

Fronteiras Estocásticas e Avaliação da Eficiência: Serviço Público de Distribuição de Água

Ana Sampaio

Universidade de Évora, Departamento de Matemática (DMAT), Portugal

Email: sampaio@uevora.pt

Introdução

“O princípio das coisas é a água” (Tales de Mileto, século VII-VI A.C.)

A questão da água, nas suas diversas vertentes de abordagem, ambiental, social, económica e política, está fortemente relacionada com o direito universal de acesso, com a utilização racional de recursos escassos e com a gestão económica eficiente capaz de, a custos mínimos, satisfazer determinado patamar de procura/oferta e a níveis óptimos de qualidade.

Na segunda metade do século XX aumentou significativamente a delapidação dos recursos aquíferos, quer em termos qualitativos, quer em termos quantitativos. Por um lado, têm proliferado os focos de poluição dos lençóis de água, normalmente resultantes da exploração económica desenfreada da natureza e por outro lado, tem aumentado a procura de água a um ritmo manifestamente superior à capacidade natural de reposição que o ciclo da água disponibiliza. Uma vez que a água disponível para o consumo humano representa apenas uma ínfima parte do recurso total existente no planeta, que a tecnologia ainda não está suficientemente desenvolvida para conseguir aumentar o patamar da oferta mundial e que se assiste a um acentuar da desigual repartição das fontes de água no mundo, urge que os vários intervenientes do contexto da água perspetivem o mercado da água em novos moldes, ou seja, a partir da prossecução de novas políticas, ambientais, económicas, sociais e geográficas, que tornem possível a minimização dos efeitos nefastos provocados pelo desequilíbrio, instalado à escala mundial, entre a oferta e a procura da água. É pois neste quadro de crise alargada da água que são cada vez mais necessários os estudos transversais e integrativos que, não só influenciem as acções de regulação económica e ambiental do recurso, como também permitam a futura harmonização das várias políticas aquíferas.

Ao longo do último século tem-se assistido, ao nível do quadro mundial de gestão da água, ao aumento do interesse pela investigação do desempenho económico do sector público, seja a partir da avaliação das medidas de controlo da despesa pública (eficiência económica), seja a partir da avaliação das medidas direccionadas para o controlo de qualidade de prestação do serviço (eficiência ambiental/social). Em síntese, qualquer tipo de avaliação económica deve inserir-se numa lógica de eficiência global (económica, social e ambiental): um sector, ou um serviço, apresentará eficiência global se, a custos mínimos, proporcionar níveis óptimos de qualidade.

Também no contexto das denominadas indústrias de rede onde o serviço de distribuição de água se insere, é crescente o interesse pela avaliação económica da qualidade da prestação dos serviços: O serviço não só deve criar receitas necessárias ao custeamento da sua exploração, manutenção e renovação de infra-estruturas [vejam-se os trabalhos de Renzetti, (1992 e 1999) e de Valinas (2002) sobre o impacto no mercado de água das reformas introduzidas ao nível dos preços], como também assegurar aos consumidores a possibilidade de usufruírem da água em condições satisfatórias.

Neste trabalho é abordado o mercado da água, fundamentalmente na vertente relacionada com o custo de prestação do serviço de distribuição de água às populações e na sua articulação com a questão da eficiência ambiental. Para a avaliação da qualidade do serviço foi incorporada uma variável ambiental, dada pela percentagem em falta, de análises regulamentares de qualidade de água para consumo humano. De acordo com as regras introduzidas pelo Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, as entidades gestoras de sistemas de abastecimento público (Câmaras Municipais, Serviços Municipalizados ou empresas concessionárias) são responsáveis pelo controlo da qualidade da água que distribuem pelo que estão obrigadas a realizar regularmente análises de controlo que permitam a verificação da sua conformidade com um padrão estabelecido. Este padrão de qualidade de água corresponde a determinados valores de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Segundo o artigo 21º do DL 236/98 *a água para consumo humano de boa qualidade caracteriza-se por não pôr em risco a saúde, ser agradável ao paladar e à vista dos consumidores e não causar a deterioração ou destruição das diferentes partes do sistema de abastecimento*. A legislação em vigor (anexo VI do DL236/98) define os valores máximos admissíveis (VMA) e recomendados (VMR), para um conjunto de parâmetros agrupados em cinco categorias: i) organolépticos; ii) microbiológicos; iii) físico-químicos; iiiii) substâncias indesejáveis e iiiiii) substâncias tóxicas. Para esta análise considerou-se como indicador de qualidade de serviço, o grau de realização das análises regulamentares, dada pela razão entre o nº de análises em falta e o nº total de análises. Com efeito, para a avaliação da eficiência da gestão do serviço considerou-se mais adequada a incorporação do indicador acerca do conhecimento da qualidade de água (percentagem de análises em falta) do que do indicador acerca da qualidade de água distribuída (percentagem de análises em violação). Um serviço será tanto mais ineficiente do ponto de vista ambiental quanto maior for o efeito ao nível da redução dos custos operacionais, provocado pelo impacto da variável ambiental...

Para a prossecução deste objectivo, foi utilizada a metodologia das fronteiras estocásticas aplicada a modelos com influências exógenas (Battese e Coelli, 1995), também designados por modelos com variáveis ambientais no termo composto do erro. Esta metodologia está relacionada com a pesquisa de razões que expliquem a magnitude dos afastamentos das unidades produtivas em relação a um determinado nível óptimo, económico/ambiental/social, designado *fronteira eficiente*.

