UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) NA MENSURAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PRESTADORAS DE SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO: UM ENFOQUE NO DESEMPENHO DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ (COSANPA)

USE OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) TO MEASURE THE EFFICIENCY OF PROVIDING WATER SERVICES AND SANITATION: A FOCUS ON THE PERFORMANCE OF COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ (COSANPA)

Raphael de Paiva Barbosa
(Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - Universidade Federal do Pará - UFPA)
economistaufv@hotmail.com

Ana Paula Vidal Bastos
(Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - Universidade Federal do Pará - UFPA)
pbastos@ufpa.br

Submissão: 01/03/2013
Aprovação: 13/01/2014

RESUMO

No presente estudo, utiliza-se a técnica de programação matemática não paramétrica, denominada Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), para avaliar a eficiência relativa das prestadoras regionais brasileiras de serviços de água e esgotamento sanitário, com especial destaque para a Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA). O intuito é identificar e analisar as Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units – DMUS*) com as melhores práticas operacionais, segundo os insumos empregados e os produtos gerados, sugerindo um plano de medidas para a otimização do desempenho das operadoras ineficientes. Como resultado, verificou-se a existência de 7 prestadores tecnicamente eficientes,

destacando-se as companhias com participação do capital privado (SANEPAR-PR e SANEATINS-TO) como principais parceiros de excelência para as unidades ineficientes. Por outro lado, a COSANPA demonstrou desempenho muito inferior à média nacional, além de apresentar ineficiências técnica e de escala.

Palavras-chave: DEA. *Benchmarking*. Eficiência. Saneamento. COSANPA.

ABSTRACT

The article uses the mathematical programming method non-parametric Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the relative efficiency of Brazilian regional providers of water services and sanitation, with particular emphasis on the results of Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA). The aim is to identify and analyze the decision-making units (DMUS) with operational best practices, according to the inputs used and final products, suggesting an action plan in order to optimize the performance of the inefficient units. As a result, was verified the existence of 7 providers technically efficient, especially the private capital companies (SANEPAR-PR and SANEATINS-TO) as main partners of excellence for the inefficient units. On the other hand, COSANPA showed well below the national average performance, in addition to presenting technical and scale inefficiencies.

Keywords: DEA. Benchmarking. Efficiency. Sanitation. COSANPA.

1. Introdução

Ao longo das últimas décadas, o setor de infraestrutura de saneamento brasileiro vem passando por um intenso processo de reestruturação. A conjunção de baixo crescimento econômico, aumento do desemprego, aceleração dos índices de inflação e descontrole fiscal, vivenciada pelo país nos anos 1980, comprometeu enormemente a capacidade do Estado de manter o modelo centralizado de financiamento dos serviços de utilidade pública.

Essa piora do cenário macroeconômico, aliada à escassez de fontes de financiamentos, levou à derrocada do principal programa brasileiro de implantação e expansão dos serviços de água e esgotamento sanitário, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA).

Instituído em 1971 e considerado um dos mais notáveis programas de saneamento do mundo, o PLANASA apresentava como diretrizes de planejamento: a eliminação do déficit de abastecimento de água e esgoto; a autonomia financeira do setor, mediante a consolidação dos Fundos de Água e Esgoto (FAEs) estaduais; o desenvolvimento e consolidação das Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs); a adoção dos mecanismos de subsídios cruzados segundo o poder aquisitivo; e a gestão superior da Política Nacional de Saneamento por parte do governo federal (NOZAKI, 2007, p. 20).

A eficácia relativa do plano pode ser comprovada pelos estudos censitários (IBGE, 1970, 1980, 1991) que demonstram o acentuado e constante aumento dos índices de cobertura. Mesmo com o acelerado crescimento da população urbana, que passou de 52 milhões em 1970 para 111 milhões em 1991, os investimentos realizados durante a vigência do plano conseguiram expandir a cobertura urbana dos serviços tanto de abastecimento de água, que passou de 46% em 1970 para 81% em 1991, quanto de esgotamento sanitário, que saltou de 44% para 64% no mesmo período.

Embora seja inegável a importância do plano na ampliação do acesso aos serviços de água e esgoto, principalmente nos grandes centros urbanos, a experiência demonstrou que o emprego de vultosos recursos públicos no setor não logrou a melhoria efetiva das práticas produtivas. Pelo contrário, conforme ressalta Arretche:

> O volume e a forma de obtenção de recursos no período auge do PLANASA permitiram a generalização de práticas gerenciais caracterizadas pela noção de que decisões de investimentos lesivas aos interesses dos beneficiários ou da própria empresa de saneamento poderiam ser compensadas por novos aportes de recursos […] dando origem à concepção dominante, segundo a qual necessidades de ampliação da escala e da qualidade dos serviços somente poderiam ser resolvidas pela construção de novas obras. (1999, p. 85)

Contudo, a partir da década de noventa, com as promulgações das Leis nºs 8.987/95 e 9.074/95, que regulamentam os regimes de concessão e permissão dos serviços públicos no país, percebe-se uma clara tendência de incentivo à participação privada nos setores de infraestrutura como forma de contornar o contingenciamento dos recursos estatais e reduzir a dívida pública, a partir das receitas oriundas da privatização.

Da mesma forma, a melhoria da eficiência operacional das prestadoras de serviços de saneamento passa a ser encarada como um dos principais desafios para a modernização e ampliação dos serviços, como o evidenciado no excerto abaixo:

> Para modernizar o setor saneamento é preciso, em linhas gerais, eliminar ineficiências e maximizar os processos de produção, distribuição e comercialização de serviços, com vistas a preparar as instituições do setor para responder adequadamente às seguintes necessidades: aumentar, a partir de esquemas técnico-econômico-financeiros auto-sustentáveis, a cobertura dos serviços em áreas urbanas e rurais; incorporar novas ações complementares e inadiáveis na área de saneamento ambiental, como tratamento de resíduos sólidos e líquidos, recuperação de áreas degradadas e drenagem; melhorar a qualidade dos serviços prestados à população; e modernizar práticas, processos e métodos de gestão. (BRASIL, 1995, v. 6, p. 26)

Paralelamente aos estudos de orientação técnica produzidos pelos órgãos governamentais, diversas produções acadêmicas passaram a abordar a temática da mensuração e criação de indicadores de eficiências para os serviços de saneamento, adotando tanto a abordagem paramétrica quanto a não paramétrica.

Os testes paramétricos aplicam-se a amostras extraídas de populações com distribuição normal e variâncias iguais ou muito próximas, além de exigirem que as medidas sejam feitas em escalas numéricas intervalares, suscetíveis de tratamento matemático. Já os não paramétricos ou de distribuição livre, apesar de possuírem a mesma finalidade e serem aplicáveis às mesmas situações, não se apoiam na hipótese de

que as populações analisadas possuem distribuição normal, podendo ser utilizados em uma gama maior de casos (RODRIGUES, 2010, p. 31).

No presente estudo, em decorrência da impossibilidade de se estabelecer, *a priori*, uma forma funcional para o ambiente em questão, tendo em vista que o setor de saneamento não opera sobre as livres leis de mercado e possui unidades produtivas com diferentes portes, será utilizada a técnica de programação matemática não paramétrica denominada Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*).

O intuito é determinar a eficiência relativa de cada uma das prestadoras de serviços de saneamento do conjunto, comparando-a com as demais, e identificando a unidade (ou grupo) que opera mais eficientemente seus recursos. A partir do estudo deste conjunto de companhias com as melhores práticas produtivas, serão identificados os parceiros de excelência que servirão de base para a projeção de melhorias de desempenho das unidades ineficientes. Paralelamente à análise principal, realizar-se-á a comparação do desempenho operacional da Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA) com as demais prestadoras de serviços.

