

Seleção de variáveis em análise por envoltória de dados na análise da eficiência do instrumento da cobrança pela água bruta no setor do abastecimento público nas bacias cearenses por meio da ferramenta computacional SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão)

Selection of variables in data envelopment analysis of the raw water charging instrument's efficiency in the public supply sector in Ceará's basins through computational tool SIAD (Integrated System for Decision Support)

- **Data de entrada:**
08/06/2015
- **Data de aprovação:**
19/09/2016

Marcus Vinícius Sousa Rodrigues*/Marisete Dantas de Aquino/Antônio Clécio Fontelles Thomaz/

DOI:10.4322/dae.2017.002

Resumo

A cobrança pela água no Ceará teve início no ano de 1996, adotando como base de cálculo apenas o consumo efetivo, não fazendo uma distinção entre captação e consumo. Sabe-se que múltiplos são os fatores que podem ser usados em uma análise de eficiência do instrumento de cobrança em uma bacia hidrográfica. Para uma avaliação que considera simultaneamente vários fatores, utiliza-se um modelo de análise multicritério. O objetivo principal deste trabalho consiste em realizar uma análise da eficiência relativa da cobrança pelo uso da água bruta do setor do abastecimento público nas bacias hidrográficas cearenses por meio da aplicação da análise por envoltória de dados, de modo a obter um diagnóstico do setor em todo o Estado. A AED pode ser definida como uma ferramenta de programação matemática não paramétrica que é utilizada para comparar eficiências (desempenhos) de várias unidades que realizam tarefas semelhantes. A medida de eficiência foi obtida por meio da modelagem de AED com retorno de escala variável (o modelo BCC), com uma orientação a produto. As cobranças nas bacias do Curu e Metropolitana, de um total de 11 bacias, apresentaram-se com eficiência relativa máxima (igual a 100%). O instrumento de cobrança em todo o Estado pode ser considerado eficiente, uma vez que a eficiência média de todo o conjunto analisado foi igual a 91,04%. A pesquisa desen-

Marcus Vinícius Sousa Rodrigues* – mestre e doutor em Engenharia Civil, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Adjunto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas (DCETH), Campus Angicos, Angicos (RN). E-mail: marcus@ufersa.edu.br.

Marisete Dantas de Aquino – doutora em Meio Ambiente Recursos Hídricos, mestre em Ciências e Técnicas de Meio Ambiente, ambos na École Nationale des Ponts et Chaussées (França). Mestre em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora Titular da Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Campus do Pici, Fortaleza (CE).

Antônio Clécio Fontelles Thomaz – doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e mestre em Informática pela Pontifícia Universidade Católica (PUC) do Rio de Janeiro. Professor Titular Aposentado da Universidade Federal do Ceará (UFC) e Professor Adjunto da Universidade Estadual do Ceará (UECE), Centro de Ciências e Tecnologia, Campus do Itaperi, Fortaleza (CE).

***Endereço para correspondência:** Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas, Campus de Angicos, CEP: 59515-000, Alto da Alegria, Angicos - RN.

volvuda neste trabalho pode ser considerada bastante inovadora ao aplicar a ferramenta de AED para avaliar o desempenho de um instrumento de uma política pública, tal como a cobrança pela água bruta. Recomenda-se fortemente o uso desta metodologia científica como apoio ao processo de tomada de decisão no setor de gerenciamento dos recursos hídricos para o cálculo de indicadores de desempenho de seus instrumentos.

Palavras-chave: Seleção de variáveis. Eficiência relativa. Cobrança pelo uso da água. Abastecimento público.

