



SOBER

XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural



**PRECIFICAÇÃO DA ÁGUA EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO: UMA
APLICAÇÃO DO MÉTODO PARAMÉTRICO DE ESTIMAÇÃO DE UMA
FUNÇÃO INSUMO-DISTÂNCIA**

**MOISÉS DE ANDRADE RESENDE FILHO; FELIPE AUGUSTO DE ARAÚJO;
EMANOEL DE SOUZA BARROS; ALEXANDRE STAMFORD DA SILVA;**

UFPE

RECIFE - PE - BRASIL

moises.resende@ufjf.edu.br

APRESENTAÇÃO ORAL

Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável

**Preço Sombra da Água em Projetos de Irrigação: Uma Aplicação do Método
Paramétrico de Estimação de uma Função Insumo-Distância**

Grupo de Pesquisa: Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável

Resumo

O aumento da pressão sobre os recursos hídricos tem levado muitos países a reconsiderarem os mecanismos utilizados na indução do uso eficiente da água. Isso é especialmente verdade para a agricultura irrigada, uma das principais consumidoras de água. Estabelecer o preço correto da água é um dos mecanismos de tornar mais eficiente a alocação da água. Contudo, precificar a água ainda é uma tarefa polêmica. Assim, o presente estudo aplica o método paramétrico de estimação de uma função insumo-distância na obtenção do preço-sombra ou disposição da firma a pagar por uma unidade adicional de água. São utilizados dados sobre a produção, área irrigada, utilização de insumos diversos, mão-de-obra, capital e volume de água obtidos de 41 unidades produtivas localizadas nos projetos de irrigação pública localizados no Submédio São Francisco. Apresenta-se as estimativas dos preços-sombra e argumenta-se que o preço-sombra da água serviria como um proxy do preço a ser cobrado por metro cúbico de água em caso de expansão da oferta de água. Os resultados obtidos se mostraram coerentes quando comparados aos preços de mercado, o que sugere o potencial em se utilizar o método no processo de precificação da água para irrigação.

Palavras-chaves: Disposição a pagar pela água, precificação da água, programação linear.

**SOBER**XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural

Abstract

Countries have reconsidered various mechanisms to improve water use efficiency as a consequence of increasing economic pressures on water resources. This is especially true for irrigated agriculture that is a major consumer of water worldwide. Getting prices right is one way to allocate water, but how to accomplish this is still a polemic issue. Assuming producers implicitly face a water constraint, we estimate a Translog input-distance function to obtain water shadow-prices. The water shadow-price is viewed as the value a producer would be willing to pay so to obtain an additional unit of water. We use data regarding total production value, irrigated area, labor, capital, water and other inputs taken from 41 producers located in the sub medium São Francisco River, Brazil. We present water shadow-price estimates and argue that these values can be used as a proxy for the price by which each individual producer might be charged in case of an expansion in the water supply. In general, we found input shadow-price estimates coherent with their market prices. Therefore, it seems that the estimation of input shadow prices via a Translog input-distance function approach has potential to be used as an additional tool to support water pricing.

Key Words: Willingness to pay for water, water pricing, linear programming.

1. Introdução

A quantidade de recursos hídricos renováveis disponíveis no planeta Terra é finita. Calcula-se que seja da ordem de 47.000 km³/ano, dos quais 41.000 km³ seriam economicamente exploráveis (JOHANSSON, 2000). No longo prazo, a quantidade de água bruta disponível para cada país é praticamente constante o que aliado ao crescimento mundial da população faz com que a estimativa da disponibilidade de água em 2050 seja de 4.380 m³ por pessoa por ano (JOHANSSON et al., 2002). Embora esse dado não sugira a escassez de água por pessoa, ocorre que a distribuição geográfica extremamente desigual dos recursos hídricos pode fazer com que cerca de três bilhões de pessoas estejam vivendo em países com sérios problemas de disponibilidade hídrica em 2025 (JOHANSSON, 2000).

A potencial escassez de recursos hídricos no futuro gera hoje a necessidade de se estudar mecanismos que induzam a alocação eficiente dos recursos existentes. Nesse tocante, a cobrança pelo uso da água é um importante mecanismo para aumentar a eficiência na alocação da água, encorajando inclusive a sua conservação. Dentro dessa ótica, o Banco Mundial instituiu em 1993 com a resolução *Water Resource Policy* que empréstimos para o financiamento de projetos de investimento envolvendo recursos hídricos incluíssem obrigatoriamente um componente exigindo a implementação de algum tipo de esquema de precificação da água (JOHANSSON, 2000).

A experiência internacional mostra que a cobrança pelo uso da água racionaliza o seu uso, aumenta a sua produtividade e eficiência, redistribui custos sociais, disciplina a localização dos usuários, promove o desenvolvimento regional integrado em suas dimensões social e ambiental, além de servir na melhoria da qualidade dos efluentes lançados nos mananciais (CARRAMASCHI et al., 2000).

