente, e suas respectivas remunerações são apropriadas pelas famílias. Os bens produzidos pelos setores abertos ao comércio internacional são negociados a preços fixos. Déficits ou superávits comerciais são negociados aos preços internacionais vigentes. Admite-se que o preço do bem industrial  $p_1$  seja o *numéraire*.

## 2.1 Comportamento das famílias

A economia do modelo é habitada por um grande número de famílias idênticas que vivem indefinidamente e cujo número de membros cresce à taxa constante  $n$ . Ao consumir  $\{q_1(t), q_2(t), q_4(t), q_5(t), q_6(t)\}_0^\infty$ , o agente representativo obtém um fluxo de utilidades  $u: \mathbb{R}_{++}^5 \rightarrow \mathbb{R}_+$ . Dessa forma, o somatório do fluxo futuro descontado de utilidades é dado por:

$$\int_0^\infty \frac{u[q_1(t), q_2(t), q_4(t), q_5(t), q_6(t)]^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{(n-\rho)t} dt \quad (1)$$

ou seja, em termos por trabalhador, é definido a partir de um índice do bem composto  $q(t)$ , do inverso da elasticidade de substituição intertemporal  $\theta$ , do parâmetro de desconto intertemporal  $\rho$  e da taxa  $n$ . Em cada momento, o agente representativo busca minimizar o custo  $\epsilon$  de aquisição da cesta de bens de consumo por trabalhador. Dadas as hipóteses estabelecidas sobre a função utilidade, a função dispêndio decorrente da minimização é separável em  $q$  (ROE; SMITH; SARACOĞLU, 2010), de modo que se tenha:

$$\epsilon = \mathcal{E}(p_2, p_4, p_5, p_6)q \equiv \min_{q_1, q_2, q_4, q_5, q_6} \sum_{j=1,2,4,5,6} p_j q_j \mid q \leq u(q_1, q_2, q_4, q_5, q_6)$$

em que se omite os índices  $t$ , do tempo, e do preço do bem industrial,  $p_1$ . Dessa forma,  $\mathcal{E}(p_2, p_4, p_5, p_6)$  pode ser interpretado como o preço unitário do bem de consumo composto  $q$ .

Se  $\mathcal{E}(\mathbf{p})$  é diferenciável em  $p_j$ , a demanda Hicksiana pelo bem  $j$  é obtida pelo Lema de Shephard:

$$q_j = \mathcal{E}_{p_j}(\mathbf{p})q$$

A parcela da renda não dispendida com o consumo é acumulada na forma de novo capital adicionado ao estoque existente após a depreciação, de modo que a restrição orçamentária por trabalhador é dada por:

$$\dot{k} = \frac{1}{p_k} \left( w + r^k k + \sum_{j=2}^5 v_T^j T_j + \sum_{j=2}^4 v_H^j H_j - \epsilon \right) - (n + \delta)k, \quad (2)$$

em que  $w$ ,  $r^k$  são as remunerações do trabalho e do capital respectivamente e  $v_T^j$  e  $v_H^j$  correspondem às remunerações sombra, por trabalhador, dos fatores fixos terra e água. Os parâmetros  $n$  e  $\delta$ , por sua vez, são a taxa de crescimento da força de trabalho e a taxa de depreciação do capital, cujo preço é identificado por  $p_k$ .

<sup>1</sup> Abrange, portanto, as atividades pecuária, florestal, pesqueira e aquícola, por exemplo.

Finalmente, para evitar o efeito Ponzi, impõe-se a seguinte condição de transversalidade (ROE; SMITH; SARACOĞLU, 2010):

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[ k(t) e^{-\int_0^t (r(s) - n - \frac{\dot{p}_k}{p_k}) ds} \right] = 0 \quad (3)$$

ou seja, o valor presente dos ativos físicos por trabalhador em um futuro distante tende a zero.

## 2.2 Firmas

Em cada setor a firma representativa emprega tecnologia neoclássica e linearmente homogênea nos fatores de produção capital e trabalho. No caso dos setores industrial e de serviços, deduz-se duas funções de mínimo custo de produção, enquanto para os quatro setores de atividades primárias, a presença de fatores fixos de produção gera funções de valor adicionado.

Assim, para os setores industrial e de serviços tem-se:

$$Y_j \leq \min \left\{ \mathcal{F}^j(A(t)L_j, K_j), \frac{Y_{1,j}}{\sigma_{1,j}}, \frac{Y_{2,j}}{\sigma_{2,j}}, \frac{Y_{3,j}}{\sigma_{3,j}}, \frac{Y_{4,j}}{\sigma_{4,j}}, \frac{Y_{5,j}}{\sigma_{5,j}}, \frac{Y_{6,j}}{\sigma_{6,j}} \right\}, \quad j = 1,6$$

em que  $A(t)$  é o nível da produtividade aumentadora de trabalho, enquanto  $L_j$  e  $K_j$  são, respectivamente, as quantidades de trabalho e capital utilizadas no setor  $j = 1,6$ . Além disso,  $Y_{i,j}$  representa o valor do produto do setor  $i$  demandado pelo setor  $j$  para sua produção, enquanto  $\sigma_{i,j}$  representa os coeficientes insumo-produto. Estas funções de produção dão origem a funções custo, expressas por unidades efetivas de trabalho, do tipo:

$$TC_j = \left( C^j(\hat{w}, r^k) + \sum_{i=1}^6 \sigma_{i,j} p_j \right) \hat{y}_j, \quad j = 1,6$$

O Lema de Shephard assegura que a demanda do setor  $j = 1,6$  pelo fator trabalho seja  $l_j = \partial C^j(\hat{w}, r^k) \hat{y}_j / \partial \hat{w}$  e também que o montante de capital por trabalhador efetivo empregado no setor seja  $\hat{k}_j = \partial C^j(\hat{w}, r^k) \hat{y}_j / \partial r^k$ .

As firmas dos setores de arroz (2), cana-de-açúcar (3) e de outras lavouras (4) utilizam tecnologia que pode ser representada como:

$$Y_j \leq \min \left\{ \mathcal{F}^j(A(t)L_j, K_j, \mathcal{B}(t)T_j, \Lambda(t)H_j), \frac{Y_{1,j}}{\sigma_{1,j}}, \frac{Y_{2,j}}{\sigma_{2,j}}, \frac{Y_{3,j}}{\sigma_{3,j}}, \frac{Y_{4,j}}{\sigma_{4,j}}, \frac{Y_{5,j}}{\sigma_{5,j}}, \frac{Y_{6,j}}{\sigma_{6,j}} \right\}, \quad j = 2,3,4$$

em que  $\mathcal{B}(t)$  e  $\Lambda(t)$  são os níveis de produtividade dos fatores fixos terra e água para irrigação que crescem à taxa  $\eta = x + n$ . Isto corresponde a duas condições de sustentabilidade que garantem o caráter autônomo das equações diferenciais na solução do problema intertemporal, sendo uma hipótese compartilhada por diversos trabalhos derivados do modelo desenvolvido por Roe, Smith e Saracoğlu (2010)<sup>2</sup>.