Desta forma, esse artigo, além de contribuir para o entendimento da complexa estrutura de saneamento básico brasileiro, representa uma importante ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisões, com vista à melhoria das práticas operacionais na provisão dos serviços. Não obstante, ao apresentar os escores de eficiências individualizados das unidades produtivas selecionadas, contribui ainda para a melhor compreensão das disparidades regionais de acesso aos serviços de água e esgotamento sanitário, uma vez que a ineficiência na prestação dos serviços é considerada um dos maiores limitantes à modernização e expansão do setor.

Para a concretização dos objetivos propostos é preciso demonstrar os caminhos analíticos utilizados, de modo a compreender o andamento da pesquisa e o plano de redação dos tópicos subsequentes. Sendo assim, a apresentação do trabalho transcorrerá em quatro momentos distintos e complementares, além das considerações introdutórias e conclusivas.

Num primeiro procedimento necessário para sedimentar nossa proposta de pesquisa, será feita uma breve caracterização do setor de saneamento básico.

Posteriormente, proceder-se-á à descrição do método da Análise por Envoltória de Dados (DEA), assim como a apresentação de estudos nacionais e internacionais que utilizam este ferramental analítico.

No terceiro momento, será realizado o detalhamento da estruturação do modelo a ser empregado, mediante a seleção das unidades produtivas, das variáveis de avaliação (*inputs e outputs*), e do Modelo DEA básico (CCR ou BCC) e sua orientação a insumo ou a produto.

Por fim, são apresentadas as análises dos resultados do modelo DEA (eficiência, alvos, *benchmarks* e folgas) calculados com o uso do *software* SIAD (ANGULO MEZA *et al*., 2005).

2. Características do setor de saneamento básico

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento pode ser definido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem-estar físico, mental e social (MOTA, 1999, p. 405). Abarca uma grande diversidade de atividades com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural, tais como: o abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana e controle de doenças transmissíveis.

A noção de saneamento básico, enfoque principal deste trabalho, é um pouco mais restrita, e abarca mais especificamente os sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto. A limitação da amplitude desses serviços está positivada no Decreto nº 82.587, de novembro de 1978.

> Art. 2º. […]
> Os serviços públicos de saneamento básico compreendem:
> a) os sistemas de abastecimento de água definidos como conjunto de obras, instalações e equipamentos que têm por finalidade captar, aduzir, tratar e distribuir a água.
> b) Os sistemas de esgotos, definidos como conjunto de obras, instalações e equipamentos que têm por finalidade, coletar, transportar e dar destino final às águas residuárias ou servidas. (BRASIL, 1978, p. 1)

As atividades de saneamento básico possuem características próprias que as classificam como monopólios naturais. Na definição de Braeutigam (1989), o monopólio natural descreve que a uma dada tecnologia da indústria ou características do serviço e com produto único, o consumidor pode ser atendido por uma única firma que opera a custo mínimo ou receita líquida máxima. Neste caso, o custo médio declina com o aumento da produção, e, portanto, uma única firma consegue servir o mercado com custos médios menores que quaisquer outras empresas rivais entrantes.

Dessa forma, ao contrário do que ocorre em outras atividades, a intervenção estatal busca favorecer a emergência de um único prestador de serviços de saneamento visando à redução de custos e o benefício da coletividade, além do bom uso dos bens públicos pelos operadores do serviço, assegurando que a produção pelo monopólio seja a baixos custos e a um nível socialmente ótimo.

Outras especificidades do setor são elencadas por SAIANI (2007, p. 31), conforme o exposto:

(i) existência de economias de escalas e/ou densidade – os custos de expansão e de manutenção das redes tendem a diminuir à medida que aumentam a quantidade e concentração dos domicílios conectados;

(ii) existência de economia de escopo – ao produzir diferentes produtos em uma única planta os custos diminuem;

(iii) custos fixos elevados em capital altamente específicos (*sunk cost)* – custos irreversíveis;

(iv) inviabilidade econômica da duplicação de redes de água e esgoto – a rede de canalização, tanto de abastecimento de água como de coleta de esgoto, é o principal componente dos custos totais;

(v) especificidade dos ativos – inexistência de usos alternativos e baixo valor de revenda;

(vi) investimentos têm altas escalas de inversão – retornos de longa maturação e custos crescentes ligados à preservação do meio ambiente;

(vii) serviços públicos e meritórios, sem substituto direto e com caráter social – serviços de água e esgoto são identificados como os que possuem o maior caráter social entre todas as indústrias de utilidade pública;

(viii) essencialidade superior aos demais serviços públicos – a água é fundamental para a sobrevivência, e serviços adequados de esgoto reduzem a incidência de diversos tipos de doenças;

(ix) consumo de massa;

(x) serviços geram externalidades – sobre o meio ambiente, a saúde e o desenvolvimento urbano e econômico.

Convém destacar que as economias de escala e escopo (i e ii) são características importantes dos monopólios naturais, mas isoladamente não definem essa condição. No caso dos serviços de água e esgoto, o fato de existir redução dos custos advindos da administração conjunta não implica que os dois sejam uma mesma empresa. Embora dividam custos, principalmente administrativo, os serviços de saneamento não podem ser operados pelas mesmas redes e seus processos industriais têm fluxos diferentes. Dessa forma, cada uma das atividades, constitui, separadamente, um monopólio natural.

Considerando essas especificidades, a análise da eficiência no setor de saneamento básico representa uma importante ferramenta de controle das atividades e de auxílio ao processo de tomada de decisões, com vista à melhoria das práticas operacionais. Os tópicos subsequentes apresentam a aplicação da técnica DEA na determinação da eficiência relativa das operadoras de serviços de água e esgotamento sanitário no Brasil.

3. O método da Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*)

A Análise por Envoltória de Dados é uma técnica de programação matemática não paramétrica utilizada para medir a eficiência relativa de unidades semelhantes e independentes, denominadas Unidades Tomadoras de Decisão (DMU, da sigla em inglês *Decision Making Units*), a partir dos recursos empregados (*inputs*) e dos produtos gerados (*outputs*).

O método permite identificar o conjunto de DMUs que determina a fronteira de produção eficiente, mensurar a ineficiência das unidades fora da fronteira e as taxas de substituição (pesos) que determinam cada região e caracterizam as relações de valor que sustentam a classificação desta região como eficiente.

Na DEA, as DMUs realizam tarefas similares e diferenciam-se pelas quantidades de insumos que consomem e dos produtos resultantes. Considera-se que o conjunto de possibilidade de produção, deve satisfazer determinadas propriedades, não havendo suposições sobre a fronteira propriamente dita. O conjunto de produção é limitado pela fronteira de produção composta por aquelas que são mais eficientes. A determinação das DMUs eficientes é feita por meio da resolução, para cada uma delas, de um sistema de equações lineares definida para mensurar o nível de eficiência de cada DMU.

Em outros termos, a técnica permite uma análise de eficiência comparativa, demonstrando como uma DMU está operando em relação às demais, obtendo um retrato do grupo. Neste modelo fechado, não é possível fazer qualquer comparação sobre uma DMU avaliada com outra fora do grupo estudado, ou sobre variáveis que não as escolhidas previamente.

Ressalta-se, ainda, que a DEA está incorporada a uma série de modelos, com diversas possibilidades interpretativas, dentre os quais se destacam: o CCR ou CRS, acrograma de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que pressupõe retornos constantes de escala (*constant return to scale)* e o modelo BCC ou VRS desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), que considera retornos variáveis *(variable returns to scale).* Quanto à orientação, as medidas podem ser orientadas a insumo ou a produto.