**SOBER**XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural

Estima-se que a agricultura irrigada consuma entre 75% e 90% de toda a água consumida em países em desenvolvimento e contribua com 38% dos alimentos produzidos no mundo (WORLD BANK, 2001). Note-se que existe uma diferença entre o conceito de utilização e o conceito de consumo de água. O primeiro conceito contabiliza simplesmente a quantidade utilizada de água, por exemplo, para gerar energia em uma usina hidrelétrica ou irrigar uma determinada plantação. Já o segundo conceito, leva em consideração a quantidade de água efetivamente consumida, ou seja, a quantidade de água utilizada menos o montante reaproveitado. Daí o elevado consumo da agricultura irrigada, uma vez que o montante de água reaproveitado após a irrigação é praticamente nulo.

O total de áreas destinadas à agricultura irrigada no mundo cresceu a taxas de aproximadamente 2,4% ao ano na década de 1970 e à 14% ao ano nas décadas de 1980 e 1990. A taxa projetada para as próximas 3 a 4 décadas é de 1% por ano para os próximos 34 anos (FAO, 2000). Sendo assim, a agricultura irrigada continuará exercendo o papel de grande demandante de recursos hídricos por longo tempo. Principalmente, no atual cenário mundial em que há crescimento populacional e aumento da renda per capita, com conseqüente aumento da demanda por alimentos.

O presente artigo discute algumas questões relacionadas à cobrança pelo uso da água em projetos de irrigação e apresenta uma aplicação de um método passível de ser utilizado na determinação da disposição a pagar por unidades adicionais de água para cada produtor em um dado projeto de irrigação. Nesse sentido, o método visa extrair uma informação privada do produtor que serviria como uma proxy do preço a ser cobrado por unidades adicionais de água para cada produtor. Sendo assim, poderia servir para se estimar a receita potencial que o fornecedor de água poderia ter caso expandisse o suprimento da mesma, servindo assim como um indicador na avaliação de políticas públicas relacionadas à expansão da capacidade de fornecimento de água para irrigação. Nesse tocante, os poucos estudos econômicos disponíveis limitam-se em determinar a tarifa que permite cobrir os custos de operação e manutenção de sistemas de suprimento de água destinada à irrigação (LANNA, 1995). O preço eficiente refletindo escassez não em sido considerado.

O artigo primeiramente discute as principais questões e métodos de cobrança pelo uso da água, apresenta o modelo conceitual, o método e a base de dados utilizada, finalmente apresenta as estimativa da função insumo distância e os preços sobra dos insumos de produção, inclusive a água.

2. Precificação da Água para Irrigação

Diferentemente do que acontece com a maioria dos bens, mercados para água ou não existem ou são altamente imperfeitos na maior parte do mundo. Assim, a determinação do valor relativo da água em diferentes usos é complicada, apesar de existirem inúmeros métodos para esse fim. Esses métodos são fundamentados na estimação de curvas de demanda e integração da área sob as mesmas; na estimação de funções de produção e subsequente simulação das perdas em produção devido a utilização de uma menor quantidade de água; na estimação dos custos de provisão de água se uma fonte pré-existente não estivesse disponível; e na utilização de métodos



SOBER

XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural



estruturados de avaliação contingente (BRISCOE, 1996; CARRAMASCHI et al., 2000). As estimativas obtidas com a utilização de tais métodos podem não ser muito úteis devido a sua falta de precisão. Isso é verdade especialmente porque o valor da água varia muito dependendo do seu uso, da renda e característica do usuário, e de fatores que afetam a disponibilidade e confiabilidade do suprimento de água. Mesmo assim, tais estimativas geram direcionamentos para propostas de políticas públicas.

Um exame dos valores obtidos em diversos estudos visando a estimação do valor da água permite se chegar a resultados bem consistentes para países em desenvolvimento e desenvolvidos. Em geral, (a) o valor da água é baixo quando utilizada na produção de energia ou na agricultura irrigada para produção de grãos para alimentação humana; (b) o valor da água é significativamente maior quando a mesma é para o uso em residências, uso industrial e para a agricultura irrigada visando a produção de frutas e vegetais; e (c) valores para o uso ambiental ficam em algo entre os valores obtidos em (a) e (b) (BRISCOE, 1996).

A precificação da água parte da premissa de que o preço funciona como um sinal, indicando aos seus usuários o seu valor econômico, levando-os a racionalizar o seu consumo. Contudo, ainda não é claro qual seria o preço certo ou como a precificação da água deve ser implementada (TSUR, 2005).

As políticas de gerenciamento do uso da água atualmente adotadas dão prioridade aos custos de suprimento e ao consumo global de água nos projetos. Assim, como a orientação é voltada para o lado da oferta, normalmente não são utilizados modelos para a demanda de água capazes de captar os anseios dos usuários. Nesse tocante, estudos sobre a demanda de água gerariam informações sobre as quantidades e preços que os produtores estariam dispostos a pagar pela água, preços esses que poderiam ser bem diferentes daqueles que possibilitariam a recuperação dos custos de suprimento (PINHEIRO e SHIROTA, 2000).