Finalmente, a firma do setor de outros produtos agropecuários (setor 5) utiliza tecnologia conforme:

$$Y_5 \leq \min \left\{ \mathcal{F}^5(A(t)L_5, K_5, \mathcal{B}(t)T_5), \frac{Y_{1,5}}{\sigma_{1,5}}, \frac{Y_{2,5}}{\sigma_{2,5}}, \frac{Y_{3,5}}{\sigma_{3,5}}, \frac{Y_{4,5}}{\sigma_{4,5}}, \frac{Y_{5,5}}{\sigma_{5,5}}, \frac{Y_{6,5}}{\sigma_{6,5}} \right\}$$

<sup>2</sup> Ver, por exemplo, Pinto (2011), Spolador e Roe (2013), Smith e Gemma (2014), Fang, Roe e Smith (2015).

No caso dos setores que usam os fatores fixos água e/ou terra, a partir da maximização de lucros das firmas obtém-se as funções de valor adicionado. A estas funções, pode ser aplicado o Lema de Hotelling tendo-se que, para cada setor produtor de bem primário, a respectiva função oferta será dada por:

$$\hat{y}_j = \frac{\partial \hat{v}^j(\bullet)}{\partial p_{vj}}, \quad j = 2,3,4,5$$

assim como sua participação no emprego e demanda por capital são obtidas, respectivamente, como:

$$l_j = -\frac{\partial \hat{v}^j(\bullet)}{\partial \hat{w}}, \quad j = 2,3,4,5$$

$$\hat{k}_j = -\frac{\partial \hat{v}^j(\bullet)}{\partial r^k}, \quad j = 2,3,4,5$$

Além disso, a derivada parcial das funções de valor adicionado, em relação a cada um dos fatores fixos, determina a remuneração deste fator necessária para que ocorra o equilíbrio em um mercado perfeitamente competitivo para o mesmo (ROE; SMITH, SARACOĞLU, 2010), ou seja, para os setores para os setores que fazem uso da irrigação:

$$\hat{v}_T^j \equiv \frac{\partial \hat{v}^j(p_{vj}, \hat{w}, r^k, T_j, H)}{\partial T_j}, \quad j = 2,3,4$$

$$\hat{v}_H^j \equiv \frac{\partial \hat{v}^j(p_{vj}, \hat{w}, r^k, T_j, H)}{\partial H_j}, \quad j = 2,3,4$$

Nestas duas expressões,  $p_{vj}$  “representa o preço de valor adicionado”, que pode ser interpretado como a margem bruta da firma na venda de uma unidade de sua produção e pode ser demonstrado depender apenas dos preços dos bens domésticos. Finalmente, para o setor produtor de outros bens agropecuários, que utiliza apenas o fator fixo terra, vale-se da separabilidade da função valor adicionado no mesmo, de modo que se tenha:

$$\hat{v}_T^5 \equiv \frac{\partial \hat{v}^5(p_{v5}, \hat{w}, r^k)T_5}{\partial T_5} \equiv \hat{v}^5(p_{v5}, \hat{w}, r^k).$$

### 2.3 Equilíbrio intra-temporal

Dada a sequência  $\{\hat{k}(t), \hat{e}(t)\}_0^\infty$ , o equilíbrio competitivo da economia é caracterizado pela sequência  $\{\hat{w}(t), r^k(t), \hat{y}_1(t), \hat{y}_6(t), p_3(t), p_6(t)\}_0^\infty$  que satisfaz as seguintes condições de equilíbrio:

- i. Lucro zero nos setores industrial (1) e de serviços (6)

$$C^1(\hat{w}, r^k) = p_{v1}(p_3, p_6)$$

$$C^6(\hat{w}, r^k) = p_{v6}(p_3, p_6)$$

- ii. Equilíbrio no mercado de trabalho

$$\sum_{j=1,6} \frac{\partial C^j(\hat{w}, r^k) \hat{y}_j}{\partial \hat{w}} - \sum_{j=2}^5 \frac{\partial \hat{v}^j(\bullet)}{\partial \hat{w}} = 1$$

- iii. Equilíbrio do mercado de capital

$$\sum_{j=1,6} \frac{\partial C^j(\hat{w}, r^k) \hat{y}_j}{\partial r^k} - \sum_{j=2}^5 \frac{\partial v_j(\bullet)}{\partial r^k} = \hat{k}$$

iv. Equilíbrio do mercado de cana-de-açúcar

$$\frac{\partial \hat{v}^3(p_3, p_6, \hat{w}, r^k, T_3, H_3)}{\partial p_3} = \sum_{j=1}^6 \sigma_{3j} \hat{y}_j$$

v. Equilíbrio do mercado de serviços

$$\frac{\lambda_6 \hat{\epsilon}}{p_6} = \hat{y}_6 - \sum_{j=1}^6 \sigma_{6j} \hat{y}_j - \hat{y}_{6k} [\hat{k} + \hat{k}(x + n + \delta)]$$

Das duas expressões da condição (i), pode-se solucionar para  $\hat{w}$  e  $r^k$  de modo a obter formas reduzidas que definem salário e remuneração do capital como funções dos preços dos bens domésticos.

$$\begin{aligned} \tilde{w}(p_3, p_6) &\equiv W(p_{v1}(p_3, p_6), p_{v6}(p_3, p_6)) \\ \tilde{r}(p_3, p_6) &\equiv R(p_{v1}(p_3, p_6), p_{v6}(p_3, p_6)) \end{aligned} \quad (4)$$

Estas soluções são, portanto, substituídas em todas as condições de equilíbrio intra-temporal de modo a obter outras variáveis de interesse, com exceção das três variáveis dinamicamente endógenas, ou seja, o estoque de capital e os preços dos setores domésticos discutidas a seguir.

## 2.4 Composição do capital

Suprimindo o índice  $t$  do tempo, admite-se que o capital é gerado a partir de uma função linearmente homogênea que combina diversos produtos da economia sob mínimo custo de produção, tal que o preço de uma unidade de capital seja dado por:

$$c^k(p_1, p_4, p_5, p_6) = \min \left\{ \sum_j p_j y_{jk} \mid 1 \leq F(y_{1k}, y_{4k}, y_{5k}, y_{6k}) \right\}, \quad j = 1, 4, 5, 6$$

O Lema de Shepard se aplicado a essa função determina o montante de mínimo custo de cada bem necessário à produção de uma unidade de capital. Ressalta-se que, no modelo aqui implementado, que os produtos arroz e cana-de-açúcar não são considerados para a formação de novo capital.