Abstract

The charge for water in Ceara began in 1996, taking as a basis for calculating only the actual consumption, without distinguishing between capture and consumption. It is known that the factors which can be used in an efficiency analysis of the collection instrument in a watershed are multiple. For an evaluation that simultaneously considers various factors, a multi-criteria analysis model is used. The main objective of this study is to conduct an analysis of the relative efficiency of charging for the use of raw water from the public supply sector in Ceara's basins through the application of data envelopment analysis in order to obtain a diagnosis of the sector in all the state. The DEA can be defined as a mathematical programming tool nonparametric which is used to compare efficiency (performance) of multiple units, which perform similar tasks. The measured efficiency was obtained by the DEA modeling variable scale return (BCC model), with guidance product. Charges in Curu and Metropolitana basin, a total of 11 basins, presented with maximum relative efficiency (exceeding 100%). The charge tool around the state can be considered efficient, since the average efficiency of the analyzed set was equal to 91.04%. The research developed in this work could be very innovative in applying the EDA tool to evaluate the performance of an instrument of public policy, such as charging for raw water. the use of this scientific methodology to support the process of decision making in the management sector of water resources for the performance indicators calculation of their instruments is strongly recommended.

Keywords: Variables select. Relative efficiency. Charging for use of water. Public supply.

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará foi um dos Estados que se anteciparam à União ao instituir uma política de recursos hídricos, por meio da Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992. Posteriormente, essa lei foi substituída pela Lei nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a Política do Estado do Ceará de Recursos Hídricos (PERH).

O Brasil, no entanto, só viria a instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) no ano de 1997. Assim, em 8 de janeiro de 1997 é promulgada a Lei Federal nº 9.433, na qual se estabelece a cobrança pelo uso da água como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. “A cobrança pelo uso da água pode ser uma poderosa ferramenta na promoção da conservação e do uso eficiente da água (AQUINO et al., 2013).”

A PERH-CE adota instrumentos de gerenciamento, tais como a cobrança pelo uso da água bruta e a outorga pelo direito de uso da água. A cobrança e a outorga são instrumentos que podem ser considerados complementares. Segundo Rodrigues; Aquino (2013), “a outorga pelo uso da água deve preceder a cobrança pelo uso da água, não devendo esses instrumentos serem tratados independentemente”.

A cobrança pelo uso da água bruta no Ceará já é aplicada desde o ano de 1996, sendo inicialmente regulamentada pelo Decreto nº 24.264, de 12 de novembro de 1996. A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) é o órgão responsável pelo gerenciamento da oferta hídrica cearense. Cabe a essa companhia, que atua como uma espécie de agência para todas as

bacias, realizar o cálculo e efetivar a cobrança pela água bruta (RODRIGUES, 2014).

Atualmente, está em vigor o Decreto nº 31.195, de 16 de abril de 2013, que “dispõe sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do estado do Ceará ou da União por delegação de competência (CEARÁ, 2013)”.

A cobrança pela água bruta, tanto superficial como subterrânea, no Estado do Ceará tem como base de cálculo apenas o consumo efetivo, apresentando um modelo matemático monomial de simples aplicação, dado pela equação:

$$T(u) = T_{ef}V_{ef} \quad (1)$$

onde: $T(u)$ é a tarifa paga pelo usuário pela água bruta, em R\$; T_{ef} é a tarifa padrão de consumo, em R\$/m³; e, V_{ef} é o volume efetivamente consumido durante o mês pelo usuário, em m³.

Conforme Rodrigues; Aquino (2014), “os usos considerados no Estado para a cobrança pela água bruta são: indústria, abastecimento público, irrigação, piscicultura, carcinicultura, água mineral e potável de mesa, e demais usos”.

Desses usos, é possível afirmar que o setor do abastecimento público pode ser considerado uma das categorias de maior relevância em todo o Estado, tanto em consumo de água como em faturamento (e conseqüentemente, arrecadação) com a cobrança pelo uso da água.

O Estado do Ceará possui um total de 184 municípios, com uma população de aproximadamente 6,3 milhões de habitantes. A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) é responsável pelo abastecimento de água de aproximadamente 83% dos municípios cearenses (ANA, 2010). Vale salientar que em alguns municípios cearenses, como é o caso do município de Sobral na região

norte do Estado, os serviços de abastecimento de água são realizados também pelos Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE).

Na Tabela 1 são apresentados os valores das tarifas de consumo T_{ef} cobradas em vigência no Decreto nº 31.195/2013, para o setor do abastecimento público em todo o Estado. Conforme a tabela, uma vez que esses valores são aplicados em todas as bacias cearenses, então, pode-se concluir que a cobrança pode ser considerada uniforme em todo o território cearense.