A primeira formulação do modelo CCR tem orientação a insumo e pode ser expressa pelas seguintes relações matemáticas:

$$\boldsymbol{Maximizar\lambda_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{\mathrm{rK}}} \qquad \textbf{(1)}$$

sujeito a

$$\boldsymbol{\sum_{r=1}^{m} u_r y_{\mathrm{rJ}} - \sum_{i=1}^{n} v_i X_{\mathrm{iJ}} \leq 0} \qquad \textbf{(2)}$$

$$\boldsymbol{\sum_{r=1}^{n} v_i x_{ik} = 1} \qquad \textbf{(3)}$$

$$\boldsymbol{u_r, v_i \geq 0} \qquad \textbf{(4)}$$

y = produtos; x = insumos; u,v = pesos

r = 1,..., *m*; *i* = 1, ...,n; *j* = 1,..., *N*

Este modelo procura minimizar o emprego de insumos de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado, expresso pela maximização do somatório das quantidades produzidas *y* multiplicado pelos pesos *u*.

As equações 2 e 3 representam as restrições do modelo, sendo a segunda expressa pela subtração entre o somatório das quantidades produzidas multiplicadas pelos pesos dos produtos ($\sum_{r=1}^{m} u_r y_{rj}$) e o somatório do produto dos insumos consumidos pelos pesos ($\sum_{i=1}^{n} v_i X_{ij}$), limitado a 0, e a terceira pelo resultado do somatório do produto das quantidades consumidas de insumos pelos pesos específicos para a DMU K ($\sum_{i=1}^{n} v_i X_{ik} = 1$).

A solução desta programação matemática resulta em valores de eficiência **(λ_k)** que situam entre 0 e 1. Se o resultado da eficiência **(λ_k)** for igual à unidade, a DMU é 100% eficiente, caso contrário **(0< λ_k <1)**, ela será considerada ineficiente.

De maneira análoga, formula-se o modelo CCR orientado a produto, conforme o disposto abaixo. Neste caso, porém, o intuito da programação é maximizar a produção a partir da melhor utilização dos insumos.

$$\boldsymbol{Minimizar \lambda_k = \sum_{i=1}^{n} v_i x_{iK}} \qquad \textbf{(5)}$$

sujeito a

$$\sum_{r=1}^{m} u_r y_{rJ} - \sum_{i=1}^{n} v_i X_{iJ} \leq 0 \qquad \textbf{(6)}$$

$$\sum_{r=1}^{n} u_r y_{rk} = 1 \qquad \textbf{(7)}$$

$$u_r, v_i \geq 0 \qquad \textbf{(8)}$$

Y = produtos; x = insumos; u,v = pesos

r = 1,..., m; i= 1, ...,n; j=1,..., N

O modelo BCC nada mais é que uma extensão do CCR, e ao pressupor que as DMUs apresentam rendimentos variáveis de escala ao longo de sua fronteira, admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção. Abaixo, a formulação matemática do Modelo BCC, com orientação a insumo:

$$\boldsymbol{Maximizar} \sum_{r=1}^{m} u_r y_{rk} - u_k \qquad \textbf{(9)}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_{ik} = 1 \qquad \textbf{(10)}$$

$$\sum_{r=1}^{m} u_r y_{rJ} - \sum_{i=1}^{n} v_i X_{iJ} - u_k \leq 0 \quad (11)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (12)$$

y = produtos; x = insumos; u,v = pesos

r = 1,..., *m*; *i* = 1, ...,n; *j* = 1,..., *N*

Neste caso, foi introduzida a variável U_k, que representa os rendimentos variáveis de escala. Ressalta-se que esta variável não deve atender necessariamente à restrição de positividade, podendo assumir valores inferiores a 0.

Segundo a orientação ao produto, o modelo BCC pode ser expresso da seguinte forma:

$$Minimizar \sum_{i=1}^{n} v_i x_{ik} + v_k \quad (13)$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^{n} u_r y_{rk} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{r=1}^{m} u_r y_{rJ} - \sum_{i=1}^{n} v_i X_{iJ} - v_k \leq 0 \quad (15)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (16)$$

y = produtos; x = insumos; u,v = pesos

r = 1,..., *m*; *i* = 1, ...,n; *j* = 1,..., *N*

A notação V_k representa novamente rendimentos de escalas variáveis, podendo assumir valores positivos ou negativos. O modelo admite a variação da produtividade máxima em função da escala de produção, permitindo, portanto, a utilização de DMUs de tamanhos diferentes.

Conforme Ferreira e Gomes (2009, p. 123), a operação com eficiência técnica global (ETG) das DMUs com retornos constantes de escala, quando comparada com a operação com retornos variáveis de escala, pode ser decomposta em duas formas de eficiência produtiva: a pura eficiência técnica local (PET) em condições de retornos variáveis e a eficiência de escala (EFE). Desse modo:

$$\theta^*_{CCR} = \theta^*_{BCC} \text{ x EFE tal que EFE} = \theta^*_{CCR} / \theta^*_{BCC}, \text{ sendo EFE} \leq 1 \quad (17)$$

Quando $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}} = \boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{BCC}}$ a eficiência de escala será igual a 1. A EFE resulta do nível de produção mais adequado (com retornos constantes de escala), em razão da tecnologia adotada, situação denominada MPSS (*most product scale size)*. Caso $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}} \neq \boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{BCC}}$, é possível afirmar apenas, que a unidade produtiva não atua com retornos de escala constante, ou, em outras palavras, opera com rendimentos não decrescentes (RND) ou não crescentes (RNC) (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 123).

Um dos métodos mais utilizados para a análise detalhada dos rendimentos de escala é o Seiford-Zhu, que pode ser assim resumido (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 123):

Caso1: se $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}} = \boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{BCC}}$, então $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}}$, e $\sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{\lambda_k} = \mathbf{1}$;

Caso 2: se $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}} \neq \boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{BCC}}$, então pode resultar em 2 situações:

2.1. Se $\sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{\lambda_k} < 1$, em qualquer resultado $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}}$, haverá rendimentos crescentes de escala

2.2. Se $\sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{\lambda_k} > 1$, em qualquer resultado $\boldsymbol{\theta}^*_{\boldsymbol{CCR}}$, haverá rendimentos decrescentes de escala.

Além das possibilidades analíticas apresentadas até o momento, a técnica DEA pode ainda ser utilizada no estudo dos *benchmarkings*. Segundo Gariba Junior (2005, p. 116), *benchmarking* é um procedimento de pesquisa, contínuo e sistemático, pelo qual se realizam comparações entre organizações, objetos ou atividades, criando-se um padrão de referência. A solução do modelo DEA fornece uma ou mais DMUs eficientes, que poderão servir de parceiro(s) de referência para as DMUs ineficientes.

Embora a abordagem DEA represente um grande avanço, tanto por possibilitar o trabalho com múltiplos recursos e múltiplos resultados, quanto por propiciar a obtenção de um indicador que atenda ao conceito de eficiência de Pareto-Koopmans, apresenta algumas limitações. A este respeito, Anderson *et al*. (1997 *apud* Niederauer, 1998, cap. 3, p. 3) ressaltam que:

(i) por ser uma técnica de ponto extremo, ruídos, tais como erros de medição, podem comprometer a análise;

(ii) como é uma técnica não paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas;

(iii) por criar um programa linear para cada DMU em análise, problemas extensos podem levar a um tempo computacional elevado;

(iv) a DEA estima bem o desempenho relativo, mas tem pouco a dizer sobre o desempenho absoluto; e

(v) a técnica impossibilita a comparação de desempenho de uma DMU analisada com outra fora do grupo, assim como de variáveis que não as previamente selecionadas no modelo.

Antes de adentrarmos na estruturação do modelo a ser empregado, interessante apresentar, ainda, uma breve revisão de importantes estudos nacionais e internacionais que utilizaram a DEA para analisar a eficiência no setor de saneamento.