## 2.5 Equilíbrio intertemporal

Admitindo uma forma funcional *Cobb-Douglas* para a função utilidade e elasticidade de substituição intertemporal unitária, tal que  $\theta = 1$ , a equação de Euler, em termos por trabalhador efetivo, associada à maximização de (1) em relação a (2), pode ser escrita como<sup>3</sup>:

$$\frac{\dot{\hat{\epsilon}}}{\hat{\epsilon}} = \frac{r^k}{p_k} - x - \delta - \rho + \lambda_{6k} \frac{\dot{p}_6}{p_6}, \quad (5)$$

<sup>3</sup> Notar que  $\frac{\dot{\hat{\epsilon}}}{\hat{\epsilon}} \equiv \frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon} - x$

em que se vale particularmente do fato de que:

$$\frac{\dot{p}_k}{p_k} = \frac{d(\ln p_k)}{dt} = \frac{c_{p_6}^k(p_1, p_4, p_5, p_6)p_6 \dot{p}_6}{c^k(p_1, p_4, p_5, p_6) p_6} = \lambda_{6k} \frac{\dot{p}_6}{p_6}$$

com  $\lambda_{6k}$  representando a quantidade do bem de serviços necessária à composição de uma unidade de capital.

A expressão (5) é a primeira de três equações diferenciais necessárias para a solução de um sistema que descreva a evolução das três variáveis dinâmicas do modelo (o estoque de capital por trabalhador efetivo, e os preços da cana-de-açúcar e do bem de serviços). A segunda equação diferencial trata-se da própria restrição orçamentária dada em (2) – com as devidas substituições dos argumentos por suas formas reduzidas – enquanto que a terceira tem origem na condição intra-temporal (iv). Neste caso, estabelecendo que a oferta de cana-de-açúcar se destina exclusivamente ao consumo intermediário dos setores, sendo o saldo comercial do setor nulo em qualquer tempo, pode-se definir:

$$\hat{\chi}(p_3, p_6, k) \equiv \frac{\partial \hat{v}^3(p_3, p_6, \hat{w}, r^k, T_3, H_3)}{\partial p_3} - \sum_{j=1}^6 \sigma_{3j} \hat{y}_j = 0 \Rightarrow \hat{\chi}(p_3, p_6, k) = 0$$

## 2.6 Preço sombra dos recursos naturais

Da forma como está apresentada, a referida restrição orçamentária (2) vincula-se a uma condição de não arbitragem entre investimento em capital físico e empréstimos. Admite-se também que não há arbitragem entre o capital físico e cada um dos recursos naturais da economia de modo que, no equilíbrio, o agente deve ser indiferente entre vender uma unidade do recurso natural ao preço vigente ou retê-la, obtendo, assim, rendimentos.

Tomando como exemplo o fator terra no setor  $j = 2, 3, 4, 5$ , o valor de seu estoque é dado por  $p_{T_j} T_j$ , então o rendimento, via taxa de juros livre de risco  $r$ , da venda de uma unidade deste estoque,  $r p_{T_j}$ , deve ser igual à remuneração  $V_{T_j}$  obtida, caso se retenha esta unidade de terra, mais a variação (positiva ou negativa) do preço da terra  $\dot{p}_{T_j}$ .

$$r p_{T_j} = V_{T_j}^j + \dot{p}_{T_j}.$$

Dividindo-se esta relação pelo número de trabalhadores, sendo  $\tilde{p}_{T_j} = p_{T_j}/L$  e  $v_T^j = V_{T_j}^j/L$ , então

$$r = \frac{v_T^j}{\tilde{p}_{T_j}} + \frac{\dot{\tilde{p}}_{T_j}}{\tilde{p}_{T_j}} + n.$$

Pode-se associar esta relação à dinâmica do capital ao definir  $p_{\zeta_j} = \tilde{p}_{T_j}/p_k$ , de modo que:

$$r = \frac{v_T^j/p_k}{p_{\zeta_j}} + \frac{\dot{p}_{\zeta_j}}{p_{\zeta_j}} + \frac{\dot{p}_k}{p_k} + n.$$



Roe, Smith e Saracoğlu (2010) solucionaram esta especificação para  $p_{\zeta_j}$ , tendo em conta a condição de transversalidade (3), de modo a obter o valor presente da terra no setor  $j^4$ .

$$p_{\zeta_j}(t) = \int_t^{\infty} e^{-\int_t^s (r(s) - n - \frac{\dot{p}_k}{p_k}) ds} \frac{v_T^j(\tau)}{p_k(\tau)} d\tau, \quad j = 2,3,4,5 \quad (6)$$

Procedimento simétrico pode ser feito para a água, de modo a obter seu preço-sombra por unidade.

## 2.7 Calibração

Embora, o modelo desenvolvido possa ser quase imediatamente aplicado aos dados de uma matriz de contabilidade social (SAM) compatível com o modelo teórico apresentado e construída a partir da oitava edição da base de dados do Global Trade Analysis Project (GTAP) (GOPALAKRISHNAN; AGUIAR; McDOUGALL, 2012), alguns parâmetros necessitam ser estabelecidos por outros métodos. Ressalta-se que as taxas de crescimento exógenas, como aquelas da produtividade e da força de trabalho, referem-se às médias geométricas entre 1995 e 2015, sendo obtidas, quando aplicável, com as séries a preços constantes do ano de referência (2007), na mesma unidade monetária da SAM (dólares americanos do mesmo ano).

Para desagregar, da renda da terra, a renda atribuível à água utilizada nos sistemas de irrigação das lavouras ao menos duas estratégias poderiam, em princípio, ser utilizadas: estimação de função de produção como, por exemplo, em Gemma e Smith (2014) ou cálculo residual. Infelizmente, para o primeiro caso, a disponibilidade de dados mostrou-se limitante, na medida em que o Censo Agropecuário não disponibiliza publicamente informações acerca do fator capital empregado no nível municipal ou de microrregiões. Além disso, os dados de arroz encontravam-se agregados à produção de outros cereais, bem como as informações sobre o fator trabalho poderiam ser pouco representativas, ao menos no caso da cana-de-açúcar<sup>5</sup>. Assim, optou-se por aplicar a estratégia de Haqiq et al. (2016), obtendo-se de maneira residual a contribuição da água de irrigação para a renda das lavouras.

Para a decomposição do crescimento da economia brasileira, e obtenção dos parâmetros a ela relacionados, adotou-se como referência o período entre 1995 e 2015 e uma forma funcional *Cobb-Douglas* para a função de produção agregada, sendo os dados obtidos da base de dados *World Development Indicators* do Banco Mundial (2017). Para obter a taxa Harrod de progresso técnico, a partir de um exercício de decomposição do crescimento, foram necessárias as séries do PIB, da força de trabalho e do estoque de capital, que é calculado conjuntamente à taxa de depreciação conforme metodologia de Conesa, Kehoe e Ruhl (2007). Em particular, para a solução do modelo, obteve-se o estoque de capital em 2007, no valor de 4,3 trilhões de dólares do mesmo ano, e a taxa de depreciação de 0,026.