Tabela 1: Tarifa de consumo para o setor do abastecimento público aplicada nas bacias cearenses

Característica	R\$/1.000 m ³
Região Metropolitana de Fortaleza	105,36
Demais regiões (sem adução da COGERH)	34,79
Demais regiões (com adução da COGERH)	318,51

Fonte: CEARÁ, 2013.

Vale destacar que o setor de abastecimento público é um setor bem estratégico para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois devido ao seu elevado consumo, medidas devem ser asseguradas de modo a garantir a oferta de água para todos, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável e o uso racional desse recurso, conforme a PERH.

Assim, os instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, tais como a cobrança pelo uso da água bruta, devem ser aplicados de forma eficiente em todo o Estado, conforme os regimentos legais relacionados ao uso desse recurso. Entretanto, o que se percebe na prática é que há muitas situações reais que estão em desacordo com as legislações vigentes, caracterizando, assim, uma ineficiência desse gerenciamento.

Logo, definir critérios e variáveis para analisar a eficiência dos instrumentos de políticas públicas, como a cobrança ou outorga pelo uso da água, é

de vital relevância para um bom gerenciamento de águas no Estado do Ceará, e que garanta um uso sustentável da água. Vale salientar que uma análise da eficiência da cobrança pela água bruta no setor do abastecimento pode indicar a situação real do gerenciamento em todo o Estado, além de ser de grande relevância para auxiliar a tomada de decisão por parte dos gestores.

Conforme Athanassopoulos (2012), a avaliação da eficiência é uma grande preocupação por parte dos gestores, e o desenvolvimento de ferramentas para a realização dessa análise se expandiu consideravelmente nos últimos anos.

Várias são as variáveis (ou critérios) que podem ser usadas para avaliar a eficiência da cobrança pelo uso da água bruta, e para uma avaliação que leve em consideração várias variáveis faz-se necessário o uso da metodologia científica de análise multicriterial. De acordo com Trevisan et al. (2011), uma análise como essa visa atribuir uma nota sobre determinado objetivo a ser alcançado, e para isso é feito um equacionamento de que constam os critérios a serem considerados, os pesos atribuídos e uma ordem entre os critérios.

Nesta pesquisa será usada a análise por envoltória de dados (AED), também conhecida como DEA (sigla em inglês de *data envelopment analysis*), como ferramenta multicriterial. Para Mirdehghan; Fukuyama (2016), a AED pode ser definida como um conjunto de técnicas de programação matemática usada para medir o desempenho (ou eficiência) de unidades tomadoras de decisão (UTD), ou DMU (sigla em inglês de *decision making unit*), que convertem múltiplas entradas (ou insumos) em saídas (ou produtos).

A ferramenta da AED é aplicada a um conjunto de unidades produtoras, de modo a estimar o uso dos recursos de forma eficiente e classificar essas unidades com base em suas performances (BANAEIAN; OMID; AHMADI, 2011). Assim, de acordo com Alper; Sinuany-Stern; Shinar (2015), a meto-

dologia DEA divide as unidades avaliadas em dois grupos: as eficientes e as ineficientes.

Segundo Barbosa; Bastos (2014), na avaliação, por meio da AED, de um conjunto de UTDs, é possível obter um diagnóstico de todo o conjunto, uma vez que essa análise permite verificar como uma unidade está operando em comparação com as demais unidades do conjunto.

É importante destacar que uma UTD pode representar qualquer conjunto que realiza fundamentalmente a mesma tarefa com o mesmo conjunto de variáveis (insumos e produtos). Assim, seguem alguns exemplos dos tipos de unidade que foram avaliadas:

- Bancos: Kaya; Cinar (2016);
- Companhias aéreas: Silveira; Soares de Mello; Ângulo Meza (2012);
- Hospitais: Jehu-Appiah et al. (2014);
- Prestadoras de serviços de abastecimento de água e de tratamento de esgoto: Barbosa; Bastos (2014);
- Times de basquete da NBA americana: Aizemberg et al. (2014);
- Tráfego urbano: Alper; Sinuany-Stern; Shinar (2015);
- Unidades acadêmicas de uma universidade: Giacomello; Oliveira (2014);
- Usinas de cana-de-açúcar: Salgado Júnior et al. (2013).