Revisão da Literatura

São várias as referências encontradas na literatura acerca da articulação entre estudos de eficiência e o sector público. Investigaram a eficiência deste sector, entre outros, Maytson e Schmidt (1987a), Perelman (1988) e Rugiero (1996), Fare et al. (1989), Pedraja e Salinas (1996a), Mayston e Schmidt (1987b), Melfi (1984), Bauer, (1985), Levitt e Joyce (1987), Cavin e Stafford (1985), McGuire (1987), Burgess e Wilson (1993), Hammond's (1986), Barrow (1988), Bhattacharyya et al. (1995b) e Borger et al. (1994). A comparação entre o desempenho das empresas públicas e privadas e a avaliação do tipo de gestão de um serviço de distribuição de água têm também constituído linhas de investigação frequentemente adoptadas. Desde finais da década de 70 e início dos anos 80 que se assiste ao aumento dos estudos comparativos entre empresas privadas e empresas públicas do sector da água (veja-se tabela 2-1 em Byrnes, 1985, pp. 70-72). Os trabalhos de Ford e Warford (1969), Crain e Zardkoochi (1978), Kim (1988), Teeple e Glyer (1987), Bhattacharyya et al. (1995), Byrnes, et al. (1986) e Sawkins, (2001), representam algumas das muitas aplicações da abordagem fronteira ao mercado da água. Com efeito, desde as valiosas contribuições de Aigner et. al. (1977), Meeusen e Van Broeck (1977) e Battese e Corra (1977) para a investigação da eficiência produtiva a partir da utilização de modelos fronteira paramétricos, que os estudos

realizados neste domínio, cada vez têm suscitado o interesse da comunidade académica e empresarial. O quadro seguinte apresenta alguns dos resultados de estimação para os coeficientes de variáveis explicativas incorporadas no modelo de regressão fronteira utilizado nesta aplicação:

Quadro 1: Estudos Empíricos e Coeficientes Estimados para Variáveis Incluídas nesta Aplicação

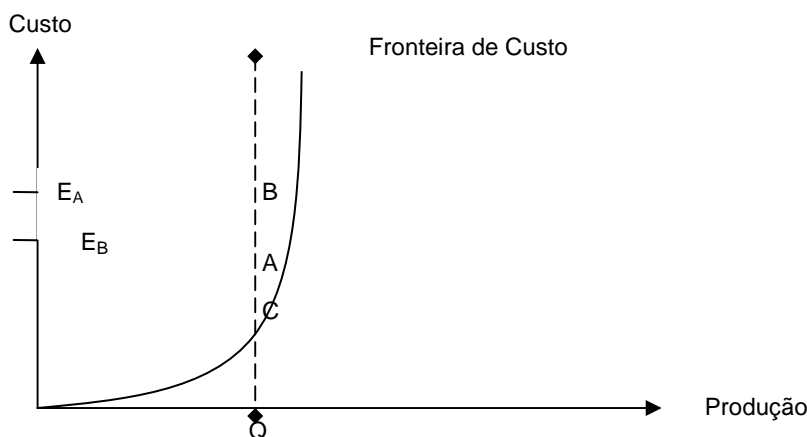
| Autores | Volume de Água Distribuída | Número de Consumidores | Preço do Trabalho | Variável Temporal | Dimensão da Rede |
|------------------------------|---|-------------------------------|--|--------------------------|--|
| Stewart (1993) | 0,57(0,08) | | | | 0,38(0,08) |
| Crampes (1997) | 0,38 | | 0,59(0,01) | | |
| Bhattacharyya et al. (1995). | 0,43(0,13) | | 0,39(0,01) | | 0,22 (0,1) 0,32(0,22) |
| Aubert e Reynaud (2005) | -1,11(0,71) | 0,08(0,23) | 1,80(0,89) | | |
| Mizutami e Urakami (2001) | 0,88(0,04); 0,91(0,05); 0,907(0,04) | | 0,26(0,00) 0,21(0,02) 0,20(0,01) | | 0,20(0,06) 0,17(0,08) 0,14(0,07) |
| Fraquelli e Moiso (2005) | 0,39(0,04) | | 0,40(0,04) | 0,003(0,0) | 0,56(0,03) |
| Garcia e Thomas (2001) | 0,59(0,11) | 0,28 (0,32) 0,07 (0,27) | | | -0,34(0,08) |
| Bottasso e Conti (2003) | 0,74(0,06) | | 0,27(0,08) | -0,14(0,0) | 0,30(0,09) |
| Fabbri e Fraquelli (2000) | 0,63(8,69) | 0,37 | 0,42 | | |
| Estache e Rossi (2002b) | 0,08 | 0,66 | 0,30 | | |
| Saal e Parker (2001) | 0,72(0,06) | | 0,05(0,0) | 0,04(0,00) | |

Abordagem Fronteira e Eficiência de Custo

Os modelos de fronteira estocástica têm sido aplicados a múltiplas áreas da economia (correios, linhas aéreas, banca, seguros, administrações públicas, explorações agrícolas, empresas de distribuição de electricidade, de gás e de água...) na avaliação do desempenho produtivo do respectivo sector de actividade. A primeira alusão da literatura ao conceito de fronteira parece encontrar-se em Wicksell (1896), que propôs o conceito de fronteira de possibilidades de bem-estar para traduzir a localização espacial de uma dada sociedade. Segundo Wicksell, um governo eficiente estaria relacionado com a sua capacidade de colocar a dita sociedade no referido plano fronteira através das intervenções reguladoras ou de mecanismos óptimos. Os primeiros contributos que surgiram na literatura sobre eficiência produtiva devem-se a Koopmans (1951), Debreu (1951), Shephard (1953) e a Farrell (1957). Koopmans forneceu a primeira definição de produtor eficiente, ou seja, aquele para quem é impossível produzir maior quantidade de produto sem produzir menos de outro produto, ou, utilizar maior quantidade de factores produtivos. Adicionalmente, Debreu e Shephard introduziram o conceito de função distância associado à eficiência técnica e sugeriram a utilização das funções distância para a medição da distância radial orientada em produto (Debreu) e em factor produtivo (Shephard). Foi decisivamente o trabalho seminal de Farrell (1957) sobre a medição empírica da eficiência produtiva, que constituiu o marco que esteve na origem e no desenvolvimento das principais abordagens aos denominados modelos