A série obtida para o estoque de capital, junto com a força de trabalho e a participação dos fatores de produção na renda – no caso de um único setor – obtida diretamente da SAM, permite o cálculo por resíduo do crescimento da produtividade Harrod-neutra, cujo índice (1995 = 100) é apresentado na figura 3, notando-se que, no período em questão, observa-se grande irregularidade no crescimento, sendo que o efeito líquido destas oscilações é um crescimento da ordem de 0,26% a.a.

<sup>4</sup> Para obter o valor não normalizado do preço do recurso natural basta, em cada momento do tempo, multiplicar a expressão (6) pelo número de trabalhadores e preço do capital.

<sup>5</sup> Viana (2015) ressaltou que os dados sobre força de trabalho no Censo Agropecuário de 2006 se referem ao dia 31/12/2006, portanto, fora do período de safra da cana-de-açúcar, em que se realiza uso intensivo de trabalhadores temporários. Dessa forma, estes dados poderiam implicar, por exemplo, na estimação de um efeito negativo do número de trabalhadores sobre a produção.

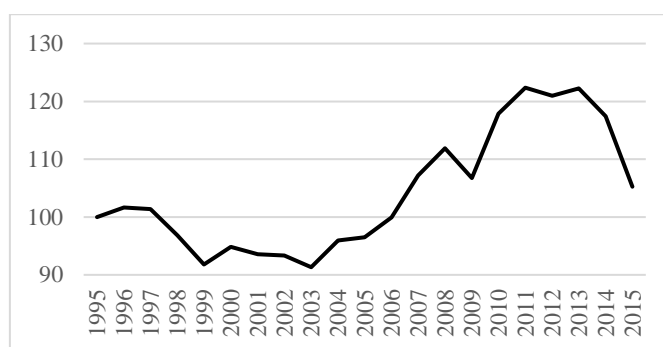


Figura 3: Evolução do índice (1995=100) da produtividade (tecnologia Harrod-neutra) no Brasil.

Fonte: elaboração própria a partir de Banco Mundial (2017) e Gopalakrishnan, Aguiar e Mcdougall (2012).

Dada a estrutura do modelo proposto, o valor numérico das dotações dos fatores fixos é relevante apenas na análise valores-sombra unitários. Do contrário, se o objetivo for unicamente estimar o valor total do estoque dos fatores fixos em determinado setor, pode-se defini-los como unitários, o que é realizado para o setor de outros bens agropecuários, na medida em que este constitui-se de uma miscelânea de atividades não correlatas, e cujas informações sobre a área utilizada são restritas. Isto posto, no caso das lavouras, considerou-se os dados de área colhida da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2007. Admitindo que participação das áreas irrigadas na PAM de 2007 fosse a mesma observada no Censo Agropecuário de 2006, aplicou-se a consequente variação da área irrigada para atualizar as informações de quantidade água retirada por cultura para o ano de 2007. As informações sobre o volume de água retirado, originalmente no ano de 2006 são provenientes de FUNARBE (2011). A tabela 1 sumariza os valores dos fatores fixos terra e água considerados no modelo.

Tabela 1 – Quantidade dos fatores fixos considerados no modelo

Setor	Número identificador	Terra utilizada (1.000.000 ha)	Água retirada (1.000.000 m³)
Arroz	2	2,890926	7.642,73
Cana-de-açúcar	3	7,080920	16.478,76
Outras lavouras	4	51,694607	5.065,04
Outros agropecuária*	5	1	

Fonte: elaboração própria a partir de FUNARBE (2011) e IBGE (2017).

Nota: o valor unitário considerado indica que será calculado apenas o valor do estoque total do fator

Neste ponto, resta determinar os parâmetros relativos às preferências intertemporais. O primeiro deles, o inverso da elasticidade de substituição,  $\theta$ , já foi anteriormente definido como unitário. Assim como a hipótese de sustentabilidade, essa especificação está presente em diversos trabalhos derivados de Roe, Smith e Saracoğlu (2010). Finalmente, sobre a taxa de desconto intertemporal  $\rho$ , seguiu-se Fang, Roe e Smith (2015), tal que o equilíbrio intertemporal do modelo solucionado implique uma taxa de poupança no período base próxima àquela observada na SAM, ou seja, 0,0865.

## 2.8 Solução numérica

Dada a característica autônoma do sistema, pode-se aplicar o método *time-elimination*, proposto por Mulligan e Sala-i-Martin (1991). Para o modelo empírico, como já referido, a forma funcional adotada para funções de produção, função utilidade e função geradora de capital foi a *Cobb-Douglas*, enquanto a solução numérica do sistema de equações diferenciais descrito nesta seção é obtida numericamente utilizando-se o software *Wolfram Mathematica*, em sua versão 11.2. Excetuando-se as dotações dos fatores fixos, já apresentados na tabela 1, os parâmetros externos à SAM são sumarizados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo externos à Matriz de Contabilidade Social

Taxa de depreciação	$\delta$	0,0255
Inverso da elasticidade de substituição intertemporal	$\theta$	1
Taxa de preferência temporal	$\rho$	0,0865
Taxa Harrod de progresso técnico	$x$	0,0028
Taxa de crescimento da força de trabalho	$n$	0,0171
Taxa de crescimento da produtividade dos fatores fixos	$\eta$	0,0199
Estoque inicial de capital, em milhões de US\$ de 2007	$K(0)$	4.252.506

Fonte: elaboração própria a partir de Banco Mundial (2017)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda que, no nível teórico, o aprofundamento do capital reduza a sua remuneração, na prática, a solução para a evolução do estoque de capital reflete a convergência da remuneração do capital, a partir de seu valor implicado pela SAM e o estoque de capital inicial externamente estimado, até seu valor de estado estacionário compatível com o equilíbrio intertemporal do modelo. Dessa forma, quanto maior a diferença entre o valor inicial e o valor de estado estacionário da remuneração de capital, maior deverá ser a taxa de crescimento do estoque de capital, de modo que este seja compatível com uma remuneração projetada de forma decrescente. Este aspecto ilustra, portanto, a importância de estimativas corretas do estoque de capital para a solução do modelo.

No presente caso, ilustrado na figura 4, no início da transição para o estado estacionário, o estoque de capital apresenta a uma variação instantânea de aproximadamente 2,76%. Este valor decresce progressivamente até a taxa de crescimento de longo prazo dada por  $x + n = 1,99\%$ .