O método AED apresenta uma fragilidade: que quanto maior o número de variáveis (insumos + produtos) em relação ao número de UTDs, menor será a sua capacidade de ordenação pelas medidas de eficiência, uma vez que muitas unidades tendem a ficar na fronteira de eficiência (SENRA et al., 2007). Para contornar esse problema, uma das estratégias é a restrição do número de variáveis usadas para o modelo, por meio da aplicação de um método de seleção de variáveis.

Pode-se afirmar que há uma escassez na literatura nacional de estudos que visem avaliar o desem-

penho (ou eficiência) da aplicação do instrumento de cobrança pela água bruta nas bacias do Estado em suas várias categorias de uso, como é o caso do abastecimento público. Na falta de estudos, a pesquisa visa propor critérios que auxiliem os gestores a avaliar a eficiência do instrumento da cobrança do setor do abastecimento nas bacias cearenses, utilizando para isso uma inovadora ferramenta de AED.

O objetivo principal desta pesquisa consiste em realizar uma análise da eficiência relativa do instrumento de cobrança pelo uso da água bruta do setor do abastecimento público nas bacias hidrográficas cearenses por meio da aplicação da ferramenta de análise por envoltória de dados, de modo a obter um diagnóstico do setor no Estado do Ceará. Para isso serão selecionadas as variáveis mais representativas, dentro de um conjunto proposto de variáveis (insumos e produtos), por meio da aplicação do método multicritério de seleção de variáveis, para compor assim um modelo de avaliação que será usado para o cálculo das eficiências relativas de cada unidade avaliada.

2 METODOLOGIA

2.1 O conceito de eficiência

A AED é uma ferramenta matemática usada para medir a eficiência relativa de um conjunto de UTDs, que utilizam múltiplos insumos para produzir um ou mais produtos. Conforme Cherchye; De Rock; Walheer (2016), a AED é uma técnica não paramétrica, pois não exige uma relação funcional entre insumos e produtos. É importante salientar que para a realização desse tipo de análise torna-se necessário o conhecimento preciso dos seguintes termos: eficácia, produtividade e eficiência.

A eficácia está relacionada ao que foi produzido, sem considerar os recursos empregados na produção. Assim, pode-se definir a eficácia como a capacidade de alcançar uma meta de produção. Em economia, o fato de uma unidade produtiva

ser eficaz não implica que a mesma está sendo produtiva. Logo, além de eficaz, uma unidade deve ser também produtiva (RODRIGUES, 2014).

Conforme Honglan; Ruyun; Xiaona (2014), a produtividade pode ser um importante indicador para medir o grau de desempenho de uma unidade produtiva. Matematicamente, a medida de produtividade total para m insumos e s produtos é dada pela seguinte expressão:

$$\text{Produtividade total} = \frac{\sum_{i=1}^s U_i Y_i}{\sum_{j=1}^m V_j X_j} \quad (2)$$

onde: U_i é o peso do i -ésimo produto, Y_i ($i=1, \dots, s$); e, V_j é o peso do j -ésimo insumo, X_j ($j=1, \dots, m$). É importante salientar que os pesos são atribuídos de forma subjetiva conforme a importância do insumo ou produto.

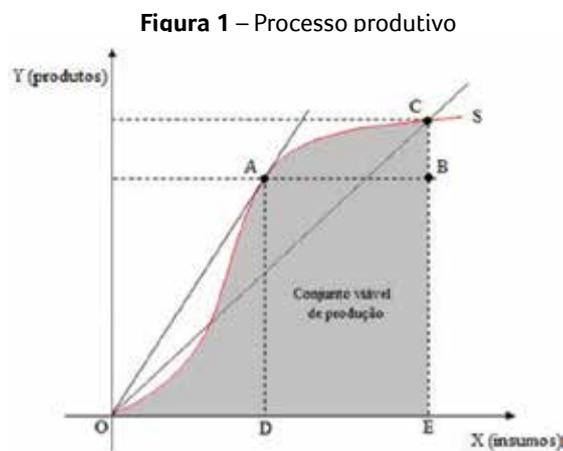
É possível usar a medida de produtividade para comparar desempenhos de várias unidades que utilizam os mesmos recursos para gerar os mesmos produtos, obtendo assim um comparativo entre as mesmas. Vários são os fatores que levam uma unidade a ser mais produtiva que outra e a Equação (2) pode ser usada para investigar a razão pela qual uma unidade produtiva não se apresenta tão produtiva quanto outra.