O presente artigo visa apresentar e aplicar o método de estimação de uma função insumo distância paramétrica para se obter os preços-sombra da água. Essa informação pode servir como um guia para a precificação de unidades adicionais de água em um projeto de irrigação. A seguir, apresenta-se o modelo conceitual e o método em si.

3. Metodologia

Assuma que cada produtor i , com $i = 1, \dots, I$, produza em sua propriedade até M produtos, utilizando N insumos. A produção do produto m requer o vetor $\mathbf{x}_m' = (x_{m1} \ x_{m2} \ \dots \ x_{mn})$ de insumos (i.e. água, terra, mão-de-obra familiar, fertilizantes, pesticidas, máquinas hora), com $m=1, \dots, M$ e $n=1, \dots, N$. Por diversas razões, os insumos estão disponíveis em quantidades limitadas dadas pelo vetor $\bar{\mathbf{x}}' = (\bar{x}_1 \ \bar{x}_2 \ \dots \ \bar{x}_n)$, onde \bar{x}_n representa a quantidade máxima disponível do insumo n . Cada produto é produzido segundo a função de produção $f_m(\mathbf{x}_m)$. A decisão de um produtor tomador de preços, com respeito a quantidade a utilizar de cada insumo n , é a solução do problema de maximização do lucro dado por:



$$\pi_i(\bar{\mathbf{x}}, \mathbf{p}, \mathbf{w}) = \max_{\{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_M\}} \sum_{m=1}^M (p_m f_m(\mathbf{x}_m) - \mathbf{w}' \mathbf{x}_m) \quad (1a)$$

sujeito a:

$$\sum_{m=1}^M \mathbf{x}_m \leq \bar{\mathbf{x}} \quad (1b)$$

onde: $\mathbf{p} \in R_{++}^M$ é o vetor preços dos produtos e $\mathbf{w} \in R_{++}^N$ é o vetor preços dos insumos.

Note-se que o programa (1) possui N restrições e para cada uma delas há um multiplicador de Lagrange associado. Assim sendo, o valor do multiplicador de Lagrange em uma solução do programa (1) informa sobre a disposição a pagar do produtor i pelo insumo restrito, ou seja, informa o preço-sombra do insumo limitante. Dessa forma, se fosse possível especificar a função lucro para cada produtor e explicitamente impor as restrições quanto a disponibilidade máxima de cada insumo, seria possível encontrar a disposição a pagar por cada unidade adicional de cada insumo para cada produtor. Um procedimento nesses moldes foi pioneiramente empregado por Pittman (1983) no caso da estimação de preços sombra de produtos indesejados ou poluentes, resultantes de processos produtivos.

O programa (1) poderia ser rodado para cada produtor e para cada possível nível de restrição de água de modo a se obter o preço sombra da água para cada um deles e para cada produtor. Com essa informação em mãos seria agregar os valores obtidos de modo a se obter a demanda inversa derivada por água (TSUR, 2005). Contudo, tal procedimento requereria informações sobre a real restrição na utilização de água para cada produtor.

O método a ser utilizado no presente trabalho permite o cálculo dos preços sombra dos insumos de produção para cada produtor considerando como dado a atual composição de insumos e produtos, sem a necessidade do conhecimento dos limites máximos de uso de cada insumo. Assim, esse método elimina a necessidade de se conseguir informações sobre a real restrição na utilização de cada insumo de produção para cada produtor.

3.1. A Função Insumo-Distância

Sabe-se que cada produtor i utiliza um vetor insumo \mathbf{x} para produzir um vetor produto \mathbf{y} , segundo uma tecnologia T representada pela correspondência $T: R_+^M \times R_+^N \rightarrow R_+^{M+N}$. Assim sendo, a tecnologia caracteriza-se por todo par de vetores (\mathbf{x}, \mathbf{y}) tal que \mathbf{x} possa produzir \mathbf{y} . Diante disso, o conjunto requerimento dos fatores de produção é definido como $X(\mathbf{y}) = \{\mathbf{x} \in R_+^N : (\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T\}$ e é composto por todo vetor \mathbf{x} capaz de produzir \mathbf{y} . Definido isso, uma função insumo-distância (*input distance function*) é definida como:

$$D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \inf_{\theta} \{ \theta \mathbf{x} \in X(\mathbf{y}) \} \quad \text{para todo } \mathbf{y} \in R_+^M \quad (2)$$

onde $\theta \geq 1$, uma vez que $\mathbf{x} \in X(\mathbf{y})$ se e somente se $D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq 1$.



O operador supremum (sup) é utilizado uma vez que o valor da função insumo-distância tende a infinito para qualquer vetor insumo $\mathbf{x} \in R_+^N$, quando o vetor produto \mathbf{y} é nulo. Isso porque será necessário nada para se produzir nada, o que permite que qualquer vetor insumo \mathbf{x} possa ser reduzido ao vetor nulo via contração infinita (HAILU e VEEMAN, 2000). Contudo, se a unidade produtiva produz pelo menos um produto em quantidade positiva, $D_I(\cdot)$ assume um valor real finito.