Quadro 1 – Estudos de mensuração da eficiência do setor de saneamento utilizando a técnica DEA

Autor (ANO)	**Descrição**	**País**	**Variáveis Utilizadas**	**Método**
Aida *et al.* (1998)	Avaliação da possibilidade de uso da DEA como ferramenta para avaliar o desempenho dos prestadores de serviços de água, sob as leis de águas do Japão.	Japão	*INPUT (5)* - Quantidade Equivalente de Pessoal; - Despesa de Exploração; - Ativo Produtivo; - População Total do Município Atendido; - Extensão da Rede de Água. *OUTPUT (2)* - Volume de Água Consumido; - Receita Operacional de Água.	DEA-BCC orientado a *output*
Thanassoulis (2000)	Utilização da DEA para estabelecer limites de preços para revisão de tarifas, fixadas pelo OFWAT (*Office of Water Service*), na Inglaterra e Gales.	Inglaterra	*OUTPUT (3)* - Número de conexões servidas; - Comprimento da Rede de Água; - Quantidade de Água Entregue. *INPUT (1)* - Despesas Operacionais.	DEA-BCC orientado a *output*.
Castro (2003)	Verificação da aplicabilidade da metodologia DEA ao setor de saneamento brasileiro.	Brasil	*OUTPUT (4)* - Volume de Água Consumido; - Extensão da Rede de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Esgoto. *INPUT (1)* - Despesas de Exploração.	DEA-BCC orientado a *output*.

Carmo e Távora Jr. (2003)	Utilização da DEA para mensurar as eficiências técnica e econômica dos prestadores de serviços de saneamento de abrangência estadual.	Brasil	*OUTPUT (4)* - Volume de Água Faturado; - Volume de Esgoto Faturado; - Quantidade de Economias Ativas de Água; - Quantidade de Economias Ativas de Esgoto. *INPUT (5)* - Mão De Obra; - Volume de Água Produzido; - Volume de Esgoto Coletado; - Extensão da Rede de Água; - Extensão da Rede de Esgoto.	DEA-CCR; DEA-BCC-orientados a *output*.
Cruz e Ramos (2013)	Utilização da DEA para analisar a eficiência da Gestão do Saneamento Básico e seus impactos sobre a promoção da saúde.	Brasil	*OUTPUT (1)* - Número de Crianças, Acima de 5 Anos que Sobrevivem. *INPUT (5)* - Cobertura por Redes de Abastecimento de Água; - Cobertura por Redes Coletoras de Esgoto; - Grau de Urbanização; - Médicos por Grupos de 1.000 habitantes; - PIB *Per Capita*.	DEA-BCC orientado a *output*.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. A modelagem do problema

Para a estruturação do modelo DEA, utilizou-se a base de informações disponibilizada pelo Ministério das Cidades, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), referente aos serviços de água e esgoto no ano de 2010.

O SNIS possui o maior banco de dados do setor de saneamento, abrangendo os aspectos operacionais, administrativos, econômico-financeiro, contábeis e de qualidade dos serviços, dispostos por grupos de mesmas características e de forma separada para água e esgoto. A coleta é realizada a partir da submissão de formulários eletrônicos aos prestadores de serviços, com informações discriminadas segundo o perfil do prestador, abrangência, natureza jurídica e o tipo de serviço prestado (BRASIL, 2010, p. 2).

Como forma de manter uma maior confiabilidade dos dados, o sistema utiliza como parte de sua metodologia a prévia análise da consistência das informações recebidas, estabelecendo contato direto em caso de necessidade de complementação ou

correção dos dados informados. Passado esse momento, uma versão preliminar do Diagnóstico, contendo tabelas com as informações e o cálculo dos indicadores, é encaminhada aos prestadores de serviços para correções, críticas e sugestões, que são incorporadas na versão final do documento (BRASIL, 2006, p. 2).

Para a definição das unidades produtivas utilizadas no estudo, inicialmente, foram pré-selecionadas as 27 prestadoras de serviços de abrangência regional, conceituadas como entidades legalmente constituídas para administrar serviços e operar sistemas, atendendo a vários municípios com sistemas isolados ou integrados (BRASIL, 2010, Glossário, p. 38).

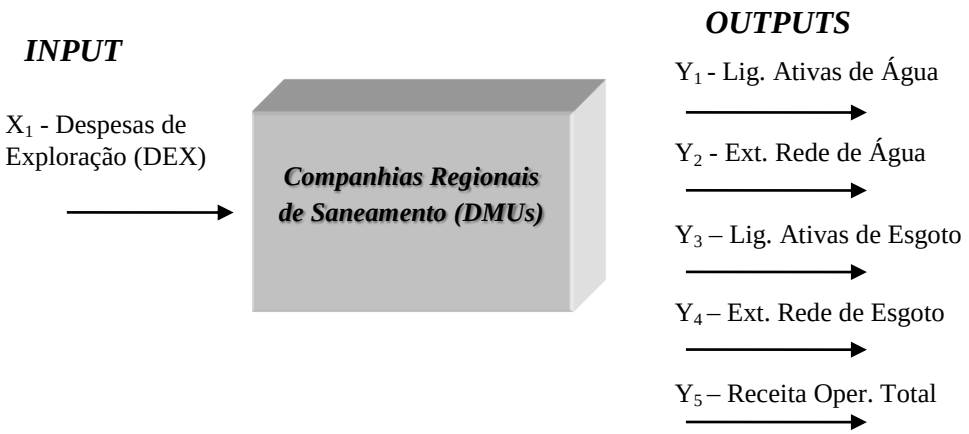
Posteriormente, foram excluídas da amostra 3 companhias que não apresentaram todas as informações, ou que indicaram prestar somente um dos serviços, água ou esgoto. Esta medida buscou aumentar a confiabilidade do estudo, uma vez que se entende que as empresas que não prestaram todas as informações podem não dispor da organização suficiente para fornecimento dos dados com a qualidade e confiabilidade necessárias. Da mesma forma, as unidades que indicaram prestar somente o serviço de água poderiam ter os seus resultados otimizados, uma vez que a provisão de água é realizada a um menor custo que a de esgoto.

O conjunto de 24 DMUs selecionado apresenta os requisitos propostos por Angulo Meza *et al* (2005) para a seleção das unidades, quais sejam: o conjunto deve ser homogêneo, isto é, realizar as mesmas tarefas; utilizar comumente as mesmas entradas e saídas, variando somente a intensidade; trabalhar nas mesmas condições de mercado; e ter autonomia na tomada de decisões.

As variáveis foram definidas a partir da adaptação dos trabalhos que utilizaram a abordagem não paramétrica para avaliar a eficiência relativa dos serviços de água esgoto (AIDA *et al*., 1998; THANASSOULIS, 2000; CASTRO, 2003). Considerou-se ainda a recomendação empírica de que o número de DMUs utilizado deve ser, no mínimo, 2 a 3 vezes o quantitativo de variáveis.

Desta forma, o modelo ficou estruturado com 1 *input* (X_1) e 5 *outputs* $(Y_1...Y_5)$, conforme Figura 1.

Figura 1 – Ilustração da modelagem do problema



Fonte: Elaborada pelos autores.

As variáveis selecionadas contemplam informações financeiras e operacionais com grande representatividade na provisão dos serviços de água e esgotamento sanitário, conforme as especificações abaixo:

(i) *Input 1 (X_1)* – Despesas de Exploração (1.000 R$/ano) – representa o valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada, Esgoto Exportado, Despesas Fiscais ou Tributárias computadas na DEX, além de Outras Despesas de Exploração;

(ii) *Output 1 (Y_1)* – Quantidade de Ligações Ativas de Água (unidade) – representa o número de ligações ativas de água à rede pública, provida ou não de hidrômetro;

(iii) *Output 2 (Y_2)* – Extensão da Rede de Água (Km) – representa o comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, operada pelo prestador de serviços;

(iv) *Output 3 (Y_3)* – Quantidade de Ligações Ativas de Esgoto (unidade) – quantidade de ligações ativas de esgoto à rede pública;

(v) *Output 4 (Y_4)* – Extensão da Rede de Esgoto (Km) – representa o Comprimento total da malha de coleta de esgoto, incluindo redes de

coleta, coletores-tronco e interceptores, e excluindo ramais prediais e emissários de recalque, operados pelo prestador de serviços;

(vi) *Output 5 (Y_5)* – Receita Operacional Direta Total (1.000 R$/ano) – valor faturado anual decorrente das atividades-fim do prestador de serviços, resultante da exclusiva aplicação de tarifas e/ou taxas.

