

A DEMANDA DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO PARA OS PERÍMETROS PÚBLICOS DO SUBMÉDIO DO RIO SÃO FRANCISCO.

Autores: Luiz Eduardo Nascimento Figueiredo; Marcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo estimar as curvas de demanda da água para irrigação dos perímetros irrigados localizados no Submédio do Rio São Francisco. A metodologia utilizada foi à programação matemática positiva, que consiste em um modelo em três estágios para a obtenção dos valores econômicos d'água para diversos cenários de disponibilidade desse recurso (100% até 60%). A partir dos valores econômicos obtidos, foi possível estimar as curvas de demanda da água para a irrigação e os custos de escassez do recurso para os perímetros públicos irrigados. Ademais, diversos cenários de elasticidades de oferta das culturas (de 0.2 até 2.0) em cada perímetro foram propostos com o intuito de verificar os respectivos impactos na demanda de água para irrigação estimada e nos custos de escassez. Os resultados obtidos demonstram o efeito positivo da redução da disponibilidade da água sobre os valores econômicos do recurso em todos os perímetros, obtendo dessa forma, curvas de demanda negativamente inclinadas. Além disso, foi possível verificar variações negativas nos valores econômicos estimados em relação ao valor da elasticidade de oferta das culturas indicada. Esses resultados podem auxiliar futuros modelos hidroeconômicos a serem aplicados na região.

Palavras-chave: Demanda de água; Programação Matemática Positiva; Perímetros Irrigados;

IRRIGATION'S WATER DEMAND IN THE SÃO FRANCISCO'S LOWER BASIN RIVER

ABSTRACT

This study aimed to estimate the water's demand curves for irrigation in the Lower Basin of the São Francisco River's irrigated perimeters. The methodology applied was the positive mathematical programming, which was a model in three stages to obtain the water's economic values to availability scenarios of this resource (100% to 60%). With the estimated water's economic values, it was possible draw the water's demand curves for irrigation and the scarcity's costs of the resource in the public irrigated areas. Furthermore, several scenarios of crop's elasticity supply (0.2 to 2.0) had been proposed with the perimeter in order to verify their impacts on the water's demand for irrigation and in the scarcity's estimated costs. The results showed the positive effects of reduced water availability on the economic values in all perimeters, obtained thus a downward sloping demand curves. In addition, we observed negative changes in the estimated economic value relative to the value of crop's supply elasticity indicated. These results may help futures hydroeconomic models in the region.

Keywords: Water demand; Positive Mathematical Programming; Irrigated area;

INTRODUÇÃO

Um das dificuldades da gestão dos recursos hídricos está na identificação do comportamento do consumidor da água. Como o usuário irá se comportar em cenários de redução na disponibilidade do recurso? Quanto de benefício deixará de ser gerado devido a essa redução, ou seja, qual o custo derivado da escassez desse recurso? Essas são algumas das perguntas que a modelagem da demanda tentará responder. Segundo Griffin (2006), a curva de demanda de água é uma tentativa de modelar o comportamento do usuário da água para diversos possíveis cenários de disponibilidade e preço, sendo essencial para a análise econômica e elemento chave para os modelos hidroeconômicos.

A região do submédio do São Francisco foi escolhida devido a sua importância para o desenvolvimento do Nordeste e pelo destaque que a água possui como fator para este desenvolvimento. Além disso, essa região vem ao longo dos anos sofrendo com reduções nos volumes de água disponíveis, por questões climáticas e pela sua utilização de forma ineficiente, fatores esses que devem ser agravados pelo processo de transposição do rio São Francisco e pela expansão da área irrigada na região.

Diante do exposto, esse artigo objetiva estima curvas de demanda da água irrigada dos perímetros públicos do submédio do rio São Francisco usando o método de Programação Matemática Positiva (Howitt, 1995). Desta forma, poderá ser obtida uma relação entre o valor econômico, também identificado como a disponibilidade a pagar do usuário, e a quantidade disponível de recursos hídricos para a produção irrigada (*water demand*) dos perímetros irrigados pertencentes à região, para diversos cenários de escassez do recurso a partir do uso do software GAMS (General Algebraic Modeling System).