Note-se que o valor da função insumo-distância serve com uma medida de eficiência da unidade produtiva e mede a contração radial máxima que um dado vetor insumo pode sofrer de modo que o vetor insumo resultante ainda seja capaz de produzir \mathbf{y} . Assim, a função insumo-distância presume a possibilidade de livre descarte fraco dos insumos¹, ou seja, uma empresa tecnicamente ineficiente poderia permanecer produzindo a mesma quantidade de produto, utilizando $(1/\theta)$ do vetor insumo inicialmente utilizado.

Sendo os produtores tomadores de preço, a função custo é definida como a solução para o seguinte problema condicionado:

$$C(\mathbf{y}, \mathbf{w}) = \min_{\mathbf{x}} (\mathbf{w}\mathbf{x} : \mathbf{x} \in X(\mathbf{y})) \quad (3)$$

Färe e Primont (1995, p.44-47) mostram que, se a tecnologia T possui um conjunto requerimento dos fatores de produção $X(\mathbf{y})$ não vazio, compacto e convexo para todo $\mathbf{y} \in R_+^M$, então existe uma relação de dualidade entre a função insumo-distância e a função custo, de tal maneira que uma pode ser representada em função da outra como:

$$C(\mathbf{y}, \mathbf{w}) = \min_{\mathbf{x}} \{ \mathbf{w}\mathbf{x} : D_I(\mathbf{y}, \mathbf{x}) \geq 1 \}, \mathbf{w} \in R_{++}^N, \quad (4a)$$

se somente se

$$D_I(\mathbf{y}, \mathbf{p}\mathbf{x}) = \inf_{\mathbf{p}} \{ \mathbf{w} : C(\mathbf{y}, \mathbf{w}) \geq 1 \}, \mathbf{p} \in R_+^N \quad (4b)$$

onde: \mathbf{p} são os preços normalizados pelo custo de produção (FÄRE e PRIMONT, 1995).

Para que seja possível fazer uso da relação de dualidade dada por (4) é necessário que as funções custo e a função insumo-distância sejam diferenciáveis. Utilizando-se a relação de dualidade apresentada em (4), aplicando-se o lema de Shephard, ou mais genericamente, o teorema do envelope (VARIAN, 1992: p.502) chega-se, após alguma manipulação algébrica, ao resultado que permite obter os preços sombras dos insumos com base na função insumo-distância (vide detalhes em FÄRE e PRIMONT, 1995, P. 54-59).

$$\frac{w_{n,i}}{w_{n',i}} = \frac{\partial D_I(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) / \partial x_{n,i}}{\partial D_I(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) / \partial x_{n',i}} \quad (5)$$

onde $w_{n,i}$ e $w_{n',i}$ representam respectivamente o preço-sombra absoluto do insumo n e n' para o produtor i e $\partial D_I(\mathbf{y}, \mathbf{x}) / \partial x_{n,i}$ é a derivada parcial da função insumo-distância com respeito ao insumo n , utilizando-se os dados observados para o produtor i .

¹ Se $\mathbf{x} \in X(\mathbf{y})$ então $\mathbf{x}/\theta \in X(\mathbf{y})$ para todo $\theta \in (0,1]$ (FÄRE e PRIMONT, 1995).



Assumindo que o preço-sombra absoluto do insumo n iguala-se ao seu preço de mercado para todo produtor i , torna-se possível recuperar os preços sombras normalizados ou preços sombras dos demais insumos utilizados pelas firmas segundo a seguinte equação:

$$w_{n',i} = w_{n,i} \frac{\partial D_i(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) / \partial x_{n,i}}{\partial D_i(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) / \partial x_{n',i}} \quad (6)$$

Note-se que o preço-sombra no caso do problema de minimização do custo de produção representa o quanto o custo total da empresa seria reduzido caso mais do insumo em questão estivesse disponível. Esse efeito será por conta da possibilidade de substituição entre insumos, com a empresa permanecendo a produzir as mesmas quantidades dos produtos, o que mantém a mesma receita total. Daí os preços-sombra obtidos no contexto de minimização do custo são equivalente àquele obtido no contexto da maximização do lucro (vide programa (1)), admitindo-se que a flexibilização de qualquer restrição de quantidade não fará a empresa alterar o seu atual nível de produção mas apenas a combinação dos insumos.

3.2. Dados

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes da pesquisa “Investimentos Públicos e Privados em Agricultura Irrigada e Seus Determinantes sobre o Emprego e a Renda” (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE, 1999), a qual abrangeu observações de colonos, empresas agrícolas e empresas agro-industriais da região do Vale do São Francisco.

A amostra utilizada de 41 produtores inclui propriedades localizadas no Submédio São Francisco especificamente nos perímetros Nilo Coelho, Maniçoba, Curaçá, e Bebedouro e fora desses perímetros. Os dados resultado de pesquisa de campo formam uma seção-cruzada, e referem-se apenas ao ano agrícola de 1998.