Definidos o grupo de DMUs e as variáveis, a escolha do modelo DEA com retornos variáveis (BCC), considerou as próprias especificidades do setor de saneamento básico, caracterizado pela existência de economias de escalas e de escopo, e das características da amostra selecionada, composta por unidades com os mais diferentes portes. A este respeito, Belloni (2000, p. 69) afirma que o Modelo BCC, ao trabalhar com uma fronteira convexa, considera as unidades com baixos níveis de consumo de insumos como unidades operadas com retornos crescentes de escalas e vice-versa. Assim, este modelo admite que a eficiência máxima varie em função da economia de escala e permite comparar unidades de portes distintos.

A escolha da orientação a produtos (*outputs*) é coerente com a necessidade de expansão do setor, buscando-se analisar como aumentar a cobertura dos serviços de água e esgotamento sanitário, mantendo-se inalteradas as quantidades de insumos empregados no processo produtivo.

Por fim, importante destacar que para efeito de decomposição das medidas de eficiências técnicas e de escala, os resultados do Modelo BCC serão confrontados com as informações obtidas a partir do Modelo CCR (rendimentos constantes).

6. Resultados e análises

A Tabela 1 apresenta as 24 unidades utilizadas no estudo, assim como os valores do *input* e dos *outputs* utilizados no modelo. As companhias SABESP-SP, COPASA-MG e SANEPAR-PR apresentam os resultados mais expressivos, tanto para a cobertura de água quanto de esgoto, referente ao número de ligações ativas e à extensão da rede. Quanto às receitas operacionais totais, a CEDAE-RJ (2ª), entra no grupo das três maiores, conjuntamente com a SABESP-SP (1ª) e a COPASA-MG (3ª).

Tabela 1 – Informações financeiras e operacionais das prestadoras de serviços de saneamento de abrangência regional, ano 2010

DMUs	*INPUT (Insumo)*	*OUTPUTS (Produtos)*				
	Despesas de Exploração	**Ligações Ativas de Água**	**Extensão da Rede de Água**	**Ligações Ativas de Esgoto**	**Extensão Rede de Esgoto**	**Receita Operac. Total**
CASAL-AL	149.872	334.060	3.992	37.713	355	213.820
CAESA-AP	40.029	59.797	957	6.201	118	35.546
EMBASA-BA	988.331	2.416.316	29.533	658.336	6.264	1.433.286
CAGECE-CE	448.283	1.334.068	10.581	432.274	3.855	639.785
CAESB-DF	719.826	563.662	8.166	446.336	5.113	952.616
CESAN-ES	285.682	520.892	6.754	129.753	1.567	432.715
SANEAGO-GO	634.985	1.475.987	21.444	599.258	6.735	953.128
CAEMA-MA	300.744	526.695	6.640	102.874	1.028	202.407
COPASA-MG	1.637.412	3.482.857	42.285	1.974.689	16.642	2.591.685
SANESUL-MS	150.644	382.576	5.887	52.731	992	219.874
COSANPA-PA	195.743	393.137	5.430	12.024	558	182.897
CAGEPA-PB	380.562	713.861	4.372	169.560	1.038	391.211
COMPESA-PE	653.884	1.576.227	13.677	275.572	3.098	777.574
AGESPISA-PI	325.113	539.683	4.765	37.159	483	244.759
SANEPAR-PR	989.960	2.547.388	42.144	1.372.520	23.743	1.589.671
CEDAE-RJ	1.669.342	2.113.668	20.432	1.164.230	8.557	3.455.119
CAERN-RN	257.021	590.847	5.823	121.732	1.230	329.394
CAERD-RO	100.422	112.336	2.876	1.716	43	102.411
CAER-RR	34.025	86.854	1.671	13.524	208	42.419
CORSAN-RS	1.364.112	1.698.052	24.852	131.156	1.932	1.373.110
CASAN-SC	440.607	667.584	11.749	50.666	1.203	538.644
DESO-SE	268.927	436.823	6.171	69.685	878	279.221
SABESP-SP	4.248.146	6.558.559	65.379	5.238.431	44.287	7.655.226
SANEATINS	115.817	326.214	7.109	49.745	991	183.249
TOTAL	**16.399.489**	**29.458.143**	**352.689**	**13.147.885**	**130.918**	**24.819.767**

Fonte: SNIS (2010).

Na Tabela 2 estão dispostos os escores de eficiência resultantes do modelo DEA com rendimentos variáveis e orientado a *output*, calculados com o uso do *software* SIAD (ANGULO MEZA *et al*., 2005), e o posicionamento das 24 Unidades de Tomadas de Decisão.

Destaca-se a existência de sete DMUs tecnicamente eficientes (apresentaram indicador igual a 100%) – CAGECE-CE, COPASA-MG, SANEPAR-PR, CEDAE-RJ, CAER-RR, SABESP-SP e SANEATINS-TO –, o que equivalente a 29,2%

do conjunto analisado. Essas companhias produzem em um nível compatível com a quantidade de insumo empregado.

Por outro lado, 17 unidades apresentaram algum grau de ineficiência técnica por não alocar da melhor maneira os recursos produtivos. Neste grupo, encontra-se a COSANPA, 16ª no ranqueamento geral, com um nível de eficiência de 69,13%, o que pressupõe a possibilidade de significativos incrementos em seus produtos sem, necessariamente, aumentar as Despesas de Exploração.

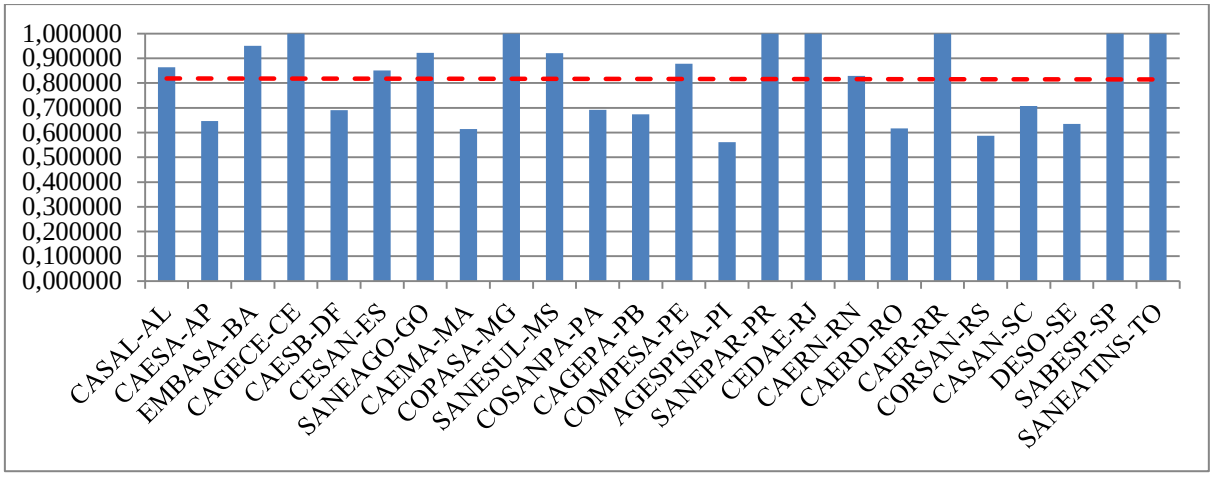
Tabela 2 – Escores de eficiência das companhias estaduais de saneamento