O conceito de eficiência está relacionado à comparação de produtividade de várias unidades produtivas. Esse conceito é relativo e compara o que foi produzido, dado os insumos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos insumos.

A medida de eficiência de uma unidade produtiva pode ser obtida por meio de uma análise detalhada da relação existente entre insumos e produtos. Vale salientar que existem importantes distinções na forma de fazer essa análise. Os chamados métodos paramétricos supõem uma relação funcional pré-definida entre os insumos e os produtos, enquanto a AED não faz nenhuma relação funcio-

nal e considera que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por intermédio da observação das unidades mais produtivas.

A Figura 1, em que o eixo x representa os insumos e o eixo y representa os produtos, pode ser usada para reforçar o conceito de eficiência usada em AED.



Fonte: RODRIGUES; AQUINO; THOMAZ, 2015.

Dado um conjunto de insumos empregados na fabricação de produtos, a função de produção define uma relação ideal para a produção da quantidade máxima de produtos a partir de determinados insumos.

Conforme a Figura 1, a curva S representa o máximo que foi produzido para cada nível de recurso, sendo chamada de Fronteira de Eficiência, enquanto a área $OACEO$ é chamada de Conjunto Viável de Produção e todo ponto localizado nessa região representa uma atividade produtiva.

Um ponto sobre a curva S indica a quantidade máxima de produtos para um dado nível de insumo, ou ainda a quantidade mínima de insumos necessária para atingir um nível estabelecido de produção, ou seja, representa uma atividade eficiente. Dessa forma, pode-se afirmar que as unidades A e C são consideradas eficientes, entretanto a unidade A é mais produtiva que C , pois a reta OA apresenta um coeficiente angular maior que a da reta OC .

2.2 Modelos matemáticos de AED

A abordagem por AED foi desenvolvida usando a programação linear para avaliar as medidas da eficiência relativa de um conjunto de unidades de produção (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Em cada unidade, as variáveis necessárias para o cálculo da eficiência são divididas em insumos (dados de entrada) e produtos (dados de saída). Para Banker (1993), a AED avalia o grau de eficiência produtiva para várias unidades semelhantes, em que são considerados insumos de que se dispõe com os produtos alcançados.

Segundo Park et al. (2015), a AED é usada para construir uma fronteira eficiente usando as variáveis (ou fatores) de insumo e de produto de cada UTD, e em seguida apresenta uma medida de eficiência relativa para cada UTD. Desde o princípio, as representações gráficas têm sido usadas para mostrar a posição de cada UTD em relação à fronteira de eficiência. Então, para Costa; Soares de Mello; Ângulo Meza (2016), essas representações gráficas são poderosas ferramentas para os tomadores de decisão, uma vez que os gráficos podem mostrar o quão longe ou próxima uma unidade está da fronteira de eficiência.

“As melhores relações ‘produtos/insumos’ são consideradas mais eficientes, estando situadas na fronteira eficiente, enquanto as menos eficientes estarão situadas na região abaixo dessa curva, denominada de envoltória convexa (RODRIGUES; AQUINO; THOMAZ, 2015).” Para Singh; Mittal; Upadhyay (2014), as unidades com as melhores práticas estão situadas na fronteira eficiente.

Para um conjunto de variáveis de insumo e de produto, de uma UTD específica, a AED produz uma medida de desempenho, ou eficiência (WAGNER; SHIMSHAK, 2007). Essa medida varia de zero a unidade, ou 100%. Assim, o modelo AED classifica as UTDs em eficientes (medida igual a 100%) e não eficientes, ou ineficientes (medida inferior a 100%). Além disso, segundo Gomes Júnior; Soa-

res de Mello; Ângulo Meza (2013), a AED calcula metas a serem alcançadas para as unidades ineficientes se tornarem eficientes.