fronteira, cuja estimação tem permitido a definição de índices económicos (medidas de eficiência) utilizados para medir e comparar o desempenho das empresas: *The problem of measuring the productive efficiency of an industry is important to both the economic theorist and the economic policy maker* (Farrell, 1957). Inspirado em Koopmans e em Debreu, Farrell utilizou métodos de programação linear que estiveram na base do desenvolvimento da metodologia designada Análise Envolvente de Dados (DEA), de Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Deve-se ainda a Farrell o conceito de eficiência de custo e a sua decomposição em eficiência técnica e alocativa. No plano microeconómico a eficiência de custo define-se como a capacidade de uma unidade ou de um serviço de distribuição de água (no presente caso), minimizar os respectivos custos para um dado vector de produção. A magnitude da eficiência de custo será então dada pela razão entre o custo mínimo (estimado a partir de uma função fronteira) e o custo observado. O contexto analítico da presente aplicação baseia-se na análise da eficiência de custo, tendo por base o pressuposto que os responsáveis destes serviços pretendem sempre alcançar os patamares de produção de água (satisfação da procura) a custos mínimos e a níveis óptimos de qualidade. Assim, assumindo-se que o custo é determinado pelo nível de produção e que um dado serviço de distribuição de água (A) produz a um nível Q e a custos E_A , a ineficiência de custo desse serviço será então dada pela razão entre a distância CQ e AQ, onde C representa o custo mínimo possível de atingir na produção do nível Q, ou seja, representa o custo associado à fronteira de custo que, neste caso particular, é partilhada pelas unidades A e B. Em termos gráficos o conceito de ineficiência de custo pode ser aproximado a partir da figura seguinte:

Figura 1
Ineficiência de Custo



O serviço de distribuição de água A é mais eficiente que o serviço B porque a distância AC é menor que a distância BC. Como E_A e E_B representam custos observados é necessário estimar C (fronteira de custo) para se obterem medidas de ineficiência de custo.

Metodologia

Desde os finais da década de 70 que se assiste ao desenvolvimento de métodos econométricos vocacionados para a análise das relações económicas baseadas em comportamentos óptimos dos intervenientes económicos. Estes métodos designam-se de métodos fronteira. As primeiras abordagens à avaliação do desempenho das administrações públicas baseavam-se em modelos clássicos de regressão linear em que as respectivas especificações econométricas apenas traduziam funções médias, onde toda a variação da variável dependente, não associada à variação dos factores produtivos, seria inteiramente atribuída a choques aleatórios, não

passíveis de serem controlados pelo produtor. Neste tipo de modelos é habitualmente assumida a normalidade distribucional para o termo do erro aleatório, sendo que os resíduos podem ocorrer em ambos os lados da recta de regressão estimada. No entanto, a avaliação da acção produtiva ou reguladora do sector público é mais compatível com um desempenho fronteira do que com um comportamento médio. Efectivamente, para se avaliar a magnitude da ineficiência de um dado serviço é mais apropriada a avaliação do seu afastamento face a um comportamento óptimo (ou localizado sobre uma fronteira de eficiência) que face a um comportamento médio. Com a abordagem fronteira o grau de ineficiência é dado pelo afastamento da organização em relação a uma fronteira estimada ou construída a partir de técnicas apropriadas. Deste modo e quando o objectivo é a minimização do custo da prestação de um determinado serviço, a fronteira representará o limiar mínimo de custo, sendo que as observações/organizações/serviços estarão localizadas sobre ou acima desta fronteira consoante se tratem de organizações eficientes ou não. Em síntese, quando o objectivo é a medição da eficiência das unidades produtivas, as funções de produção, de custo ou de lucro são especificadas em termos de funções fronteira (Schmidt, 1976 e 1986). Na óptica da microeconomia, *a fronteira estimada traduz um comportamento otimizador das unidades produtivas e define-se como uma função não observável e envolvente dos dados amostrais. Os desvios apurados em relação a esta fronteira podem ser interpretados como medidas de ineficiência* (Bauer, 1990). Distinguem-se na literatura sobre a avaliação da eficiência, duas metodologias que diferem no tipo de técnica proposta para a especificação da fronteira: A abordagem paramétrica, que engloba os modelos paramétricos determinísticos e estocásticos e a abordagem não paramétrica (Simar e Wilson, 2000), que inclui modelos do tipo DEA¹ [Charnes et al. (1978, 1995) e Hollingsworth (1997, 1999)], consoante seja ou não especificada uma forma funcional para a caracterização do processo produtivo.

Neste estudo optou-se pela abordagem paramétrica à medição dos níveis de eficiência, a partir da utilização do modelo de Battese e Coelli (1995) na estimação de uma função fronteira estocástica de custo. O modelo é definido por:

$$C_{it} = f(\cdot) \cdot \varepsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N. \quad t = 1, \dots, T. \quad [1]$$

Com $\varepsilon_{it} = v_{it} + u_{it}$. C_{it} representa o custo da i -ésima observação no ano t e é função $f(\cdot)$ de um determinado número de variáveis explicativas, especificadas de acordo com determinada forma funcional. ε representa o termo do erro do modelo. Este termo é dado pela soma de duas variáveis aleatórias que traduzem dois tipos de efeitos sobre o processo produtivo: a primeira componente, v , representa o termo estocástico do erro, ou seja, capta os efeitos provocados por erros de medida e por todos os factores que estão fora do controlo do processo produtivo; a segunda componente, u , representa uma medida da ineficiência do processo. v_{it} são variáveis aleatórias i.i.d., com uma distribuição normal de média nula e variância constante, $v \cap N(0, \sigma_v^2)$ e $u_i = (\delta z_i + \xi_i) \geq 0$ com $\xi \cap N(0, \sigma_\xi^2)$. Estas variáveis aleatórias são modelizadas a partir de determinadas distribuições assimétricas de probabilidade, com variância também constante. Nesta aplicação foi adoptada a modelização normal truncada-em zero (Stevenson, 1980), ou seja, $u_i \cap N^+ \quad u_i \cap N^+(m = \delta z_i, \sigma_u^2)$, ou média dada por uma combinação linear de variáveis Z :

$$m_{it} = z'_{it} \cdot \delta \quad [2]$$

¹ Data Envelopment Analysis.

Z_{it} é um vector de variáveis que se supõe influenciarem a magnitude da eficiência do processo e δ é um vector de parâmetros desconhecidos a estimar. A variância total do modelo é expressa em termos de $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{(\sigma_v^2 + \sigma_u^2)}$. Este último parâmetro, γ , cuja estimativa varia entre

0 e 1, constitui um indicador dos contributos relativos para o termo do erro de cada uma das suas componentes. Esta metodologia envolve a estimação simultânea, *one step approach*, de dois modelos de regressão: i) um modelo geral (fronteira) e ii) um modelo de efeitos de ineficiência. As predições individuais de ineficiência de custo resultam da estimação, por máxima verosimilhança, da fronteira de custo estocástica definida em [1] e em [2].