DMU	BCC	Posição	DMU	BCC	Posição
CAGECE-CE	100,00%	1	CESAN-ES	85,08%	13
COPASA-MG	100,00%	1	CAERN-RN	82,93%	14
SANEPAR-PR	100,00%	1	CASAN-SC	70,75%	15
CEDAE-RJ	100,00%	1	COSANPA-PA	69,13%	16
CAER-RR	100,00%	1	CAESB-DF	69,09%	17
SABESP-SP	100,00%	1	CAGEPA-PB	67,41%	18
SANEATINS-TO	100,00%	1	CAESA-AP	64,69%	19
EMBASA-BA	94,99%	8	DESO-SE	63,53%	20
SANEAGO-GO	92,16%	9	CAERD-RO	61,63%	21
SANESUL-MS	92,05%	10	CAEMA-MA	61,42%	22
COMPESA-PE	87,83%	11	CORSAN-RS	58,68%	23
CASAL-AL	86,42%	12	AGESPISA-PI	56,09%	24

Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir do Gráfico 1 é possível observar ainda que 10 operadoras apresentaram desempenhos inferiores à média (81,83%), representada pela linha pontilhada, destacando-se negativamente o resultado da AGESPISA-PI, com o indicador de 56,09%.

Gráfico 1 – Escores de eficiência e média de desempenho das DMUs



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o estudo das possibilidades de melhorias das DMUs ineficientes é importante introduzir a análise de *Benchmarking*. O modelo DEA adotado pressupõe retornos variáveis com a restrição de convexidade, possibilitando identificar os melhores parceiros que servirão de referência para as companhias tecnicamente ineficientes.

A Tabela 3 exibe a relação de todas as DMUs com seus respectivos parceiros de excelência. As DMUs ineficientes espelham o padrão de eficiência que deve ser alcançado, identificado pelo valor do parâmetro λk (k=1,...7), das 7 DMUs eficientes entre as 24 do conjunto em análise.

Tabela 3 – Parceiros de excelência, modelo BCC orientado a *output*

DMU	*CAGECE* (λ_1)	*COPASA* (λ_2)	*SANEPAR* (λ_3)	*CEDAE* (λ_4)	*CAER* (λ_5)	*SABESP* (λ_6)	*SANEATINS* (λ_7)
CASAL	0,0000	0,0000	0,0174	0,0121	0,0000	0,0000	0,9705
CAESA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037	0,9963	0,0000	0,0000
EMBASA	0,0030	0,0000	0,9970	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CAGECE	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CAESB	0,0000	0,0000	0,1859	0,2853	0,5189	0,0099	0,0000
CESAN	0,0000	0,0000	0,0745	0,0674	0,0000	0,0000	0,8581
SANEAGO	0,0000	0,0000	0,5578	0,0203	0,0000	0,0000	0,4219
CAEMA	0,3766	0,0000	0,0683	0,0000	0,0000	0,0000	0,5551
COPASA	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SANESUL	0,0055	0,0000	0,0378	0,0000	0,0000	0,0000	0,9568
COSANPA	0,2452	0,0000	0,0000	0,0000	0,0195	0,0000	0,7354
CAGEPA	0,3683	0,0000	0,1628	0,0000	0,0000	0,0000	0,4689

COMPESA	0,6204	0,0000	0,3796	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
AGESPISA	0,6724	0,0000	0,0000	0,0000	0,1744	0,0000	0,1532
SANEPAR	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CEDAE	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CAERN	0,1686	0,0000	0,0974	0,0000	0,0000	0,0000	0,7340
CAERD	0,0000	0,0000	0,0000	0,0158	0,4878	0,0000	0,4964
CAER	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
CORSAN	0,0000	0,0000	0,8141	0,0898	0,0000	0,0961	0,0000
CASAN	0,0000	0,0000	0,2437	0,0719	0,0000	0,0000	0,6843
DESO	0,0000	0,0000	0,1524	0,0128	0,0000	0,0000	0,8348
SABESP	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
SANEATINS	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
TOTAL	**8**	**0**	**13**	**9**	**5**	**2**	**12**

Fonte: Elaborada pelos autores.

Embora pela análise da técnica não paramétrica empregada seja possível observar 7 operadores com eficiência igual a 1, nem todos possuem a mesma relevância na amostra. Conforme o apresentado na Tabela 3, a SANEPAR-PR e a SANEATINS-TO são mais importantes do que as outras prestadoras, dado que influenciam a eficiência de um conjunto maior de outras unidades. Em outras palavras, contribuem mais efetivamente como parceiros de excelência para as unidades ineficientes, tendo os seus parâmetros espelhados por 13 e 12 DMUs, respectivamente.

Um aspecto importante a ser ressaltado é que as duas companhias são as únicas do grupo a possuir a participação do capital privado. Referente à natureza jurídica, a SANEPAR-PR é uma Sociedade de Economia Mista com Administração Privada, definida como entidade paraestatal, criada por lei, com capital público e privado, com participação dos sócios privados na gestão dos negócios onde um ou mais dirigentes são escolhidos e designados por sócios privados. A SANEATINS é uma Empresa Privada, caracterizada por possuir capital predominantemente ou integralmente privado, administrada exclusivamente por particulares. Todas as demais 22 DMUs são Sociedades de Economia Mista com Administração Pública, entidade paraestatal, criada por lei, com capital público e privado, sendo a maioria pública nas ações com direito a voto, e com a gestão exclusivamente pública, onde todos os dirigentes são indicados pelo poder público (BRASIL, 2010, Glossário, p. 38-41).

Em uma posição diametralmente oposta encontra-se a COPASA-MG, que, embora tenha apresentado o escore de eficiência 100%, não compõe o conjunto de

referência de nenhuma DMU ineficiente. Esta situação de eficiência isolada indica que a companhia alcançou a fronteira com uma composição de recursos e resultados que não atende a outra unidade.

No caso específico da COSANPA, dentre as sete DMUs eficientes, três aparecem como *benchmark*, CAGECE-CE, CAER-RR e SANEATINS-TO. Em outros termos, estas companhias indicam o que precisa ser melhorado nos *input* e *outputs* da regional paraense para que ela possa ser considerada eficiente. Dentre estas, a SANEATINS-TO por apresentar o maior parâmetro positivo (0,7354) é considerada seu principal parceiro de excelência.

A partir do conjunto de referência, pode-se ainda, calcular os *outputs* ideais para as companhias ineficientes, propondo os aumentos necessários dos produtos para que se tornem eficientes como seus *benchmarks*. A Tabela 4 apresenta, além do somatório dos *outputs* atuais das 24 DMUs, a soma dos *outputs* ideais projetados pelo modelo (situação ótima condicionada às restrições de convexidade do Modelo DEA-BCC), e os potenciais de melhorias para cada *output*.

Tabela 4 – Melhoramentos potenciais globais dos *outputs*

VARIÁVEIS	OUTPUTS ATUAIS	OUTPUTS IDEAIS	MELHORIAS (%)
Ligações Ativas de Água (un.)	29.458.143	34.059.686	15,62%
Extensão da Rede de Água (Km)	352.689	453.677	28,63%
Ligações Ativas de Esgoto (un.)	13.147.885	18.159.412	38,12%
Extensão da Rede de Esgoto (km)	130.918	215.626	64,70%
Receita Operac. Total (mil R$/ano)	24.819.767	28.101.171	13,22%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Importante salientar que os resultados dispostos nas colunas “Outputs Ideais” e “Melhorias” expressam quantitativamente a busca pela excelência operacional das DMUs que não detêm as melhores práticas, com base nos parâmetros de eficiência do modelo proposto.