Para Souza; Wilhelm (2009), as unidades são comparadas de acordo com o conceito de eficiência de Farrel, que é definida como sendo a razão entre a soma ponderada das saídas (produtos) e a soma ponderada das entradas (ou insumos) de cada UTD.

As unidades tidas como eficientes (chamadas de *benchmarks*) servem de referência para as unidades ineficientes, de modo que essas unidades melhorem suas performances e atinjam a fronteira eficiente. Uma UTD ineficiente pode atingir a fronteira eficiente de duas formas distintas:

- a. Por meio da minimização das entradas (insumos), mantendo constantes as saídas (produtos), chamada de orientação a insumo;
- b. Por meio da maximização das saídas (produtos), mantendo constantes as entradas (insumos), chamada de orientação a produto.

Na orientação a insumo, o principal objetivo de uma UTD ineficiente é alcançar a eficiência por meio da redução do excesso de consumo de insumos, mantendo-se a produção constante, enquanto na orientação a produto essa eficiência é alcançada por meio do aumento da produção, mantendo-se o consumo de insumos constante (ALI; LERME; SEIFORD, 1995).

Existem dois modelos clássicos de AED, que são o modelo CCR (também conhecido como CRS, da sigla em inglês *Constant Return to Scale*), que admite retornos de escala constante, e o modelo BCC (também conhecido como VRS, da sigla em inglês de *Variable Return to Scale*), que admite retornos variáveis de escala (SILVEIRA; SOARES DE MELLO; ÂNGULO MEZA, 2012).

Modelo CCR

A metodologia de análise por envoltória de dados teve o seu início com o trabalho publicado por Charnes et al. (1978), que objetivava analisar as eficiências de programas escolares no Estado do Texas (Estados Unidos). Esse modelo ficou conhecido como CCR (iniciais dos autores Charnes, Cooper e Rhodes), sendo desenvolvido originalmente com uma orientação a insumo, trabalhando com retornos constantes de escala.

A eficiência é calculada por meio da otimização da razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos. Vale ainda salientar que, conforme descrito anteriormente, o cálculo da eficiência de um modelo AED pode usar tanto medidas orientadas a insumo como medidas orientadas a produto.

Supondo que existam n UTDs, semelhantes entre si, que utilizam m insumos e s produtos, então os pesos dos insumos e dos produtos, de uma unidade objeto UTDO, são determinados por meio da resolução do problema:

$$\max E_{fo} = \sum_{i=1}^s U_i Y_{iO} \quad (3)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m V_j X_{jO} &= 1 \\ \sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} &\leq 0, \quad (k = 1, \dots, n) \\ U_i &\geq 0 \quad (i = 1, \dots, s); \quad V_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m) \end{aligned} \quad (4)$$

onde: E_{fo} é a eficiência relativa da UTD_O; Y_{ik} e X_{jk} são as quantidades de produto observado i da unidade k e de insumo observado j da unidade k , respectivamente; U_i e V_j são os pesos dados ao produto i e ao insumo j , respectivamente; e, Y_{iO} e X_{jO} são as quantidades do produto i e do insumo j da unidade objeto, respectivamente.

O problema dado pelas equações (3) e (4) é um problema de Programação Matemática Linear (PML), sendo conhecido como Modelo dos Multiplicadores (ou Primal), com orientação a insumo.

A modelagem dos multiplicadores para o modelo CCR, orientado a produto, é dada da seguinte forma:

$$\min h_0 = \sum_{j=1}^m V_j X_{j0} \quad (5)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^s U_i Y_{i0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} &\leq 0, \quad (k = 1, \dots, n) \\ U_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, s); \quad V_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m) \end{aligned} \quad (6)$$

Vale salientar que o modelo multiplicador trata da relação das somas ponderadas de produtos e insumos com os pesos escolhidos de modo a se tornar mais favorável a cada UTD analisada.