Foram compilados os dados para as seguintes variáveis: valor da produção total em R\$, área total irrigada (em hectares), valor do gasto com os insumos diversos em R\$ (i.e. sementes e mudas, adubos, defensivos, herbicida e energia), volume em m^3 de água utilizada por propriedade por ano, capital em R\$ calculado como sendo o valor presente da terra, benfeitorias e maquinaria, descontando-se a depreciação quando pertinente, número de horas de mão-de-obra utilizada, o que considera mão-de-obra contratada, própria e familiar.

Tabela 1. Descrição da Amostra de Dados para os 41 Produtores

Variável	Descrição	Unidades	Média	Desvio Padrão
y	Valor da produção	R\$	105.065,46	150.144,09
x ₁	Área irrigada	Hectare	5,4	1,53
x ₂	Insumos diversos	R\$	3.046,9	2.764,93
x ₃	Volume de Água	m ³	130.022,5	537.698,43
x ₄	Capital	R\$	7.705,2	9.914,78
x ₅	Mão-de-obra	horas	506,1	455,88

Fonte: Dados da pesquisa.



3.3. Especificação Paramétrica da Função Insumo-Distância e Procedimentos para sua Estimação

Dada as características do método proposto até então, a *função insumo-distância* deverá ser diferenciável em todo o seu domínio. Uma função que atende a esse pré-requisito e adicionalmente apresenta flexibilidade em permitir uma grande variedade de substituição entre insumos e padrões de transformação é a função Translog (CHRISTENSE et al., 1973).

A parametrização da função insumo-distância com a utilização da função Translog tem sido adotada em trabalhos prévios em diferentes contextos. Färe et al. (1993), Coggins e Swinton (1996), e Hailu e Veeman (2000) utilizaram a função insumo-distância parametrizada com uma função Translog no cálculo de preços sombra para produtos indesejáveis do ponto de vista ambiental. Já Picazo-Tadeo e Reig-Martínez (2005) empregaram esse mesmo procedimento no cálculo do preço-sombra da mão-de-obra familiar em propriedades citrícolas da Espanha, no intuito de investigar a eficiência da agricultura familiar e especular sobre o valor da mão-de-obra familiar vis-à-vis a mão de obra contratada. No presente artigo, esse mesmo método é aplicado na verificação da eficiência dos produtores amostrados e na quantificação da disposição a pagar por unidades adicionais de água desses mesmos produtores.

Uma função insumo-distância definida como uma função Translog é representada pela equação (7).

$$\ln D_I(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) = \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln y_{m,i} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \alpha_{m,m'} \ln y_{m,i} \ln y_{m',i} + \sum_{n=1}^N \beta_n \ln x_{n,i} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{n'=1}^N \beta_{n,n'} \ln x_{n,i} \ln x_{n',i} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta_{n,m} \ln x_{n,i} \ln y_{m,i} \quad (7)$$

A estimação dos parâmetros da função insumo-distância (7) é realizada por um método de programação linear, também conhecido como *goal programming*. Esse procedimento é adotado em virtude da sua flexibilidade em permitir a imposição de restrições ao problema em estudo. Esse método foi pioneiramente desenvolvido e aplicado por Aigner e Chu (1968) em um contexto de estimação de fronteiras de produção. Tal procedimento visa estimar os parâmetros da função insumo-distância Translog, de modo a minimizar a soma dos desvios dos valores logaritmizados da função insumo-distância com relação ao ln1, que é igual a zero.

$$\min_{\{\alpha, \beta, \delta\}} \sum_{i=1}^I [\ln D_I(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) - \ln 1] \quad (8a)$$

sujeito a:

$$\ln D_I(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) \geq 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, I \quad (8b)$$

$$\frac{\partial \ln D_I(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)}{\partial \ln x_{n,i}} \geq 0 \quad \text{para todo } i = 1, \dots, I, \text{ e } n = 1, 2, \dots, N \quad (8c)$$



$$\frac{\partial \ln D_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)}{\partial \ln y_{m,i}} \leq 0 \quad \text{para todo } i = 1, \dots, I, \text{ e } m = 1, 2, \dots, M \quad (8d)$$

$$\sum_{n=1}^N \beta_n = 1 \quad (8e1)$$

$$\sum_{n=1}^N \beta_{n,n'} = 0 \quad \text{para } n' = 1, \dots, N \quad (8e2)$$

$$\sum_{n=1}^N \delta_{n,m} = 0 \quad \text{para } m = 1, \dots, M \quad (8e3)$$

$$\alpha_{m,m'} = \alpha_{m',m} \quad \text{para } m, m' = 1, \dots, M \quad (8f1)$$

$$\beta_{n,n'} = \beta_{n',n} \quad \text{para } n, n' = 1, \dots, N \quad (8f2)$$

As restrições (8b) impõem que a função insumo-distância seja sempre maior ou igual a um para cada produtor i , o que é condição de viabilidade ou suficiente para que a relação de dualidade (4) possa ser empregada. As restrições (8c) garantem que a função insumo-distância seja não decrescente nos insumos para cada produtor i . As restrições (8d) garantem que a função insumo-distância seja não crescente no nível do produto para cada produtor i . As restrições (8e1, 2 e 3) garantem que a função insumo-distância Translog seja homogênea de grau 1 nos insumos. As restrições (8f1 e 2) garantem simetria para a forma funcional Translog, como requerido pelo teorema de Young (vide VARIAN, 1992).