Definição da Amostra e Especificação do Modelo

Dado que a metodologia utilizada envolve a estimação simultânea de dois modelos de regressão foram seleccionadas variáveis para ambas as especificações e de acordo com a teoria económica relacionada com esta indústria de rede.

Definição e Caracterização da Amostra

Para a delimitação amostral utilizou-se o critério da OCDE que define a unidade territorial de nível municipal (NUT III), como sendo a correspondente ao concelho. A amostra refere-se a 215 concelhos (dos 308 existentes à data do estudo) observados ao longo de dois anos (2000 e 2001), em Portugal Continental, distribuídos pelo Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve e cuja gestão do serviço da distribuição de água é da competência das câmaras municipais ou dos respectivos serviços municipalizados. A informação recolhida (INE, 2001 e 2002) permitiu que se constituísse um painel equilibrado de 430 observações. No quadro 2 apresenta-se a repartição regional e anual do número total de municípios considerados na amostra:

Quadro 2: Repartição Regional e Anual do Número de Municípios Observados

| Região | Número de Municípios |
|-----------------------|----------------------|
| Norte | 66 |
| Centro | 62 |
| Lisboa e Vale do Tejo | 29 |
| Alentejo | 44 |
| Algarve | 14 |

O quadro 3 apresenta a definição das variáveis consideradas na análise:

Quadro 3: Definição das Variáveis

| <i>Variáveis da Componente Determinística da Função Custo Fronteira</i> | | |
|---|--|-------------------------------------|
| C | Custos operacionais | Variável dependente do modelo geral |
| Q | Volume de água consumida | Variável exógena |
| CLI | Número de consumidores | Variável exógena |
| PL | Preço do trabalho | Preço do factor produtivo trabalho |
| PK | Preço do capital | Preço de factor produtivo capital |
| T | Ano de análise (T=1,2) | Variável temporal* |
| Len | Dimensão da rede de distribuição (km) | Variável exógena |
| Denp | Densidade populacional (por km ²) | Variável exógena |
| d1 | Variável Fictícia para o tipo de captação | Variável Fictícia |
| <i>Variável ambiental do Modelo de Efeitos de Ineficiência</i> | | |
| Z | % de análises de qualidade de água em falta/ano (variável ambiental) | |

*Variável posteriormente retirada da especificação (não significativa).

Na linha de Stewart (1993), Estache et al. (2002 a e b), Aubert e Reynaud (2005), o custo operacional relativo ao serviço de distribuição e tratamento de água foi utilizado como variável dependente do modelo fronteira de custo estocástico geral. Esta variável traduz a soma de todas as despesas realizadas anualmente com os factores produtivos mais

directamente envolvidos com as várias etapas do processo de abastecimento de água (captação, tratamento e distribuição), ou sejam, as despesas com o pessoal e as despesas de capital residual. Para a caracterização da estrutura produtiva global das unidades observadas consideraram-se dois tipos de variáveis descritivas da dimensão do serviço: o volume total de água vendida aos consumidores (Q) [veja-se Stewart (1993), Crampes et al. (1997), Bosworth (1994), Ashton (2000), Hunt e Lynk (1995) e Garcia e Thomas (2001)] e o número de consumidores (CLI) [veja-se Estache e Rossi (2002b), Antonioli et al. (2001) e Garcia e Thomas (2001)]. Os preços dos factores produtivos trabalho e capital (PL e PK respectivamente) foram incorporados no modelo geral, também como variáveis independentes. Para o preço do trabalho utilizou-se uma *proxy* dada pela razão entre as despesas com pessoal e o número total de trabalhadores em 1996. Para o preço de capital adoptaram-se os critérios de Friedlander et al. (1983) e de Filippini e Maggi (1993), segundo os quais, o preço do capital seria calculado a partir da razão entre o custo de capital residual e o valor do *stock* de capital, que, de acordo com Aubert e Reynaud (2005), poderá ser aproximado a partir da dimensão (em km) da rede de distribuição. Com o propósito de avaliar o impacto anual do nível tecnológico sobre o nível de custos, foi inicialmente incluída uma variável (T) identificadora do ano de análise, ou seja, relativo ao período 2000-2001. A teoria económica relacionada com a indústria da água estabelece que a dimensão da rede, constitui uma variável com impacto significativo nos custos de distribuição [quadro 1]. Nesta aplicação e na linha de Bottasso e Conti (2003), a dimensão da rede de distribuição (Len) foi incorporada no modelo geral de custo como variável técnica, *proxy* para o stock de capital. A variável densidade populacional, variável de escala (Denp), foi calculada a partir da razão entre o número de consumidores e a área, (em quilómetros quadrados), do concelho. Esta variável foi seleccionada para captar o tipo de efeito que a agregação de consumidores poderá ter no nível de custo do serviço. Por exemplo, Garcia e Thomas (2001) e Estache e Rossi (2002), na análise do impacto da densidade de consumidores no custo de oferta de água, utilizaram densidade populacional como regressor tendo obtido um coeficiente para a variável com um sinal negativo. Fraquelli e Moiso (2005) utilizaram a densidade de consumidores como regressor de um modelo de efeitos de ineficiência, tendo encontrado uma relação positiva entre os níveis de ineficiência e a densidade populacional. No modelo geral de custo foi ainda considerada uma variável fictícia para identificar a existência ou não de captações próprias (variável d_1). Esta variável foi incorporada para permitir não só a distinção entre as autarquias que dispõem de recursos hídricos suficientes para a satisfação dos respectivos níveis de consumo e as autarquias que têm que recorrer a captações fornecidas por terceiros, como ainda para validar a suposição de que os custos inerentes ao transporte de água em grandes distâncias (inexistência de recursos próprios) se reflectem negativamente nos níveis de custo, ou seja, que o facto de uma autarquia possuir recursos próprios representa uma mais valia ambiental considerável.

No modelo dos efeitos de ineficiência, foi incorporada uma componente de qualidade do serviço, a variável Z, dada pela percentagem de análises de qualidade de água em falta por unidade observada.