Desta forma, em um cenário com todas as 24 unidades operando com eficiência técnica, o número de ligações ativas de água seria 15,62% superior à atual, alcançando a marca de 34.059.686 unidades, dispostas em uma malha com o comprimento total de aproximadamente 453.677 quilômetros.

A projeção para os serviços de esgoto demonstra possibilidades de melhorias ainda mais significativas. Seria possível superar a marca de 18 milhões de unidades ligadas a redes coletoras de esgotos, além de expandir em 64,70% a extensão total da malha. O valor total faturado pelo conjunto das CESBs avaliado seria 13,22% maior, superando os 28,1 bilhões de reais ao ano.

Pela análise individualizada das prestadoras, observa-se que, a companhia de saneamento paraense, por apresentar uma baixa eficiência técnica, possui metas ainda mais distantes da realidade atual. Com a Despesa de Exploração (DEX) apresentada pela COSANPA, em 2010, considerando uma situação operacionalmente ótima, seria possível disponibilizar os serviços de água a 568.673 ligações ativas. A rede distribuidora de água poderia ser incrementada em 44,65%, alcançando o comprimento de 7.854,50 quilômetros.

Quanto ao esgotamento sanitário, da mesma forma que o verificado na análise agregada, a discrepância entre o produto atual da companhia e a produção potencial máxima alcançável é ainda mais acentuada. Prova disso é que, atualmente, existem apenas 12.024 unidades ligadas à rede coletora, quantitativo muito aquém das 142.833 previstas para um cenário com produção eficiente. Não obstante, a extensão da rede deveria ser superior ao triplo da atual, chegando a 1.678 quilômetros.

Neste contexto com melhores práticas operacionais, o valor faturado pela COSANPA resultante da provisão dos serviços de água e esgoto seria de aproximadamente R$292.447.760,07 ao ano, montante 59,90% superior às receitas operacionais apresentadas.

Tabela 5– Melhoramentos potenciais dos *outputs* da COSANPA

VARIÁVEIS	OUTPUTS ATUAIS	OUTPUTS IDEAIS	MELHORIAS (%)
Ligações Ativas de Água (un.)	393.137	568.673	44,65%
Extensão da Rede de Água (Km)	5.430	7.854,50	44,65%
Ligações Ativas de Esgoto (un.)	12.024	142.833	1087,95%
Extensão da Rede de Esgoto (km)	558	1.677,99	200,72%
Receita Operac. Total (mil R$/ano)	182.897	292.447,07	59,90%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Através da Envoltória de Dados, é possível ainda decompor a eficiência técnica em pura eficiência técnica e eficiência de escala. Com este intuito, foi aplicado o

modelo DEA CCR (retornos constantes) ao mesmo conjunto de dados utilizados na programação do modelo BCC (retornos variáveis). Para as DMUs que apresentaram discrepância nos escores de eficiências, foi realizado adicionalmente o método Seiford-Zhu para a determinação do tipo de rendimento (crescente ou decrescente), conforme o apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Medidas de eficiências técnica e de escala e tipo de rendimento

DMU	Medidas de Eficiência Técnica		Eficiência de Escala	Tipo de Rendimento
	BCC- *output*	CCR-*output*		
CASAL-AL	0,864229	0,862097	0,9975	Crescente
CAESA-AP	0,646896	0,550158	0,8505	Crescente
EMBASA-BA	0,949907	0,905216	0,9530	Crescente
CAGECE-CE	1,000000	1,000000	1,0000	Constante
CAESB-DF	0,690943	0,684351	0,9905	Crescente
CESAN-ES	0,850785	0,846068	0,9945	Crescente
SANEAGO-GO	0,921589	0,916255	0,9942	Crescente
CAEMA-MA	0,614213	0,599715	0,9764	Crescente
COPASA-MG	1,000000	0,937767	0,9378	Decrescente
SANESUL-MS	0,920538	0,914997	0,9940	Crescente
COSANPA-PA	0,691324	0,691084	0,9997	Crescente
CAGEPA-PB	0,674107	0,663948	0,9849	Crescente
COMPESA-PE	0,878316	0,817674	0,9310	Decrescente
AGESPISA-PI	0,560895	0,559844	0,9981	Crescente
SANEPAR-PR	1,000000	1,000000	1,0000	Constante
CEDAE-RJ	1,000000	1,000000	1,0000	Constante
CAERN-RN	0,829251	0,817715	0,9861	Crescente
CAERD-RO	0,616341	0,595081	0,9655	Crescente
CAER-RR	1,000000	0,897341	0,8973	Crescente
CORSAN-RS	0,586761	0,566481	0,9654	Crescente
CASAN-SC	0,707482	0,688413	0,9730	Crescente
DESO-SE	0,635322	0,627673	0,9880	Crescente
SABESP-SP	1,000000	1,000000	1,0000	Constante
SANEATINS-TO	1,000000	1,000000	1,0000	Constante

Fonte: Elaborada pelos autores.

Pelos resultados apresentados, constata-se que, do conjunto de sete operadores considerados eficientes no modelo com retornos variáveis, cinco se mantiveram no DEA CCR. Como a Eficiência de Escala é definida pela razão das eficiências resultantes dos modelos CCR e BCC, seu valor também foi igual a 1. Em

outros termos, a CAGECE-CE, SANEPAR-PR, CEDAE-RJ, SABESP-SP e SANEATINS-TO operam com rendimentos constantes, considerada a melhor situação possível MPSS (*Most Product Scale Size)*, em que se observa a combinação de escala produtiva ótima com ausência de desperdícios de recursos.

A COPASA e a CAER-RR, apesar de tecnicamente eficientes, não produzem em uma escala ótima. Através do método Seiford-Zhu é possível afirmar, ainda, que a causa da ineficiência de escala é diferente para as DMUs analisadas. A companhia roraimense opera com rendimentos crescentes de escala, o que significa que ela pode aumentar a produção mediante a incorporação de insumos, mantendo, porém, as relações entre as quantidades de produtos e insumos. Já a prestadora mineira opera acima da escala ótima, o que sugere que a produção poderia ser aumentada mediante medidas de aumento da produtividade dos fatores produtivos, sem necessariamente utilizar maior quantidade de insumos. Nesta situação, o aumento da produção ocorreria a custos crescentes.

O grande número de companhias apontadas como ineficientes no método BCC e que atuam com rendimentos crescentes de escala pode ser explicado, em parte, pelas próprias características das atividades de saneamento básico. Em decorrência dos elevados custos fixos, os custos operacionais tendem a decrescer fortemente com o acréscimo de uma nova ligação ativa. Como o quantitativo de unidades ligadas à rede geral ficou aquém do ideal, é plausível inferir que os custos fixos da operação foram pouco diluídos entre o número de ligações, corroborando para esta conclusão. Ressalta-se ainda que esta tendência deve ser mais evidente para as companhias de pequeno porte.

Pelos resultados apresentados, a COSANPA apresenta tanto ineficiência técnica quanto de escala. Além de não maximizar os produtos mediante a quantidade de insumo utilizada, a companhia atua em uma escala abaixo da ótima. Como estratégia para melhoria de desempenho, torna-se necessário que o incremento da produção seja acompanhado da redução da proporção entre a quantidade de recursos utilizada e os produtos gerados.

7. Considerações finais

Conforme o apresentado ao longo deste artigo, a técnica não paramétrica DEA, por possibilitar a mensuração do desempenho comparativo de unidades semelhantes e a projeção de metas de melhorias para as DMUs ineficientes, pode ser considerada uma poderosa ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisões, tanto por parte dos gestores das companhias regionais de saneamento, no processo de planejamento e monitoramento da execução dos serviços, quanto pelas autoridades, na implementação de novas estratégias e na própria regulação das atividades do setor.

A partir dos resultados do modelo com rendimentos variáveis e orientação a produto, pôde-se constatar que a oferta dos serviços de saneamento básico no país encontra-se bastante comprometida pelo baixo desempenho das prestadoras de serviços. Menos de 1/3 das DMUs avaliadas operam em um nível tecnicamente eficiente.