Foi desenvolvido um programa com o software Matlab da *MathWorks Incorporation* de modo a tornar operacional a resolução do programa (8). Para tanto foi utilizada a sua *toolbox* de otimização, especificamente a rotina *linprog*. Dada as características da amostra de 41 produtores, 1 produto e 5 insumos, o programa (8) é possui 304 restrições. Em particular, existem 41 restrições relativas a (8b), 246 restrições relativas as restrições de monotonicidade (205 devido aos insumos e 41 devido ao produto), 7 restrições envolvendo a homogeneidade linear da função insumo-distância nos insumos, e 10 restrições envolvendo a imposição de simetria da função Translog.

4. Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os parâmetros calculados para a função insumo-distância Translog.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros da insumo distância tranlog

Parâmetro	Estimativa	Parâmetro	Estimativa
α_0	-0,3718	β_{32}	0,0042
α_1	-0,0134	β_{33}	-0,0006
α_{11}	-0,0057	β_{34}	0,0254
β_1	1,6095	β_{35}	0,0302
β_2	-0,2544	β_{41}	-0,0193
β_3	-0,1577	β_{42}	0,0158
β_4	-0,1384	β_{43}	0,0254
β_5	-0,0591	β_{44}	-0,0142



β_{11}	0,1513	β_{45}	-0,0077
β_{12}	-0,0535	β_{51}	-0,0193
β_{13}	-0,0592	β_{52}	0,0018
β_{14}	-0,0193	β_{53}	0,0302
β_{15}	-0,0193	β_{54}	-0,0077
β_{21}	-0,0535	β_{55}	-0,0049
β_{22}	0,0316	δ_{11}	-0,0082
β_{23}	0,0042	δ_{21}	0,0016
β_{24}	0,0158	δ_{31}	-0,0052
β_{25}	0,0018	δ_{34}	0,0081
β_{31}	-0,0592	δ_{35}	0,0037

Fonte: Resultados da pesquisa.

O valor da função insumo-distância para cada produtor foi calculado utilizando-se as estimativas dos parâmetros apresentadas na Tabela 2 e os dados dos insumos e produto observados. Ao todo 8 unidades produtivas (18,51% dos produtores) foram encontradas como sendo eficientes, ou seja, o valor da função insumo-distância assumiu o valor de 1 para as mesmas. Esse resultado mostra que muito poderia ser feito no sentido de aumentar a eficiência técnicas das unidades produtivas amostradas.

O valor médio das estimativas da função insumo-distância foi igual a 1,546. Sabe-se que o inverso do valor da função insumo distância é o índice de Farrell (1957) da eficiência técnica da unidade produtiva cuja o valor média foi calculado igual 0,725. Dessa forma, seria possível manter o mesmo nível de produção das 41 unidades produtivas, utilizando-se para tanto 72,5% da quantidade de todos os insumos de produção.

Os preços-sombra², inclusive da água, foram calculados segundo as equações (6) admitindo-se que o preço de mercado do capital que é R\$1,00 se iguala ao seu preço-sombra absoluto.

Tabela 3. Preços-sombra

	Área Irrigada (R\$/ha.)	Insumos Diversos (R\$/R\$)	Água (R\$/m ³)	Mão-de-Obra (R\$/hora)
Média	1.860,69	6,42	8,08	45,99
Mediana	727,26	1,46	0,56	10,13
Desvio padrão	2634,54	12,69	22,29	95,16
Máximo	10.348,98	65,43	104,14	400,73
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

² Os preços-sombra devem ser obtidos considerando-se apenas unidades tecnicamente eficientes, uma vez que ao assumir-se que as firmas minimizam lucro exige-se que as mesmas sejam tecnicamente e alocativamente eficientes. Contudo, devido a homogeneidade linear da função insumo-distância não há diferenças entre os preços-sombra computados tomando-se as quantidade efetivamente utilizada de insumos pelas unidades produtivas, ou se computados com a sua projeção radial eficiente (PICAZO-TADEO e REIG-MARTÍNEZ, 2005).