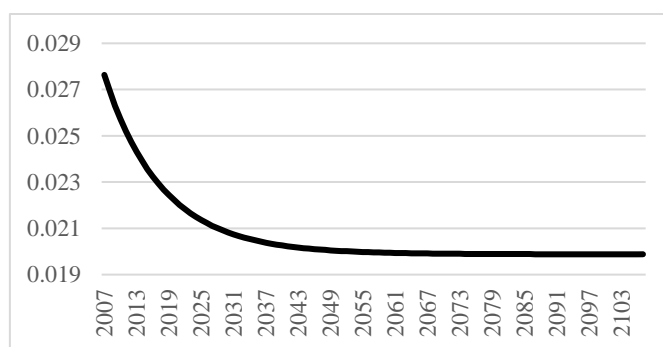


Figura 4 – Evolução projetada da taxa de crescimento do estoque de capital agregado

Fonte: Resultados do modelo

Influenciada pela dinâmica de aprofundamento do capital, a dinâmica do preço do bem de serviços durante a transição é apresentada na figura 5.

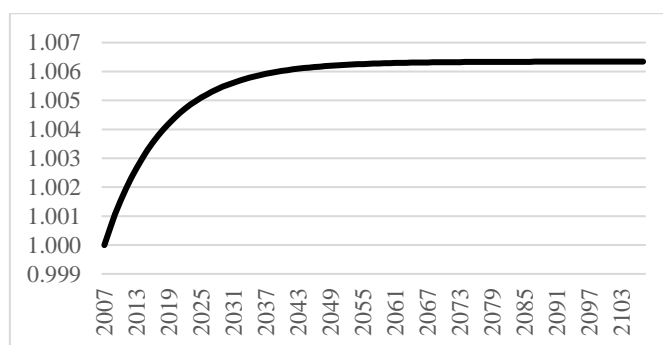


Figura 5 – Evolução projetada do preço do bem de serviços

Fonte: Resultados do modelo

A tendência de aumento do preço do bem de serviços decorre, em grande medida, de efeitos à la Rybczynski (1955). Da expressão (4), pode-se escrever a taxa de variação da remuneração do capital como:

$$\frac{\dot{r}^k}{r^k} = \varepsilon^{r,p_3} \frac{\dot{p}_3}{p_3} + \varepsilon^{r,p_6} \frac{\dot{p}_6}{p_6}$$

em que  $\varepsilon^{r,p_3}$  e  $\varepsilon^{r,p_6}$  indicam, respectivamente, as elasticidades da expressão (4) em relação a  $p_3$  e  $p_6$ . Se há aprofundamento do capital, então ocorre a redução da remuneração do mesmo, de modo que  $\frac{\dot{r}^k}{r^k} \leq 0$ ; ademais, se o setor de cana-de-açúcar é pequeno o suficiente, pode-se, por simplicidade do argumento, admitir que  $\varepsilon^{r,p_3} \cong 0$ . Dessa forma, ainda que se tratasse de um modelo com apenas dois setores, nesta situação, Roe, Smith e Saracoğlu (2010, p. 72) argumentaram que, na presença de um setor de serviços relativamente intensivo em trabalho:

“growth in the capital stock will have Rybczynski-like effects on the growth of in the industrial-agricultural sector supply, while growth in labor services will affect positively the growth in supply of service good. Since the growth rate of  $K(t)$  in transition exceeds the rate growth in labor services, the rise in price of the service good is required in order for the service good sector to compete for resources needed for the service good market to clear”

Este comportamento também possui aderência à trajetória de aumento no preço relativo associado ao setor de serviços, o que pode ser visto, por exemplo, ao comparar a evolução do deflator implícito deste setor frente ao deflator do PIB agregado, em que o primeiro apresenta uma variação muito superior ao segundo.

O preço da cana-de-açúcar, outro setor doméstico, contudo, possui tendência de redução, que se encontra em consonância com a observação histórica, conforme identificado, por exemplo, por Satolo e Bacchi (2009). A dinâmica simulada pelo modelo para esta variável é apresentada na figura 6.

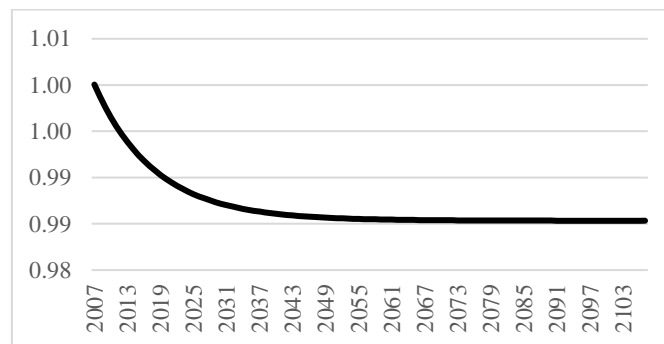


Figura 6 – Evolução projetada do preço da cana

Fonte: Resultados do modelo

Essa tendência diverge daquela do preço do bem de serviços pelo fato de que, na base de dados do GTAP, este setor ser intensivo em capital, diferentemente do setor de serviços, não sendo necessário que seus preços se elevem para que o setor continue competindo pelo fator trabalho. Cabe observar que este padrão poderia ser revertido quando da consideração de outra fonte para construção da SAM como, por exemplo, a tabela de recursos e usos (TRU) em que o setor agropecuário se mostra trabalho-intensivo.

Quanto à remuneração do capital e a taxa de juros livre de risco da economia associada à primeira, a convergência de ambas para os valores de estado estacionário é apresentada na figura 7 ilustrando, assim, o processo de acumulação de capital e redução de sua produtividade marginal.

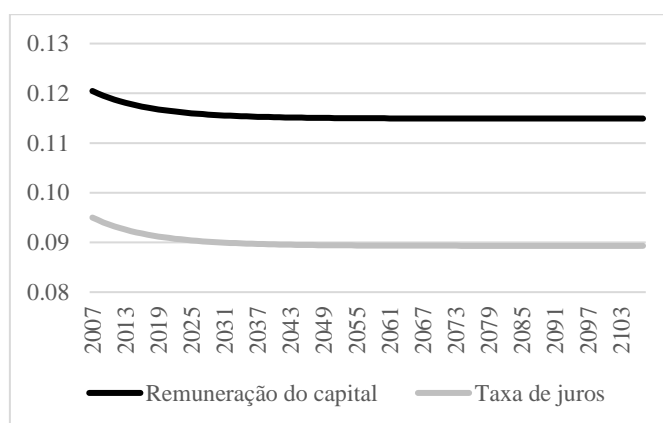


Figura 7 – Evolução projetada da taxa de juros e remuneração do capital

Fonte: Resultados do modelo

### 3.1 Remunerações e preços-sombra da água

Deve-se frisar, primeiramente, a relação conceitual entre remuneração e preços-sombra. Segundo Roe e Smith (2015, p. 9), pode-se interpretar que:

“the unit shadow rental rate is the amount a farmer would be willing to pay for the right to purchase an additional unit of water in the current period. This is to be contrasted with a sector’s unit shadow price of water, which is the amount a farmer would pay for permanent user rights to a unit of water”

Esta relação é representada pela expressão (6), e a tabela 3 mostra a evolução projetada da remuneração-sombra (*shadow rent*) da água de irrigação nos três setores que dela utilizam.