MATERIAIS E MÉTODOS.

2.1. Método.

O PMP é um procedimento de auto calibração, em três estágios, desenvolvido por Howitt (1995). O primeiro estágio consiste em um modelo de programação linear definido como

$$\text{Max} \prod_{x_{gi,l} \geq 0} \sum_g \sum_i \left(v_{gi} yld_{gi} - \sum_j \omega_{gji} a_{gji} \right) x_{gi,terra} \quad (1)$$

$$\sum_i a_{gij} x_{gi,terra} \leq b_{gj} \quad \forall g, j \quad (2)$$

$$x_{gi,terra} \leq x_{gi,terra} + \varepsilon \quad (3)$$

Onde (1) é a função objetivo e $x_{gi,terra}$ (hectares plantados por região g e cultura i) as variáveis de decisão. A receita marginal é dada por v_{gi} e a produtividade média e custos variáveis médios por yld_{gi} e ω_{gji} . Os parâmetros a_{gji} são definidos pela razão do total de insumos normalizados pela área plantada. A restrição dos recursos é dada pelas equações (2) e o conjunto (3) representa os limites da calibração onde $x_{gi,terra}$ é quantidade de área plantada atualmente observada, e ε é um erro de tolerância.

O segundo estágio consiste na calibração de uma função custo quadrática e de uma função de produção com elasticidade constante conforme descrita abaixo:

$$TC_{gi}(x_{gi,terra}) = \alpha_{gi}x_{gi,terra} + \frac{1}{2}\gamma_{gi}x_{gi,terra}^2 \quad (4)$$

$$Y_{gi} = \tau_{gi} \left[\sum_j \beta_{gij} X_{gij} \right]^{\frac{v}{\rho}} \quad (5)$$

Y_{gi} é o produto da cultura i na região g, τ_{gi} o parâmetro de escala da função de produção CES e os parâmetros de participação de um dado recurso j são dados por β_{gij} . A elasticidade de substituição é $\sigma = \frac{1}{(1-\rho)}$ e α_{gi} e γ_{gi} são os interceptos e a inclinação da função custo marginal linear da cultura i da região irrigada g.

Por fim, o terceiro estágio consiste em resolver um programa de maximização não linear com restrição. A função objetivo pode ser escrita de forma que:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{x \geq 0} \prod_g & \sum_i \sum_j v_{gj} Y_{gi} \\ & - \sum_g \sum_i \left(\alpha_{gi} x_{gi,terra} + \frac{1}{2} \gamma_{gi} x_{gi,terra}^2 \right) \\ & - \sum_g \sum_i \sum_{j \neq terra} (\omega_{gji} x_{gij}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_i a_{gij} x_{gi,terra} \leq b_{gj} \quad \forall g, j \quad (7)$$

$$\sum_i x_{gi,água} \leq \text{Avail. } b_{água,g} \quad \forall g \quad (8)$$

Onde Y_{gi} é definida pela função de produção e os parâmetros τ_{gi} e β_{gij} da equação (5). O segundo termo é a função custo quadrática calibrada (eq.4). O conjunto de restrições (eq. 7) é o mesmo utilizado no problema de maximização linear (eq. 2). Não são utilizadas mais as restrições de calibração do modelo linear (eq. 3). Adiciona-se um novo conjunto de restrições. Exclusivo para o uso da água anual (ver eq. 8).

2.2. Calibração.

Os procedimentos utilizados para a calibração do problema PMP foram os utilizados em Howitt et al (2012), para a calibração da função CES, e para a calibração da função custo quadrática, dos trabalhos de Medellín-Azuarra et al (2009) e Maneta et al (2009a). A elasticidade de substituição adotada foi 0.4, valor derivado do trabalho Maneta et al (2009a) e Torres et al (2012) e para a elasticidade de oferta¹ das culturas foram utilizados os valores de 0.2 até 2.0 para todas as culturas observadas.

2.3. Dados.

No total, foram observadas onze (11) culturas (Banana, Cana, Cebola, Coco, Goiaba, Manga, Maracujá, Melancia, Melão, Uva, Tomate) para quinze (12) regiões irrigadas (Nilo Coelho, Bebedouro, Salitre, Manicoba, Tourão, Curaçá, Icó-Mandantes, Apolônio Sales, Barreiras, Caraíbas, Brígida e Pedra Branca) e quatro (4) insumos (Terra, Água, Trabalho e Suprimentos).