**SOBER**XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural

Observa-se na terceira coluna da Tabela 3, contrastando-se a média e o desvio padrão dos preços-sombra da água a elevada variabilidade das estimativas obtidas. Isso deve refletir, em certa magnitude, a imprecisão dos dados utilizados nas estimações. Como se sabe, no processo de entrevistas, os produtores eram perguntados sobre a quantidade de água que utilizaram. Dessa forma, em um contexto em que o preço da água, é muito provável que o produtor não tenha uma boa lembrança do volume utilizado, daí a discrepância nos valores coletados. De qualquer forma, constata-se pela mediana de R\$0,56/m³ que cerca de 20 produtores dos 41 amostrados teriam a disposição de pagar menos do que esse valor por cada m³ adicional de água. Tomando-se como referência a tarifa média cobrada por metro cúbico pela Companhia Pernambucana de Saneamento em 2006, de R\$ 1,52 por metro cúbico de água (PNUD, 2008), verificou-se que apenas 13 dos 41 produtores amostrados estariam dispostos a pagar esse preço ou mais por mais 1 metro cúbico de água, ou seja, 31,7% dos produtores. Dessa forma, verifica-se que apesar do valor médio dos preços-sombra da água serem alto, em geral a água não parece ser um fator tão restritivo ao ponto de os produtores amostrados estarem dispostos a pagar um valor elevado por unidades adicionais de água.

O preço-sombra mediano da mão-de-obra igual a R\$10,13 indica que 20 produtores estariam dispostos a pagar esse valor ou mais por uma hora a mais de mão-de-obra. Se considerar-se um trabalhador trabalhando 160 horas por mês e o valor do salário mínimo de R\$415,00 imputando-se o adicional de 46,63%³, encontramos um valor de mercado de R\$3,80 por hora trabalhada. No presente contexto, observou-se que 29 produtores (70,7% dos produtores) estariam dispostos a pagar R\$3,80 ou mais por 1 hora a mais de mão-de-obra. Esse dado, indica que há carência de mão-de-obra para os produtores amostrados.

Com relação aos preços-sombra dos insumos diversos, observou-se que 23 dos 41 produtores, ou seja, 56,1% dos produtores estariam dispostos a pagar mais do que R\$1,00 para poderem gastar R\$1,00 a mais em insumos diversos. Esse resultado indica no sentido de que os produtores se deparam com restrições financeiras e, assim sendo, estariam disposto a pagar juros para que possam ter acesso a recursos financeiros adicionais.

Com relação ao preço-sombra da área irrigada, contrastando-se o valor de R\$ 5.239,00 por hectare do preço médio de venda de terra no Brasil FGVDADOS (2008), observou-se que apenas 5 produtores, ou seja, 12,2% dos produtores estariam dispostos a pagar esse valor ou mais por mais 1 ha de terra irrigada.

5. Conclusão

O aumento da pressão sobre os recursos hídricos tem reforçado a necessidade de se reconsiderar os mecanismos utilizados na indução do uso eficiente da água. Isso é especialmente verdade para a agricultura irrigada, uma das principais consumidoras de

³ Correspondente a 8% de FGTS, 8,33 de 13^o salário, 2,5% de salário educação, 0,20% de INCRA, 8,33% de férias e 2,77% de abono férias, 1,5% de contribuição confederativa e 15% de seguridade social.

**SOBER**XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural

água. Como precificar a água ainda é uma tarefa polêmica, o presente estudo utilizou o método paramétrico de estimação de uma função insumo-distância na obtenção do preço-sombra ou disposição da firma a pagar por uma unidade adicional de água. Para tanto, foi utilizada uma base de dados coletadas junto a 41 produtores atuando em diversos perímetros irrigados do submédio São Francisco.

Observou-se que as estimativas obtidas para os preços-sombra da água foram em geral pequenas em valor, apesar de terem sido observados alguns produtores dispostos a pagar valores realmente elevados por 1 m³ adicional de água. Dessa forma, constatou-se que apesar do valor médio dos preços-sombra da água serem alto, em geral a água não parece ser um fator tão restritivo ao ponto de os produtores estarem dispostos a pagar um valor muito elevado por unidades adicionais de água. Tal informação deve ser levada em conta na análise de projetos que visem a expansão da capacidade de fornecimento de água para os agricultores.

Utilizando-se as estimativas obtidas para a função insumo-distância Translog, observou-se que dos 41 produtores na amostra, apenas 8 foram eficientes. Calculou-se o índice de Farrell (1957) da eficiência técnica da unidade produtiva igual a 0,725. Dessa forma, nota-se que seria possível manter o mesmo nível de produção das 41 unidades produtivas, utilizando-se para tanto apenas 72,5% da quantidade dos insumos efetivamente utilizados. Assim, há espaço para se melhorar a eficiência dos 41 produtores estudados.

Os preços-sombra calculados para área irrigada, mão-de-obra e demais insumos se mostraram condizentes quando comparados aos seus respectivos preços de mercado. Além disso, observou-se pelos valores estimados para os seus preços-sombra que a mão-de-obra parecer ser mais restritivo que os demais insumos de produção estudados.

Considerando-se os resultados obtidos com o método de estimação de uma função insumo distância Translog e as limitações inerentes à base de dados utilizada pode-se concluir que o método em si apresenta potencial para ser utilizado como um gerador de informações a auxiliarem no processo de precificação da água em projetos de irrigação.