Isto se reflete nas possibilidades de melhorias apresentadas na análise de *Benchmarking*, onde, a partir da adoção de melhores práticas produtivas pelas unidades ineficientes, seria possível alcançar significativos incrementos tanto no quantitativo de unidades ligadas à rede pública de saneamento, quanto no comprimento total da malha de distribuição de água e coleta de esgoto. Como consequência, a projeção do valor faturado anualmente pelo conjunto das companhias supera o arrecadado atualmente.

Pela avaliação da Eficiência de Escala constatou-se que 19 DMUs do conjunto operam com rendimentos de escala não constante, não atingindo a escala de produção mais efetiva com a tecnologia empregada.

Mais especificamente, ao avaliar o desempenho da COSANPA, verificou-se que além do escore de eficiência muito abaixo da média nacional, a companhia apresenta a conjunção de ineficiências técnica e de escala, comprovando uma provisão dos serviços abaixo do nível ótimo e com um custo operacional alto. Por não ser capaz de imprimir em seus serviços atributos de eficiência produtiva, é plausível considerar (caso não ocorra o financiamento das atividades pelo Estado) que as tarifas médias praticadas pela companhia são superiores à média nacional. Aliando esta constatação à limitada capacidade de pagamento pelos serviços pela maior parte da população

paraense,[1] fica difícil vislumbrar um cenário de melhoria do acesso aos serviços de água e esgotamento sanitário no estado.

Imprescindível salientar, ainda, que embora não tenha sido objeto desse trabalho apresentar uma distinção dos resultados das companhias, segundo a natureza jurídica, o aparecimento das 2 únicas prestadoras regionais com participação do capital privado, como principais *Benchmarks* do modelo, sugere a necessidade de um enfoque mais detalhado sobre as recentes parcerias na gestão da prestação dos serviços.

Pelo exposto, fica evidente que as análises apresentadas corresponderam a um pequeno esforço de entendimento da provisão dos serviços de água e esgotamento sanitário no país, sem a pretensão de esgotar a ampla possibilidade de interpretações que as informações aqui dispostas permitem.

Por fim, convém enfatizar que os indicadores calculados devem ser utilizados com cautela, uma vez que os modelos determinísticos DEA são extremamente benevolentes e altamente dependentes da qualidade dos dados utilizados. Da mesma forma, as eficiências relativas calculadas devem ser utilizadas somente para o conjunto de observação selecionado. A entrada ou saída de uma ou mais DMUs e/ou variáveis no modelo pode causar alterações nos indicadores do modelo.

[1] Conforme dados do IBGE (2010), o estado do Pará possuía, em 2010, o 4º menor rendimento total mensal domiciliar do país.

Referências

AIDA, Kazuo *et al*. Evaluating Water Supply Services in Japan with RAM: a Range-adjusted Measure of Inefficiency. **Omega- International Journal of Management Science**, v. 26, n. 2, p. 207-232, 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048397000728>. Acesso em: 09 nov. 2012.

ANDERSON, David; SWEENEY, Dennis; WILLIAMS, Thomas. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

ANGULO MEZA, Lídia; MELLO, João Carlos; GOMES, Eliane; NETO, Luiz. Curso de Análise de envoltória de dados. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), XXXVII, Gramado-RS. **Anais...** Gramado, 2005. p. 2520-2547.

ANGULO MEZA, Lídia *et al*. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a Software Package for Data Envelopment Analysis Model. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, (3), p. 493-503, 2005.

ARRETCHE, Marta. Política Nacional de Saneamento: A Reestruturação das Companhias Estaduais. In: IPEA.**Temas especiais**: infra-estrutura. Perspectivas de Reorganização. IPEA, Brasília, p. 79-106, 1999.

BANKER, Rajiv; CHARNES, Abraham; COOPER, William. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**. v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. Disponível em: http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.9.1078. Acesso em: 10 nov. 2012.

BELLONI, José Ângelo. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras**. 2000. 246p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2000.

BRAEUTIGAM, R. R. Optimal Policies for Natural Monopolies. In: SCHMALENSEE, R.; WILLIG, R. D. **Handbook of Industrial Organization**. New York: North-Holland, 1989. v. 2, p. 1290-1346.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 82.587, de novembro de 1978**. Disponível em: <www.senado.gov.br>. Acesso em: 8 jan. 2014.

BRASIL. **Lei nº 8.987 de 13 de fevereiro de 1995**. **Lei de Concessões**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987cons.htm>. Acesso em: 12 out. 2012.

BRASIL. **Lei nº 9.074 de 7 julho de 1995**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm>. Acesso em: 12 out. 2012.

BRASIL. Ministério do Bem-Estar Social. Secretaria de Saneamento. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Regulação da Prestação de Serviços de Saneamento**: análise comparada da legislação internacional. Brasília: 1995. 41 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgoto – 2006 a 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=95>. Acesso em: 10 out. 2012.

CARMO, Cynthia Melo; TAVORA JÚNIOR, José Lamartine. **Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA**. Encontro Nacional de Economia, Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia – ANPEC, XXI, 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro, BA, 2003. p. 1- 19.

CASTRO, Carlos Eduardo. **Avaliação da eficiência gerencial de empresas de água e esgotos brasileiras por meio da Envoltória de Dados (DEA)**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2003. (Originalmente apresentada como Dissertação de Mestrado).

CHARNES, Abraham; COOPER, William; RHODES, Edward. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. In: CHARNES, Abraham *et al. Data Envelopment Analysis:* Theory, Methodology, and Application. Massachusetts (EUA): Kluwer, 1997.

CRUZ, Carlos Eduardo; RAMOS, Francisco de Souza. **Eficiência na gestão do saneamento básico e seus impactos sobre a promoção da saúde**: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados – DEA, 2013. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2012/docs/sim2_mesa4_eficiencia_gestao_saneamento_basico.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2014.

FERREIRA, Carlos Maurício; GOMES, Adriano Provezano. **Introdução à Análise Envoltória de Dados**: teoria modelos e aplicações. Viçosa: Editora UFV, 2009.

GARIBA JUNIOR, Maurício. **Um modelo de avaliação de cursos superiores de tecnologia baseado na ferramenta**. 2013. 304p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/tese.asp>. Acesso em: 12 jan. 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos demográficos (1970**, **1980**, **1991)**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao>. Acesso em: 8 jan. 2013.

MOTA, Seroa. Saneamento. In: ROUQUAYROL, M. Z.; ALMEIDA FILHO, N. **Epidemiologia e saúde**. 5. ed. Rio de Janeiro: MEDSI Editora Médica e Científica, 1999. p. 405-429.

NIEDERAUER, C. A. P. **Avaliação dos bolsistas de produtividade em pesquisa da engenharia de produção utilizando Data Envelopment Analysis**. 1998. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

NOZAKI, Vitor. **Análise do setor de saneamento básico no Brasil**. Ribeirão Preto: FEA/USP, 2007. (Originalmente apresentado como Dissertação de Mestrado da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – FEA/USP).

RODRIGUES, William Costa. **Estatística aplicada**. 8. ed. rev. e ampl. Creative Commons Licence, 2010. Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/br>. Acesso em: 20 out. 2012.

SAIANI, Carlos César. **Restrições às expansões de investimentos em saneamento básico no Brasil**: déficit de acesso e desempenho dos prestadores. Ribeirão Preto: ESALQ-USP, 2007. (Originalmente apresentado como Dissertação de Mestrado da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ-USP).

THANASSOULIS, Emmanuel. The Use of Data Envelopment Analysis in the Regulation of UK Water Utilities: Water Distribution. **European Journal of Operational Research**. v. 126, p. 436-453, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/ pii/S0377221799003033>. Acesso em: 9 nov. 2012.