Os valores necessários foram obtidos a partir dos dados municipais do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2002-2012), do Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades

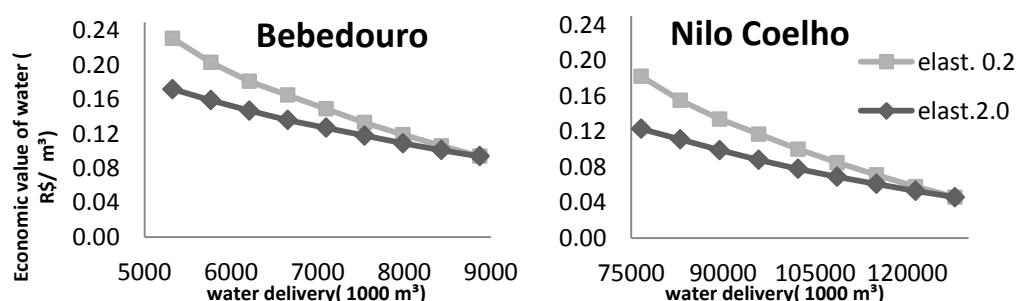
¹ A elasticidade de oferta da cultura é definida pela variação percentual na demanda da cultura determinada pela variação percentual no preço dessa cultura. No modelo, essas elasticidades irão impactar no custo do recurso terra, ou seja, quanto maior a elásticidade da oferta, mais os produtores desejarão ofertar o produto e consequentemente demandarão mais terras, aumentando o custo do fator (para cada elasticidade ter-se-á uma função custo quadrática calibrada com valores diferentes de α e γ)

Industriais e Agricultura Irrigada nº 6 (FUNARBE, 2011) e o Relatório de Gestão da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2006)

RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção que vão compor uma curva de demanda por água correspondem aos valores sombra da restrição anual de disponibilidade de água expressa através da eq. 8, usando diferentes percentuais de disponibilidades de 100 até 60% do volume atual observado, usando para isso o parâmetro *Avail*. Isto foi feito em intervalos de 5% e para elasticidades de oferta entre 0.2 a 2 (valores observados dada a inexistência de dados para a região) das culturas propostas. O valor limite de 60% foi indicado devido variação na disponibilidade hídrica na região nos últimos anos e da perspectiva de mudança a partir da transposição (ANA, 2013).

Em termos de custo de escassez, calculada a partir da área formada abaixo da curva de demanda, observou-se que, para esses perímetros, quanto maiores às elasticidades de oferta das culturas menor é o custo de escassez decorrente da redução na disponibilidade de água para as regiões irrigadas. Para o perímetro de Bebedouro, o custo de escassez para uma elasticidade de oferta de 0.2 foi de 576,87 mil reais, enquanto que, para uma elasticidade de oferta igual a 2.0, esse custo foi reduzido para 472,15 mil reais. Para o perímetro Nilo Coelho, o custo de escassez na menor elasticidade observada foi de 5826,33 mil reais, enquanto que, com o aumento da elasticidade de oferta para 2, esse valor diminuiu para 4318,64 mil reais