No quadro 4 apresentam-se algumas das estatísticas descritivas relativas às variáveis consideradas no modelo geral de custo:

Quadro 4: Estatísticas Descritivas

| Descrição das Variáveis | Média | Desvio-padrão | Mínimo. | Máximo |
|---|---------|---------------|---------|-----------|
| C- Custos operacionais (x1000€) | 764 754 | 816 028 | 28624 | 5 913 883 |
| Q - Volume de Água Distribuída (em m ³) | 927 874 | 1 138 264 | 125 000 | 9 916 000 |
| CLI- Número de Consumidores | 16 294 | 16 310 | 1 892 | 148 594 |
| PL- Preço do Trabalho* (PL) (x1000€) | 10, 278 | 6,081 | 1,196 | 34, 404 |
| Len- Dimensão da Rede (em quilómetros) | 166,5 | 162,1 | 11 | 1 050 |
| Denp – densidade populacional | 201,45 | 392,0 | 12,0 | 4860,6 |
| AF – análises em falta | 0,22 | 0,20 | 0 | 0,9254 |

*preços de 1996.

Especificação do Modelo Global (modelo geral e modelo de efeitos de ineficiência)

Para a modelização do custo de distribuição de água em Portugal foi especificada uma forma funcional logarítmica do tipo Cobb-Douglas em que a variável dependente e o preços são normalizados a partir do preço do capital e o volume de água distribuída é exogenamente determinado. Os parâmetros relativos ao modelo geral e ao modelo de efeitos de ineficiência são estimados simultaneamente por máxima verosimilhança (*one stage approach*). Os parâmetros são relativos às variáveis explicativas que integram o modelo geral e que se supõe influenciarem directamente os custos e à variável Z, incluída no modelo de efeitos de ineficiência como indicador da qualidade ambiental do serviço. Para a especificação do modelo geral foi considerada a seguinte forma:

$$\ln C_{it}^* = \beta_0 + \beta_Q \ln(Q_{it}) + \beta_{CLI} \ln(CLI_{it}) + \beta_{PL} \ln(PL_{it}^*) + \beta_{Len} \ln(Len_{it}) + \beta_{Denp} \ln(Denp_{it}) + \beta_{d1} d_1 + u_{it} + v_{it} \quad [3]$$

onde $\ln C_{it}^*$ representa o logaritmo natural do custo operacional, da i-ésima autarquia no ano t, normalizado a partir do preço do factor produtivo capital, $\ln Q$ traduz o logaritmo natural do volume de água distribuída, $\ln CLI$ representa o logaritmo natural do número de consumidores, $\ln PL^*$ representa o logaritmo natural do preço do trabalho também normalizado a partir do preço do factor produtivo capital, $\ln Len$ representa logaritmo natural da dimensão da rede de distribuição e $\ln Denp$ representa logaritmo natural da densidade populacional por quilómetro quadrado. Para a especificação do modelo de efeitos de ineficiência foi considerada a seguinte forma:

$$u_{it} = \delta_0 + \delta_{AF} \ln AF_{it} + \zeta_{it} \quad [4]$$

Onde a variável AF representa a percentagem de análises de qualidade de água em falta. Esta variável capta a ineficiência da gestão do serviço no que concerne à sua capacidade de oferecer ao consumidor água de qualidade.

Resultados

Com base na metodologia de Battese e Coelli (1995), utilizou-se o método da máxima verosimilhança e o programa *FRONTIER*, versão 4.1 (Coelli, 1996a), para estimar simultaneamente todos os parâmetros envolvidos nos modelos [3] e [4], ou sejam, os parâmetros do modelo fronteira geral de custo e os parâmetros do modelo de efeitos de

ineficiência. Inicialmente o modelo em análise (modelo A) foi confrontado com um modelo alternativo (modelo B) para se averiguar da validade da fronteira adoptada. O modelo A representa assim um modelo tipo Cobb Douglas com efeitos de ineficiência (modelo fronteira) e o modelo B representa um modelo, também de tipo Cobb Douglas, mas sem efeitos de ineficiência (*modelo médio*). A hipótese nula de que o coeficiente relacionado com a variável Z e o parâmetro γ sejam nulos, ($H_0: \gamma = \delta = 0$), ou, a hipótese de inexistência de efeitos de ineficiência, foi rejeitada face ao confronto do valor obtido para a estatística do teste de razão de verosimilhanças, LR (166,38), com o valor crítico do χ^2 para um nível de significância de 5%. Em seguida foram confrontadas duas distribuições de probabilidade para a modelização da componente assimétrica do termo do erro: distribuição semi-normal (modelo A_{SN}) e distribuição normal truncada em zero (modelo A_{NT}). O quadro 5 apresenta os resultados para as respectivas funções de log-verosimilhança, teste LR, valor crítico e tipo de decisão adoptada:

Quadro 5: Teste à Distribuição da Componente Assimétrica do Erro

| Restrições | Distribuição/ Ineficiência | LL | λ | $\chi_{(1)}^2$ | Decisão |
|------------|--|--------|-----------|----------------|----------|
| Nenhumas | Normal Truncada (modelo A _{NT}) | 209,59 | | | |
| $\mu = 0$ | Semi-Normal (modelo A _{SN}) | 179,27 | 104 | 3,84 | Rejeitar |

Para um nível de significância de 5%, o confronto do valor obtido para a estatística do teste de razão de verosimilhanças, LR (104,0), com o valor crítico do χ^2 permitiu rejeitar o modelo mais restritivo (modelo A_{SN}) face ao modelo mais geral (modelo A_{NT}). Seleccionada a especificação com distribuição normal-normal truncada para termo composto do erro, os parâmetros de [3] e de [4] foram estimados simultaneamente por máxima verosimilhança. No quadro 6 apresentam-se estas estimativas acompanhadas dos respectivos erros padrão e estatísticas t de student:

Quadro 6: Estimativas de Máxima Verosimilhança para o Modelo Preferido

| Variável | Parâmetro | Coefficiente e erro-padrão | t-student |
|------------|-------------------|----------------------------|-----------|
| Intercepto | B ₀ | -0.191 (0.007) | -24.96 |
| Q | B _Q | 0.06 (0.01) | 5.67 |
| CLI | B _{CLI} | 0.062 (0.02) | 3.63 |
| PL | B _{PL} | 0.187 (0.008) | 21.64 |
| LEN | B _{LEN} | 0.833 (0.01) | 7.56 |
| DENP | B _{DENP} | -0.014 (0.07) | -1.90 |
| d1 | B _{d1} | 0.031 (0.022) | 1.39 |
| Intercepto | δ_0 | -9.34 (3.0747) | -3.04 |
| AF | δ_{AF} | -0.9686 (0.2958) | -3.27 |
| variância | σ^2 | 1.5793 (0.4949) | 3.19 |
| gama | γ | 0.997628 (0.001) | |
| LL | | | 209.59 |

Relativamente aos resultados de estimação apresentados, constata-se que a maior parte dos coeficientes foram obtidos com estatísticas t muito significativas e que os respectivos sinais satisfazem as expectativas. O coeficiente de regressão relativo ao volume de água foi estimado com um sinal positivo, sugerindo que a função custo estimada é monótona crescente no nível de produção, ou seja, que os custos médios diminuem com a expansão da produção: quando o volume de água distribuída aumenta 1% (mantendo-se constantes as restantes variáveis), o custo aumenta 0.06%. Também o sinal do coeficiente de regressão relacionado com o número de consumidores está de acordo com todos os estudos empíricos analisados, ou seja, a respectiva elasticidade de custo foi estimada com sinal positivo (0.06) e com um t-estatístico muito significativo ao nível de significância de 1%. Este resultado é consistente com outros estudos sobre esta matéria (quadro 1). Veja-se Aubert et al. (2005), Garcia et al. (2001), Fabbri e Fraquelli (2000) e Estache e Rossi (2002b) que estimaram o coeficiente relativo ao número de consumidores, com valores iguais a 0,08, 0,28 e 0,07, 0,37, 0,66 respectivamente. A elasticidade de custo relativo ao factor preço do trabalho (normalizado a partir do preço de capital) foi estimada com um sinal positivo (+0.18) sendo que é um resultado coerente com as expectativas e com a literatura empírica. A elasticidade de custo em relação à dimensão da rede de distribuição foi estimada com um sinal positivo (0.83) e com um t-estatístico muito significativo. O sinal positivo do coeficiente relativo a esta variável sugere que a expansão da rede de distribuição provoca aumentos nos custos. Este resultado é consistente com os resultados obtidos na maior parte dos estudos empíricos analisados sobre o custo de distribuição de água. Por exemplo, [quadro 1], Stewart (1993), Bhattacharyya et al (1995), Mizutani et al (2001) Fraquelli e Fabri (2005) e Bottasso et al (2003) obtiveram estimativas positivas para este coeficiente e, dos estudos revistos, apenas Garcia et. al. (2001) obteve este coeficiente com sinal negativo (-0.34). A estimativa para o coeficiente relacionado com a variável densidade populacional foi obtida com sinal negativo (-0.01), sugerindo que a concentração populacional teve um impacto positivo sobre o nível de custo no período analisado: aos serviços que operam em áreas mais densamente povoadas estão associadas diminuições nos custos operacionais. Este resultado é consistente com outros resultados mencionados na literatura. Embora tenham utilizado a densidade populacional por quilómetro de rede, autores como Bottaso e Conti (2003), Fabbri e Fraquelli (2000) e Fraquelli e Moiso (2005) estimaram o coeficiente desta variável com o sinal esperado. A variável d_1 permite avaliar o impacto ao nível dos custos da existência de captações próprias autáquicas. O valor estimado para o parâmetro associado a esta variável foi obtido com um sinal positivo (0.03), indiciando que a variável constitui um factor agravante do custo de exploração. Os parâmetros

$\sigma^2 = (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$ e $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{(\sigma_v^2 + \sigma_u^2)}$, associados às duas variâncias das componentes do termo do erro,

v_{it} e u_{it} também apresentaram coeficientes significativos. A estimativa do parâmetro γ (0.997), sugere que cerca de 99% da variação residual é atribuída aos efeitos de ineficiência, ou seja, que a proporção da variação total dos custos, explicada por factores do modelo de ineficiência, é muito significativa. A variável AF foi considerada para reflectir o efeito sobre a eficiência de custo de uma *proxy* para a qualidade ambiental e social da gestão dos serviços de abastecimento público de água. O respectivo coeficiente foi estimado com sinal negativo (-0.96) e com um valor t muito significativo (-3.27). Este resultado indicia que a vertente da gestão autárquica relacionada com a qualidade do recurso tem impactos negativos sobre o nível dos custos, ou seja, que a ineficiência ambiental/social do serviço estará directamente relacionada com valores elevados para AF... Relativamente ao período analisado a eficiência

média de custo foi de 0.85 (desvio padrão de 0.12) e as medidas individuais de eficiência de custo variaram no intervalo [0.21; 1].

Conclusões

Nesta aplicação utilizou-se a metodologia fronteira para analisar o impacto de um indicador da qualidade de prestação do serviço de distribuição de água às populações, na variação dos custos operacionais.

A negatividade do coeficiente estimado para este indicador permite concluir que embora possam ocorrer acréscimos nos custos operacionais, as mais valias em termos de melhoria da qualidade do serviço devem ser sempre equacionadas e analisadas mesmo que num contexto de optimização económica. Os resultados obtidos são coerentes com a expectativa inicial, ou seja, embora a vertente da gestão autárquica relacionada com a garantia da qualidade do recurso provoque impactos negativos ao nível dos custos (ineficiência económica), na óptica da eficiência ambiental/social do serviço, os impactos são positivos...

Qualquer estudo de eficiência produtiva de um sector tão delicado como o é o das águas, tem necessariamente que respeitar princípios de qualidade e de preservação de ecossistemas. À luz deste paradigma, os modelos fronteira devem implicar a pesquisa de indicadores mais articulados com conceitos de eficiência ambiental e de qualidade de vida. Independentemente da questão da propriedade da água ou da entidade que assegura a gestão do recurso, interessa sempre que qualquer tipo de intervenção em sectores do mercado da água se insira num quadro de eficiência global (económica, social e ambiental) com vista à desejável harmonização das várias políticas aquíferas (Silva, 2006).