Referências Bibliográficas

- AIGNER, D. J.; CHU, S. F. On Estimating the Industry Production Function. **The American Economic Review**, v.58, n. 4, p. 826-839, 1968.
- BRISCOE, J. **Water as an Economic Good: The Idea and What It Means in Practice**, Cairo: The World Congress of the International Commission on Irrigation and Drainage, September, 1996.
- CARRAMASCHI, E.C.; CORDEIRO NETO, O.M.; NOGUEIRA, J.M. O Preço da Água para Irrigação: Um Estudo Comparativo de Dois Métodos de Valoração Econômica Contingente e Dose-Resposta. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.17, n. 3, p. 59-81, 2000.
- CHRISTENSEN, L.R.; JORGENSON, D. W.; LAU, L. J. Transcendental Logarithmic Production Frontiers. **Review of Economics and Statistics**, v. 55, n. 1, p. 28-45, 1973.

**SOBER**XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural

- COGGINS, J.S.; SWINTON, J. R. The Price of Pollution: A Dual Approach to Valuing SO₂ Allowances. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 30, n. 1, p. 58-72, 1996.
- FÄRE, R.; Grosskopf, S.; Lovell, C. A. K.; Yaisawarng, S. Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach. **Review of Economics and Statistics**, v. 75, n. 2, p. 374-380, 1993.
- FÄRE, R.; PRIMONT, D. **Multi-output Production and Duality: Theory and Applications**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of Royal Statistical Society, Series A (General)**, v. 120, n.3, p. 253-290, 1957.
- FGVDADOS. Série de Preços de Vendas de Terras - Lavouras – Brasil. Disponível no endereço eletrônico: http://www.fgvdados.fgv.br/bf/dsp_consulta.asp. Acesso em 31/03/2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **World Agriculture: Toward 2015/30**, 2000.
- FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (FADE). **Investimentos Públicos e Privados em Agricultura Irrigada e seus Impactos sobre o Emprego e a Renda nos Pólos de Petrolina/Juazeiro e Norte de Minas Gerais**. Recife, Março, 1999.
- HAILU, A.; VEEMAN, T. S. Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach. **Journal of Environmental Economics and Management**. v.40, n. 3, p.251-274, 2000.
- JOHANSSON, R. C. Pricing irrigation water: A Literature Survey. **Policy Research Working Paper**, Washington D.C., p. 1-80, 2000.
- JOHANSSON, R. C.; TSUR, Y.; ROE, T.L.; DOUKKALI, R.M.; DINAR, A. Pricing and Allocation of Irrigation Water: A Review of Theory and Practice. **Water Policy**, v. 4, n.2, p.173-199, 2002.
- LANNA, A.E. **Estudos para Cobrança pelo Uso de Água Bruta no Estado do Ceará: Simulação Tarifária para a Bacia do Rio Curu**. Fortaleza: COGERH, 1995. (Relatório, 2-A).
- PICAZO-TADEO, A.J.; REIJ-MARTÍNEZ, E. Calculating Shadow Wages for Family Labour in Agriculture: An Analysis for Spanish Citrus Fruit Farms. **Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales**, n. 75, pp 5-21, 2005.
- PINHEIRO, J. C. V.; SHIROTA, R. Determinação do Preço Eficiente da Água para Irrigação no Projeto Curu-Paraipaba. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 31, n. 1 p. 36-47, 2000.
- PITTMAN, R.W. Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs. **Economic Journal**, v. 93, n. 372, p. 883-891, 1983.



SOBER

XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,
Administração e Sociologia Rural



- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD).
Consumo de Água Diminui em 24 Estados. Disponível no endereço eletrônico:
<http://www.pnud.org.br/saneamento/reportagens/index.php?id01=1935&lay=san>.
Acesso em 31/03/2008.
- SMITH, R.B.W.; TSUR, Y. Asymmetric Information and the Pricing of Natural Resources: The Case of Unmetered Water. **Land Economics**, Madison, v. 73, n. 3, p.392-403, 1997.
- TSUR, Y. Economic Aspects of Irrigation Water Pricing. **Canadian Water Resources Journal**, v. 30, n. 1, p. 31-46, 2005.
- TSUR, Y. Water Regulation via Pricing: The Role of Implementation Costs and Asymmetric Information. In: DINAR, Ariel (Comp.). **The Political Economy of Water Pricing Reforms**. Oxford: Oxford University Press, 2000. p. 105-120.
- TSUR, Y. Water Regulation Via Pricing: The Role of Implementation Costs and Asymmetric Information. In: DINAR, Ariel (Comp.). **The Political Economy of Water Pricing Reforms**. Oxford: Oxford University Press, 2000. p. 105-120.
- TSUR, Y.; ROE, T. ; DOUKKALI, T. ; DINAR, A. (Ed.). **Pricing Irrigation Water: Principles and Cases from Developing Countries**. Washington D.C., EUA: Rff Press Book, 2003. 319 p.
- VARIAN, H. R. *Microeconomic analysis*. 3. ed., New York: Norton & Company, Inc., 1992.
- WORLD BANK. **World Development Report 2000/2001: Attacking Poverty**. Washington/New York: World Bank/Oxford University Press, 2001.