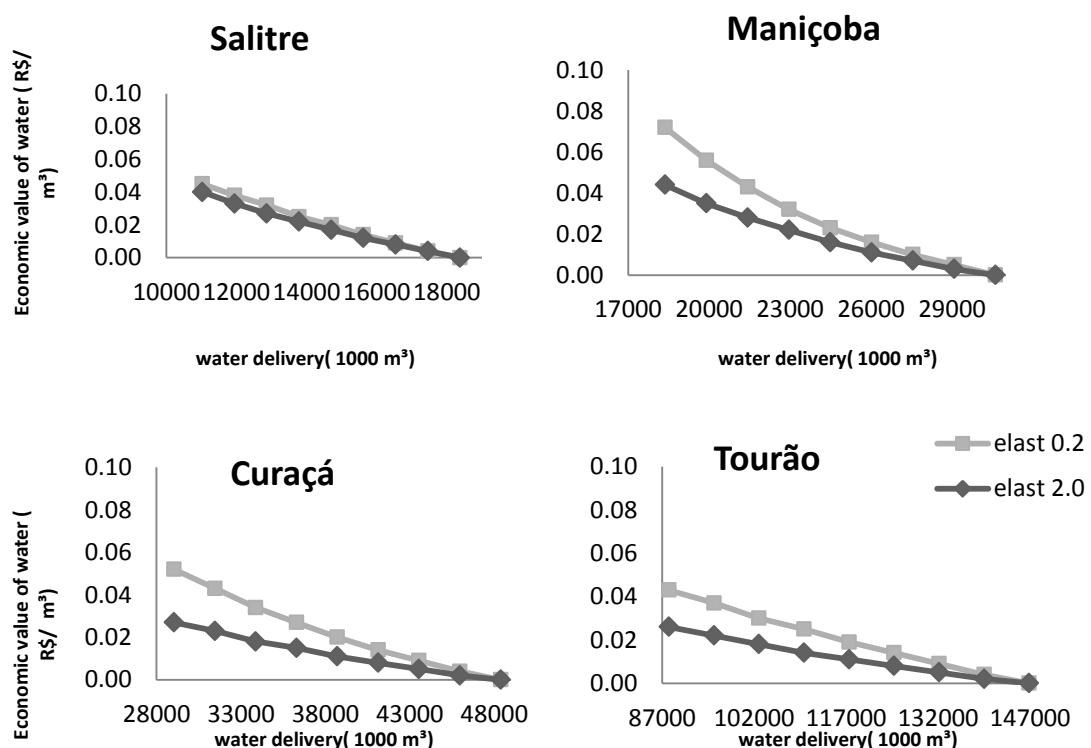


*Figura obtida a partir dos resultados do modelo aplicado no GAMSTTM.

Figura 1– Demanda de água para irrigação dos perímetros Bebedouro e Nilo Coelho para elasticidade de oferta das culturas igual a 0.2 e 2.0.

Para os perímetros de Salitre, Manicoba, Curaçá e Tourão, os efeitos também foram similares, mas em magnitudes diferentes. Em termos de custo da escassez, o perímetro

Salitre apresentou variações de 147 mil reais para alta elasticidade de oferta (2.0) até 165,40 mil reais para baixa elasticidade (0.2). Para o perímetro de Manicoba, os resultados dos custos de escassez foram de 269,17 mil reais, na elasticidade igual a 2, até 440,79 mil reais na elasticidade 0.2. Curaçá apresentou variações nesses custos de 261,26 mil reais (elasticidade igual a 2) até 503,16 mil reais para a mais baixa elasticidade analisada. Por fim, para o perímetro de Tourão, os custos decorrentes da escassez foram de 763,60 mil reais (para elasticidade igual a 2) a 1.262,86 mil reais para elasticidade 0.2.



*Figura obtida a partir dos resultados do modelo aplicado no GAMS™.

Figura 2 – Demanda de água para irrigação dos perímetros Salitre, Tourão, Manicoba e Curaçá para elasticidade de oferta das culturas igual a 0.2 e 2.0.

Para os perímetros de Barreiras, Apolônio Sales e Icó-Mandantes, os custos da escassez para esses perímetros, considerando a elasticidade de oferta igual a 2, foram, respectivamente, 14,10, 49,70 e 203,98 mil reais. Enquanto que, para uma elasticidade de oferta baixa (0.2) esses resultados vão para 27,03, 95,25 e 390,95 mil reais respectivamente. Como se pode observar, os custos de escassez nestes perímetros aproximadamente dobraram com a redução da elasticidade de oferta das culturas.

Por fim, foram verificadas as demandas obtidas para os perímetros de Pedra Branca, Brígida e Caraíbas. Para o perímetro Brígida, os valores do custo da escassez para uma elasticidade de oferta alta (2.0) foi de aproximadamente 957,02 mil reais. Para uma elasticidade baixa (0.2), esse valor vai para 980,74 mil reais, ou seja, um aumento de apenas 2,5% entre os custos de escassez. Essa pequena diferença no custo também é observada para o perímetro Caraíbas, que apresenta resultados de 3.186, 96 mil reais para elasticidades igual a 2 e 3.216,60 mil reais para uma elasticidade de oferta igual a 0.2 (diferença de aproximadamente 1%). Para a região de Pedra Branca, os custos de escassez para alta e baixa elasticidade variaram de 402,99 para 747,58 mil reais, uma variação de 86% nesse custo.