O estudo da eficiência por si só, sem que sejam ponderadas outras vertentes da realidade, como por exemplo, a justiça social e o equilíbrio ambiental, pode gerar análises incompletas e “viciadas”, apenas direccionadas para uma desenfreada busca pela optimização económica.

Bibliografia

- Aigner, D.J., Lovell, C. A. K. e Schmidt, P. (1977). “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models”. *Journal of Econometrics*, 6, pp. 21-37.
- Antonoli, Barbara e Filippini, M. (2001). “The Use of Variable Cost Function in the Regulation of the Italian Water Industry”. *Utilities Policy*, vol.10, n°3, pp. 181-187.
- Ashton, K. J. (2003). “Economies of Scale, Economies of Capital Utilization and Capital Utilization in the English and Welsh Water Industry”. *The Service Industries Journal*, 20, 4, pp. 121-130.
- Aubert, C. e Reynaud A. (2005). “The Impact of Regulation on Cost Efficiency: Empirical Analysis of Wisconsin Water Utilities”, *Journal of Productivity Analysis*, 23, pp. 383-409.
- Barrow, M. (1988). “Measuring the Performance of Local Education Authorities: a Frontier Approach”, *University of Sussex . Economics Discussion Paper n° 88/1*.
- Battese, G. E. e Corra G. S. (1977). “Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone off Eastern Austrália”, *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21:3, pp. 169-79.
- Battese, E. e Coelli, T. J. (1988). “Prediction of Firm Level Technical Inefficiencies with a Generalised Frontier Production Function and Panel Data”, *Journal of Econometrics*, 38, pp. 387-399.
- Battese, G. e Coelli, T. J. (1995). “A Model for Technical Inefficiency Effects in Stochastic Frontier Production Function for Panel Data”. *Empirical Economics*, 20, pp. 325-332.
- Bauer, P. W., (1985). “An Analysis of Multiproduct Technology and Efficiency Using the Joint Cost Function and Panel Data: An Application to U.S. Airline Industry”. PhD. Dissertation, University of North Carolina.
- Bhattacharyya, A., Harris, T.R., Narayanan R. e Raffie K. (1994a). “An Examination of the Effects of Ownership on the Relative Efficiency of Public and Private Water Utilities”. *Land Economics*, 70, 2, pp. 197-209.
- Bhattacharyya A., Harris, T. R., Naraymanam, R. e Raffiee, K. (1995a). “Specification and Estimation of the Effect of Ownership on the Economic Efficiency of the Water Utilities”. *Regional Science and Urban Economics* 25, pp. 759-784.
- Bhattacharyya, A., S.C. Kumbhakar e A. Bhattacharyya (1995b). “Ownership Structure and Cost Efficiency: A Study of Publicly Owned Passenger-Bus Transportation Companies in India”, *Journal of Productivity Analysis*, 6:1 (Abril), pp. 47-62.
- Borger, B., Kerstens, K., Moesen, W. e Vanneste, J. (1994). “Explaining Differences in Productive Efficiency: An Application to the Belgian Municipalities”, *Public Choice*: 80, pp. 339-358.
- Bosworth, D., Stoneman, P. e Roe, J. (1994). “Water and Sewerage Industries: General Efficiency and the Potential for Improvement”, *OFWAT*.
- Bottasso, Anna, Conti, M. (2004). “Regulated Competition and Cost Efficiency in the English and Welsh Water Industry”. *Mimeo DIEM, Università di Génova*.
- Byrnes, P. (1985). “Ownership and Efficiency in the Water Supply Industry: An Application of the Nonparametric Programming Approach to Efficiency Measurement”. *Tese de doutoramento. Departamento de Economia, Universidade de Illinois, Outubro*.