Tabela 3 – Evolução projetada das remunerações-sombra da água por setor

Ano	Arroz US\$/m <sup>3</sup>	Cana-de-açúcar US\$/m <sup>3</sup>	Outras lavouras US\$/m <sup>3</sup>
2007	0,0186	0,0013	0,1011
2017	0,0243	0,0016	0,1320
2027	0,0305	0,0019	0,1654
2037	0,0376	0,0023	0,2040
2047	0,0460	0,0028	0,2499
2057	0,0563	0,0034	0,3055
2067	0,0687	0,0042	0,3729
2077	0,0838	0,0051	0,4551
2087	0,1023	0,0062	0,5552
2097	0,1248	0,0076	0,6774
2107	0,1522	0,0093	0,8264

Fonte: Resultados do modelo

Os valores apresentados na tabela 3 equivaleriam à razão entre o valor adicionado pela água em cada um dos setores – conforme seria observado na SAM – e a quantidade de água retirada por cada um deles e, como seria esperado, tais valores são baixos, especialmente na produção de cana-de-açúcar. Isto pode ser justificado pelo fato de, contemporaneamente, as diferenças na remuneração sombra da água refletirem a produtividade da mesma nos setores, sendo mais baixa na produção de cana-de-açúcar.

O crescimento dos valores em todos os setores reflete o aumento da demanda por água ao longo do tempo. Sendo os montantes de água fixos para cada setor, à medida em que os mesmos crescem, o aumento dos preços-sombra seria uma forma de manter o equilíbrio entre oferta e demanda pelo recurso.

Tendo em conta a distinção realizada por Roe e Smith (2015), para fins de comparação entre os valores obtidos no modelo com os vigentes em sistemas de cobrança implementados no Brasil, mostra-se mais adequado utilizar valores de remuneração-sombra e não os preços-sombra, discutidos a seguir, uma vez que a cobrança no país é realizada por metro cúbico utilizado – tanto no conceito de retirada quanto no de consumo – e não em um esquema de cotas que garantiriam, de maneira permanente, o acesso dos produtores a um montante fixo do recurso. A página eletrônica da Agência Nacional de Águas<sup>6</sup> exhibe valores de cobrança em algumas das bacias brasileiras, sendo aqueles referentes à captação e consumo de água bruta apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores cobrados pela utilização de água bruta em bacias brasileiras

Bacia	Legislação	Valor captação R\$/m <sup>3</sup>	Valor consumo R\$/m <sup>3</sup>
Paraíba do Sul	Resolução CNRH nº 162/14	0,0109	0,0218
Piracicaba, Capivari e Jundiaí	Resolução CNRH nº 155/14	0,0108	0,0217
São Francisco	Resolução CNRH nº 108/10	0,01	0,02
Rio Doce	Resolução CNRH nº 123/11	0,018	...
Rio Verde Grande	Resolução CNRH nº 171/15	0,01	0,02
Paranaíba	Resolução CNRH nº 185/16	0,015	...

Fonte: Elaboração própria

Nota: quando da presença de políticas de progressão de valores, considerou-se aqueles do primeiro ano.

... Dado não disponível

Embora a conversão cambial dificulte comparações diretas, ao considerar os resultados da tabela 3, pode-se tomar como referência os valores da solução do modelo para o período base ou a previsão para 2017, de modo a ficar evidente que os valores cobrados atualmente para a captação de água encontram-se abaixo do que seria seu valor econômico, com exceção do setor de cana de açúcar. Esta constatação chama a atenção para a necessidade da realização de cobranças setorialmente distintas, e encontra-se em acordo com outros trabalhos acerca do tema na literatura internacional, e com avaliações acerca das políticas de cobrança pelo uso da água no Brasil. Resende Filho, Correa e Torres (2015), por exemplo, avaliaram políticas de cobrança pelo uso da água no país, e concluíram que os valores praticados eram muito baixos, sendo determinados conforme planos de investimento ou necessidades orçamentárias e, portanto, refletindo considerações de ordem política, e não de escassez, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade do recurso.

Ao mostrar-se como único setor em que a tarifa cobrada está acima da remuneração sombra, questiona-se acerca do incentivo em se realizar irrigação se o custo a ser pago superaria o benefício de sua utilização. Contudo, deve-se lembrar que nem toda a área produtiva de cana-de-açúcar encontra-se sob políticas de cobrança e, mesmo quando as mesmas existem, de acordo com Gelain (2018), estas podem não ser efetivas, pois os agricultores são totalmente isentos da cobrança ou determina-se que, até certo montante retirado, a legislação vigente não será aplicada.

Além disso, a remuneração-sombra da água na produção de cana-de-açúcar reflete sua baixa produtividade que pode possuir razões agronômicas, além do escopo do trabalho, como, por exemplo, o caráter suplementar da irrigação frente a mudanças nos índices pluviométricos (QUINTANA, 2010), de modo a manter a produtividade (da terra) vigente em regime de sequeiro. Hipoteticamente, pode-se supor uma situação em que, com mesmo grau de utilização dos fatores terra, capital e trabalho, uma redução das chuvas poderia acarretar um aumento da utilização de água na irrigação, mas que seria insuficiente para suprir as necessidades hídricas da planta e, neste caso, o diferencial de produtividade entre atividade irrigada e de sequeiro seria negativo. Dito de outra forma, um maior uso de água poderia ser associado a

<sup>6</sup> <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/cobranca>

uma menor produção *vis-à-vis* outra área com mesmas características. Esta possibilidade sugere aperfeiçoamentos e desafios como a consideração da água de chuva como fator produtivo.

Dadas as presentes considerações acerca da remuneração-sombra da água nos setores, conforme evidenciado pela expressão (6), a dinâmica dos preços-sombra de cada um dos fatores fixos tende a refletir em alguma medida a evolução desta remuneração. A tabela 5 mostra a evolução dos preços-sombra do metro cúbico da água nos três setores de lavouras, ou seja, o valor que os produtores deveriam pagar para garantir o direito permanente de acesso à água.

Tabela 5 – Evolução projetada dos preços-sombra da água por setor das lavouras

<b>Ano</b>	<b>Arroz US\$/m<sup>3</sup></b>	<b>Cana-de-açúcar US\$/m<sup>3</sup></b>	<b>Outras lavouras US\$/m<sup>3</sup></b>
2007	0,2641	0,0171	1,4332
2017	0,3479	0,0218	1,8884
2027	0,4377	0,0270	2,3756
2037	0,5406	0,0332	2,9344
2047	0,6628	0,0406	3,5980
2057	0,8103	0,0495	4,3984
2067	0,9893	0,0605	5,3702
2077	1,2073	0,0738	6,5535
2087	1,4731	0,0900	7,9960
2097	1,7971	0,1098	9,7550
2107	2,1924	0,1339	11,9007

Fonte: Resultados do modelo.