Esses resultados demonstram o impacto de diferentes valores de elasticidade de oferta das culturas na curva de demanda de água obtida para cada perímetro. O impacto do referido parâmetro altera os valores do custo de escassez, ou seja, os valores de redução do benefício em cada perímetro, diante de reduções na disponibilidade de água de 100 para 60% das diferentes regiões irrigadas. Pode-se ver que para alguns perímetros, como por exemplo, Caraíbas e Brígida, estes valores praticamente não se alteram, enquanto que para outros há diferenças significativas nos custos previstos devido a alterações neste parâmetro (Pedra Branca, Nilo Coelho, Bebedouro, entre outros). Análise de sensibilidade dos resultados diante de parâmetros utilizados na modelagem é fundamental para uma correta aplicação dos resultados aqui obtidos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.

Este trabalho teve como objetivo a identificação de curvas de demandas por água para a irrigação dos perímetros irrigados públicos localizados no submédio do rio São Francisco. Os resultados obtidos demonstram que a redução da quantidade de água disponível na região irá impactar na sua renda gerada, indicando elevados custos de escassez. Por fim, verificou-se o efeito da elasticidade de oferta das culturas na disponibilidade a pagar, onde quanto menor a elasticidade, maior o custo da escassez decorrentes da redução na quantidade de recursos hídricos na região. Para análise dos métodos de estimação da elasticidade de oferta ver McFadden (1978) e Fuss et. al (1978)

REFERÊNCIAS

ANA. Relatório final do Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento

Integrado da Bacia do Rio São Francisco e de sua Zona Costeira (PAE). Agência Nacional de Águas. 2004.

CODEVASF. Relatório de Gestão. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. 2006.

FUSS, M; MCFFADEN, D; MUNDLAK, Y. "A Survey of Functions Forms in the Economics Analysis of Production" em Fuss e Mcffaden, production economics: A Dual Approach to Theory and Applications, North-Holland, 1978

GRIFFIN, R.C.. Water Resource Economics, the Analysis of Scarcity, Policies and Projects. Cambridge: MIT Press. 2006.

HOWITT, R.E. Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics.77 (2) 329-342. 1995.

HOWITT, R; MEDELLÍN-AZUARA, J; MACEWAN, D. LUND, J.R. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Environmental Modelling & Software 38; 244 – 258, 2012.

IBGE, Censo Agropecuário 2006. IBGE: Rio de Janeiro, 2009.

MANETA, M., TORRES, M. DE O. WALLENDER, W; HOWITT; R, VOSTI, S; RODRIGUES, L; BASSOI, L.'A spatially distributed hydro-economic model to assess the effects of drought on land use, farm profits, and agricultural employment', Water Resources Research 45, 2009.

MCFADDEN, D. "Cost, Revenue and Profit Functions" em Fuss e Mcffaden, production economics: A Dual Approach to Theory and Applications, North-Holland, 1978

MEDELLIN-AZUARA, J., HOWITT, R.E., WALLER-BARRERA, C., MENDOZA-ESPINOSA, L.G., LUND, J.R., TAYLOR, J.E., 2009. A Calibrated Agricultural Water Demand Model for Three Regions in Northern Baja California. Agrociência 43, 83 – 96. 2009.

TORRES M.O; MANETA, M. HOWITT, R. VOSTI, S.A; WALLENDER W.W; BASSOI, L.H. RODRIGUES, L.N. Economic impacts of regional water scarcity in the São Francisco River Basin, Brazil: an application of a linked hydro-economic model. Environment and Development Economics 17: 227–248, 2011.

TSUR, Y; ROE DINAR, T. A. DOUKKALI. M. Pricing Irrigation Water: Principles and Cases from Developing Countries, Resources for the Future. Washington, D.C. p.319. 2004.