- Byrnes, P., Grosskopf, S. e Hayes, K. (1986). "Efficiency and Ownership: Further Evidence", *Review of Economic and Statistics*, vol. 68, pp. 337-341.
- Burgess e Wilson (1993). "Technical Efficiency in Veterans Administration Hospitals". Em Fried, H.O., Lovell, C.A.K. e Schmidt, S. S. Eds. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*.
- Cavin, E. S. e Stafford, F.P. (1985). "Efficient Provision of Employment Service Outputs: a Production Function Analysis". *Journal of Human Resources*, vol. 20, pp. 484-503.
- Charnes, A., Cooper, W.W.W. e Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision-Making Units". *European Journal of Operations Research*, 2, pp. 429-444.
- Charnes, A.; Cooper, W.W., Lewin, A.Y. e Seiford, L.M. (1995). "Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications". Kluwer.
- Coelli, T. (1996a). "A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Frontier Production Function Estimation". CEPA Working Paper 96/07, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, Australia.
- Crain, W. M. e Zardkoohi, A. (1978). "A Test of the Property Rights Theory of the Firm: Water Utilities in the United States", *Journal of Law and Economics*, vol.21, pp. 149-165.
- Crampes, C., Diette, N. e Estache, A. (1997). "What Could Regulators Learn From Yardstick Competition?" *Lessons from Brazil's Water and Sanitation Sector*, Mimeo, the World Bank, Washington, D.C.
- Cubbin, J. e Tzanidakis, G. (1998). "Regression Versus Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement: An Application to the England and Wales Regulated Water Industry", *Utilities Policy*, vol.7, pp.75-85.
- Debreu, G. (1951). "The Coefficient of Resource Utilization", *Econometrica*, 19:3 (Julho), pp. 273-292.
- Estache, A. e Kouassi, E. (2002a). "Sector Organization, Governance and the Inefficiency of African Water Utilities". *World Bank Research Working Paper* n° 2890.
- Estache, A. e Rossi, M. A. (2002b). "How Different Is the Efficiency of Public and Private Water Companies in Asia?" *The World Bank Economic Review*, vol.16, n°1, pp. 139-148.
- Fare, R., Grosskopf, S. e Weber, W., (1989) "Measuring School District Performance ", *Public Finance Quarterly*, 17, pp. 409-428.
- Fare, R., Grosskopf, S. e Lovell, C. A. K. (1994). "Production Frontiers". Cambridge University Press.
- Farrel, M. J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120 (3): pp. 253-290.
- Feigenbaum, S. e R. Teeples (1983). "Public Versus Private Water Delivery: A Hedonic Cost Approach", *Review of Economics and Statistics*, vol. 65, pp. 672-678.
- Filippini, M. e Maggi, R. (1993). "Efficiency and Regulation in the Case of the Swiss Private Railways". *Journal of Regulatory Economics*, 5, pp. 199-216.
- Ford, J. L., e Wardford, J. J. (1969). "Cost Functions for the Water Industry". *Journal of Industrial Economics*, 18 (1), pp. 53-63.
- Fraquelli, G. e Moiso, V. (2005). "The Management of Cost Efficiency in the Italian Water Industry". Working Paper aceite na XXXII Conferência Anual de EARIE, European Association for Research in Industrial Economics- Porto, 1-4 de Setembro.
- Garcia, S. e A. Thomas (2001). "The Structure of Municipal Water Supply Costs: Application to a Panel of French Local Communities". *Journal of Productivity Analysis*, 16, pp. 5-29.
- Hammond's, C. J. (1986). "Estimating the Statistical Cost Curve: An Application of the Stochastic Frontier Technique", *Applied Economics*, vol.18, pp. 971-984.
- Hollingsworth, B., (1997). "A Review of Data Envelopment Analysis Software". *The Economic Journal*, pp. 1268-1270.
- Hollingsworth, B., (1999). "Data Envelopment Analysis and Productivity Analysis: a Review of the Options". *The Economic Journal*, pp. 458-462.
- Hunt, L. C. e Link, E. L. (1995). "Privatisation and Efficiency in the UK Water Industry: An Empirical Analysis". *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 57, n°3, pp. 371-388.
- Instituto Nacional de Estatística (INE), [1997, 1998, 1999, 2000, 2001 e 2002]. "Inquérito ao Ambiente – Caracterização do Saneamento Básico". *Estatísticas do Ambiente*.
- Kim, H.Y., Clarke, R. (1988). "Economies of Scale and Scope in Water Supply". *Regional Science and Urban Economics*, 18, pp. 479-502.
- Koopmans, T.C. (1951). "An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities". em Koopmans, T.C., ed., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph N° 13, New York: Wiley.
- Levitt, M. S. e Joyce M. A. S. (1987). "The Growth and Efficiency of Public Spending". Cambridge: University Press.
- Lovell, C. A. K. (1993). "Production Frontiers and Productive Efficiency", em Fried, H.O., Lovell, C.A.K. e Schmidt, S. S. Eds. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*.
- Mayston, D. e Schmidt, P. (1987a). "Measuring Efficiency in the Public Sector". *Omega, the International Journal of Management Science*, vol. 15, pp. 181-189.
- Mayston, D. e Schmidt, P. (1987b). "Performance Assessment in the Educational Sector. Educational and Economics Perspectives". *Oxford Review of Education*, 13, pp. 249-266.
- McGuire, A. (1987). "The Measurement of Hospital Efficiency". *Social Science and Medicine*, vol.24, pp. 719-724.
- Meeusen, W. e van den Broeck, J. (1977). "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error", *International Economic Review*, 18:2, pp. 435-44.
- Melfi, Catherine A., 1984. "Estimating and Decomposition of Productive Efficiency in a Panel Data Model: An Application to Electric Utilities". PhD. dissertation, The University of North Carolina at Chapel Hill.
- Mizutani F. e Urakami, T. (2001). "Identifying Network Density and Scale Economies for Japanese Water Supply Organizations". *Regional Science*, 80, pp. 211-230.
- Pedraja, F. e Salinas-Jiménez, J. (1996a). "Eficiencia del Gasto Público en Educación Secundaria, una Aplicación de la Técnica Envolvente de Datos", *Hacienda Pública Española*, 138, pp. 87-95.
- Perelman, Sergio, (1988). "Technical Performance in Public Enterprises". *European Economic Review*, 32, pp. 432-441. North-Holland.
- Renzetti, S. J. (1992). "Evaluating the Welfare Effects of Reforming Municipal Water Prices". *Journal of Environmental Economics and Management*, 22, pp. 147-163.
- Renzetti, S. J. (1999). "Municipal Water Supply and Sewage Treatment Costs, Prices and Distortions". *Canadian Journal of Economics*, 32, (3), pp. 688-704.
- Rugiero, J. (1996). "On the Measurement of Technical Efficiency in the Public Sector". *European Journal of Operational Research*, 90, pp. 553-565.
- Sawkins, J. (2001). "The Development of Competition in the English and Welsh Water and Sewerage Industry". *Fiscal Studies*, 22, 2, pp. 189-215.
- Schmidt, P. (1976). "On the Statistical Estimation of Parametric Frontier Production Functions", *Review of Economics and Statistics*, 58:2

(Maio), pp. 238-39.

Schmidt, P. (1986). "Frontier Production Functions". *Econometric Reviews*, vol.4, pp. 289-328.

Shephard, R. W. (1953). "Cost and Production Functions". Princeton: Princeton University Press.

Silva, S. A. Ana (2006). "Medición de la Eficiencia en el Servicio Público de Distribución de Agua en Portugal". Tese de doutoramento. Universidade da Extremadura- Badajoz, Espanha.

Simar, L. e P. Wilson (2000). "A General Methodology for Bootstrapping in Nonparametric Frontier Models",

Stewart, M. (1993). "Modelling Water Costs 1992-1993. Further Research into the Impact of Operating

Stevenson, R. E. (1980). "Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation", *Journal of Econometrics* 13, pp. 57-66.

Teeples, R. e Glycer D. (1987). "Production Function for Water Delivery Systems: Analysis and Estimation Using Dual Cost Function and Implicit Price Specifications". *Water Resources Research*, 23, pp. 765-773.

Valinas, M. A. G. (2002). "Tarifación Óptima para el Servicio de Agua en las Ciudades: Aplicación a Tres Municipios Españoles". Tese de doutoramento, Departamento de Economía, Universidad de Oviedo.

Wicksell, K. (1896). "A New Principle of Just Taxation". *Finanz Theoretische Untersuchungen*, Jena.