Como seria esperado, o preço-sombra da água nos três setores é bastante superior à remuneração-sombra, entretanto, a razão entre ambos é crescente ao longo do tempo. Isto se deve à maneira como os preços-sombra são computados; estes dependem, sobretudo, dos fluxos futuros das remunerações-sombra e, ao longo do tempo, a importância da exponencial presente na expressão (6) – que constitui o “desconto” – tende a se reduzir, levando a maior razão entre preço e remuneração-sombra.

No que tange aos valores, considerando-se o ano de referência, os preços-sombra da água nos dois setores de maior participação na retirada total mantiveram-se abaixo de US\$1,00/m<sup>3</sup>. Apenas na produção de outras lavouras, o preço da água apresenta um valor elevado, o que pode refletir um maior diferencial de produtividade entre áreas irrigantes e de sequeiro nas diversas produções englobadas por esta agregação.

A partir dos preços, pode-se obter de maneira direta outro importante resultado do presente trabalho, que é o valor total da água utilizada para irrigação no Brasil, compatível com a solução do modelo multissetorial de crescimento calibrado. No caso da água, os três valores para o ano de 2007 encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa do valor do estoque de água utilizada pelas lavouras em 2007

<b>Arroz 1.000.000 US\$</b>	<b>Cana-de-açúcar 1.000.000 US\$</b>	<b>Outras lavouras 1.000.000 US\$</b>
2.018,30	282,01	7.259,36

Fonte: Resultados do modelo

Estes montantes correspondem simplesmente à multiplicação dos preços-sombra no ano de 2007 pelo montante de água retirado conforme a tabela 1, e podem ser interpretados como os valores dos estoques deste recurso natural utilizado nas lavouras. Considerando os três setores, o valor de toda a água utilizada na irrigação em 2007 seria, então, de 9,6 bilhões de dólares; estimativa que corresponderia a apenas 0,22%

do valor do estoque de capital físico da economia, ou seja, do ponto de vista econômico o valor da água utilizada na irrigação pode ser considerado baixo.

De maneira semelhante pode-se obter os preços-sombra da terra nos setores e o valor dos estoques totais. Como ressaltado na seção de calibração do modelo, optou-se por não analisar o preço unitário do fator terra no setor de outros bens agropecuários, dessa forma, a tabela 7 limita-se a apresentar a evolução do preço-sombra da terra nas lavouras.

Tabela 7 – Evolução projetada dos preços-sombra da terra por setor das lavouras

<b>Ano</b>	<b>Arroz US\$/ha</b>	<b>Cana-de-açúcar US\$/ ha</b>	<b>Outras lavouras US\$/ ha</b>
2007	865,03	1.744,21	1.504,19
2017	1.139,61	2.217,59	1.981,85
2027	1.433,61	2.750,86	2.493,24
2037	1.770,80	3.378,74	3.079,70
2047	2.171,22	4.133,26	3.776,12
2057	2.654,22	5.047,99	4.616,14
2067	3.240,69	6.161,03	5.636,12
2077	3.954,76	7.517,42	6.878,03
2087	4.825,20	9.171,41	8.391,87
2097	5.886,73	11.188,80	10.238,10
2107	7.181,54	13.649,70	12.490,00

Fonte: Resultados do modelo.

Embora mantenha a tendência de elevação semelhante à dos preços-sombra da água, no caso da terra, o setor com maiores valores identificados é o de produção de cana-de-açúcar, embora seja aquele com menor crescimento dos preços ao longo da transição. Finalmente, quanto aos valores dos estoques de terra utilizados pelas atividades, estes são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Estimativa do valor do estoque de terra utilizado em 2007

<b>Arroz 1.000.000 US\$</b>	<b>Cana-de-açúcar 1.000.000 US\$</b>	<b>Outras lavouras 1.000.000 US\$</b>	<b>Outros agrop. 1.000.000 US\$</b>
2.500.70	12.351.00	77.759.00	59.675.00

Fonte: Resultados do modelo

Reproduzindo o padrão observado no caso da água, o maior valor do estoque de terra é observado no setor de outras atividades agropecuárias. Neste caso, o valor do estoque reflete sobretudo as áreas totais ocupadas por cada atividade, entretanto pode-se afirmar que a baixa produtividade da terra no setor de outros bens agropecuários – que inclui a própria pecuária, caracterizada pelo uso extensivo da terra –, faz com que o valor total neste setor seja inferior àquele observado no grupo de outras lavouras. A soma dos valores, no ano de 2007, foi de US\$152,29 bilhões, o que corresponderia a 3,6% do valor do estoque de capital físico.

#### 4. Considerações finais

Ainda que seja considerado um dos maiores detentores de recursos hídricos do mundo, o Brasil não pode ser considerado livre de dificuldades associadas à escassez de água, especialmente em regiões de elevado contingente populacional e/ou de produção agrícola. Com a maior parte da água doce presente na região norte do país e, dessa forma, não acessível à maior parte da atividade econômica, tem-se iniciado no país experiências de cobrança pelo uso da água, ainda que com limitada efetividade.



Além deste fato, a atribuição de valor aos diversos recursos naturais para os quais não há um mercado e, em particular, para a água, constitui um relevante desafio em termos de modelagem econômica. Isto posto, o presente trabalho buscou implementar um modelo multissetorial de crescimento derivado do trabalho de Roe, Smith e Saracoğlu (2010), em que a água utilizada para a irrigação é explicitada como um fator de produção e, dessa forma, obter a evolução das remunerações e preços-sombra da mesma no contexto deste modelo. Adicionalmente, foi possível obter o valor econômico do estoque total de água utilizada pelas atividades irrigantes no Brasil em 2007.

Em consonância com grande parte dos trabalhos anteriores disponíveis na literatura econômica, os valores associados ao uso da água mostraram-se baixos. No caso da remuneração-sombra da água, conceito mais próximo àquele empregado nos esquemas de cobrança existentes no país, o maior valor foi observado no grupo de outras lavouras agropecuárias, refletindo a maior produtividade marginal deste recurso em áreas produtoras de bens em que o país já é muito competitivo, como soja, milho e café. Com exceção da produção de cana-de-açúcar, os valores obtidos mostraram-se abaixo daqueles presentes nas políticas de cobrança já existentes, reforçando a percepção de que considerações de ordem não-econômica são mais relevantes na determinação das tarifas, conforme apontado por Resende Filho, Correa e Torres (2015).

Calculou-se, ainda, o preço-sombra da água, ou seja, o montante que os produtores de um setor estariam dispostos a pagar para garantir acesso permanente ao fator, de modo semelhante a um regime de cotas. Dada a estrutura do modelo, a dinâmica dos preços-sombra mimetiza aquele das remunerações-sombra, tal que o maior valor da água foi identificado no grupo de outras lavouras e o menor no de cana-de-açúcar. A partir de tais resultados foi possível obter uma estimativa do valor total da água utilizada nos setores irrigantes brasileiros, da ordem de US\$9,6 bilhões, em valores de 2007.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos**: Informe 2016. Brasília: ANA, 2016.

BANCO MUNDIAL. **World Development Indicators Database**. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>>. Acesso em: 4 maio 2017.

CASS, D. Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation. **The Review of Economic Studies**, v. 32, n. 3, p. 233-240, Jul., 1965.

CONESA, J. C.; KEHOE, T. J.; RUHL, K. J. Modeling great depressions: the depression in Finland in the 1990s. In: KEHOE, T. J.; PRESCOTT, E. C. (Ed.). **Great Depressions of Twentieth Century**. Minneapolis: Federal Reserve Bank of Minneapolis, 2007. p. 427-475.

FANG, X.; ROE, T. L.; SMITH, R. B. W. Water shortages, intersectoral water allocation and economic growth: the case of China. **China Agricultural Economic Review**, v. 7, n. 1, p. 2-26, 2014.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – FUNARBE. **Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

GELAIN, J. G. **Análise do custo-benefício da exportação de água virtual no setor agropecuário brasileiro**. 2018. 61 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

GOPALAKRISHNAN, B. N.; AGUIAR, H. A.; MCDUGALL, R. (eds.). **Global Trade, Assistance, and Production**: The GTAP 8 Data Base. West Lafayette: GTAP, 2012

HAQIQ, I. et al. Introducing Irrigation Water into GTAP Data Base Version 9. **Journal of Global Economic Analysis**, v. 1, n. 2, p. 116-155, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema de IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 dezembro 2017.

JOHANSSON, R. C. **Micro and macro-level approaches for assessing the value of irrigation water**. Washington D.C.: Banco Mundial, 2005. (Working Paper 3778).

KOOPMANS, T. C. On the Concept of Optimal Economic Growth. In: PONTIFICIA ACADEMIA SCIENTIARVM. **Semaine d'étude sur le rôle de l'analyse économétrique dans la formulation de plans de développement**. Amsterdam: North-Holland, 1965.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO – MIN. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Brasília: IICA, 2008.

MULLIGAN, C. B.; SALA-I-MARTIN, X. **A Note on the Time-Elimination Method For Solving Recursive Dynamic Economic Models**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1991. (NBER Technical Working Paper No. 116).

PINTO, C. V. **Effects of economy-wide factors on Brazilian economic growth and biofuels production: an inter-temporal general equilibrium analysis**. 2011. 160 p. Dissertação (Ph.D. in Applied Economics) – College of Food, Agricultural and Natural Resource Sciences, University of Minnesota, Saint Paul, 2011.

QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. 2010. 58 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

RAMSEY, F. P. A Mathematical Theory of Saving. **The Economic Journal**, v. 38, n. 152, p. 543-559, Dec., 1928.

RESENDE FILHO, M. A.; CORREA, J. S. O.; TORRES, M. O. Water Pricing in Brazil: Successes, Failures and New Approaches. In: DINAR; A. POCHAT, V.; ALBIAC-MURILLO, J. **Water Pricing Experiences and Innovations**. New York: Springer, 2015.

ROE, T. L.; SMITH, R. B. W. **Mainstreaming of ecosystem services into sectoral and macroeconomic policies and programmes of Republic of Kazakhstan**. Nairobi: UNEP, 2015.

\_\_\_\_\_; SARACOĞLU, D. Ş. **Multisector Growth Models: Theory and Application**. New York: Springer, 2010.

RYBCZYNSKI, T. M. Factor Endowment and Relative Commodity Prices. **Economica**, v. 22, n. 88, p. 336-341, Nov., 1955.

SATOLO, L. F.; BACCHI, M. R. P. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 3, 2009.

SMITH, R. B. W.; GEMMA, M. Valuing ecosystem services in macroeconomic settings. In: NUNES, P. A. L. D.; KUMAR, P.; DEDEURWAERDERE, T. **Handbook on the Economics of Ecosystem Services and Biodiversity**. Northampton: Edward Elgar, 2014. Chap. 8, p. 130-152.

SPOLODOR, H. F. S.; ROE, T. L. The role of agriculture on the recent Brazilian economic growth: how agriculture competes for resources. **The Developing Economies**, Tokyo, v. 51, n. 4, p. 333-359, 2013.

VIANA, J. H. N. **Impactos de uma redução na disponibilidade hídrica sobre a agricultura e a pobreza multidimensional no Brasil**. 2015. 169 p. Tese (Doutorado em Economia) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

## ANEXO

Setor Modelo	Código GTAP	Setor GTAP	Setor Modelo	Código GTAP	Setor GTAP
Arroz	pdr	Paddy Rice		coa	Coal
				oil	Oil
Cana-de-açúcar	c_b	Cane & Beet*		gas	Gas
				omn	Other Mining
	whit	Wheat		cmt	Cattle Meat
	gro	Other Grains		omt	Other Meat
Outras lavouras	v_f	Veg & Fruit		vol	Vegetable Oils
	osd	Oil Seeds		mil	Milk
	pfb	Plant Fibres		pcr	Processed Rice
	ocr	Other Crops		sgr	Sugar
				ofd	Other Food
	ctl	Cattle		b_t	Beverages and Tobacco products
	oap	Other Animal Products		tex	Textiles
Outros produtos agropecuários	rmk	Raw milk		wap	Wearing Apparel
	wol	Wool		lea	Leather
	fris	Forestry	Indústria	lum	Lumber
	fsh	Fishing		ppp	Paper & Paper Products
				p_c	Petroleum & Coke
	trd	Trade		crp	Chemical Rubber Products
	otp	Other Transport		nmm	Non-Metallic Minerals
	wtp	Water transport		i_s	Iron & Steel
	atp	Air transport		nfm	Non-Ferrous Metals
	cmn	Communications		fmp	Fabricated Metal Products
Serviços	ofi	Other Financial Intermediation		mvh	Motor Motor vehicles and parts
	isr	Insurance		otn	Other Transport Equipment
	obs	Other Business Services		ele	Electronic Equipment
	ros	Recreation & Other Services		ome	Other Machinery & Equipment
	osg	Other Services (Government)		omf	Other Manufacturing
	dwe	Dwellings		ely	Electricity
				gdt	Gas Distribution
				wtr	Water
				cns	Construction

ANEXO A – Quadro de agregação dos setores da oitava versão da base de dados GTAP nas definições dos setores considerados.

Nota: \*Cane & Beet, refere-se a cana-de-açúcar e a beterraba destinada à produção de açúcar, sendo a segunda irrelevante no caso brasileiro.