Modelo BCC

Esse modelo foi desenvolvido por Banker; Charnes; Cooper (1984), e é comumente conhecido como modelo BCC (devido às iniciais dos autores). Nele, os retornos de escala são considerados variáveis. O modelo BCC passa a admitir tecnologias com retornos variáveis de escala, o que resulta em uma fronteira formada por combinações convexas de unidades eficientes. A suposição de retornos constantes de escala do modelo CCR é relaxada para retornos de escala variáveis neste modelo por intermédio da adição de uma variável livre U^* , para orientação a insumo, e V^* para orientação a produto.

Dessa forma, o modelo BCC, orientado a insumo pode ser dado pelo problema de PML seguinte:

$$\max E_{f0} = \sum_{i=1}^s U_i Y_{i0} + U_* \quad (7)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m V_j X_{j0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} + U_* &\leq 0, \quad (k = 1, \dots, n) \\ U_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, s); \quad V_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m); \quad U_* \in \mathbb{R} \end{aligned} \quad (8)$$

Se a variável livre U^* for positiva, então o modelo apresenta rendimentos de escala não decrescente (RND), enquanto se a variável for negativa, o modelo se apresenta com rendimentos de escala não crescente (RNC). A modelagem AED dos multiplicadores para o modelo BCC, orientado a produto, é dada da seguinte forma:

$$\min h_0 = \sum_{j=1}^m V_j X_{j0} + V_* \quad (9)$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^s U_i Y_{i0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} + V_* &\leq 0, \quad (k = 1, \dots, n) \\ U_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, s); \quad V_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m); \quad V_* \in \mathbb{R} \end{aligned} \quad (10)$$

Se a variável livre V^* for positiva, então o modelo apresenta rendimentos de escala não crescente (RNC), enquanto se essa variável for negativa, o modelo se apresenta com rendimentos de escala não decrescente (RND). É importante enfatizar que na modelagem AED dos multiplicadores, tanto com orientação a insumo como com orientação a produto, as variáveis de decisão são os pesos U_i e V_j . Assim, pode-se afirmar que o conjunto dos pesos encontrados para cada UTD analisada deve ser tal que a medida da eficiência seja máxima.

2.3 Unidades tomadoras de decisão

As unidades avaliadas nesta pesquisa, as UTDs, são descritas na Tabela 2 e cada uma representa o instrumento de cobrança do abastecimento público como um todo na respectiva bacia hidrográfica indicada referente ao ano de 2013.

Tabela 2 – Identificação das Unidades Tomadoras de Decisão (UTD)

UTD	Bacia Hidrográfica
UTD1	Metropolitana
UTD2	Curu
UTD3	Alto Jaguaribe
UTD4	Médio Jaguaribe
UTD5	Baixo Jaguaribe
UTD6	Salgado
UTD7	Litoral
UTD8	Acaraú
UTD9	Coreaú
UTD10	Parnaíba
UTD11	Banabuiú

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

É importante salientar que apesar de o Estado atualmente estar dividido em 12 bacias hidrográficas, nos dados da COGERH referentes à cobrança e à outorga o Estado ainda se encontra dividido em 11 bacias (os dados das bacias dos Sertões de Crateús e da Serra da Ibiapaba encontram-se juntos como bacia do Parnaíba).

2.4 Variáveis de avaliação

A pesquisa consiste em selecionar as variáveis mais representativas em uma análise da eficiência do instrumento de cobrança pelo uso da água bruta no setor do abastecimento público por bacia hidrográfica do Estado. Então, para essa finalidade será proposto um conjunto de variáveis, entre insumos e produtos. Assim, as variáveis, entre insumos e produtos, usadas nesta pesquisa, relacionam-se diretamente ao instrumento de cobrança pela água bruta nas bacias cearenses.

Na Tabela 3 são descritas as variáveis candidatas, de insumo e de produto, propostas neste trabalho.

Vale salientar que o valor dessas variáveis para cada unidade avaliada se encontra no Apêndice A.

Tabela 3 – Variáveis de insumo e de produto propostas para a análise de eficiência

Insumos	
PNF	Percentual de usuários cadastrados que não estão faturados pela COGERH
PNO	Percentual de usuários faturados que não possuem outorgas emitidas pela SRH
VCM	Volume consumido médio, em m ³ /usuário
Produtos	
FVC	Razão entre o faturamento total e o volume total consumido, em R\$/m ³
FM	Faturamento médio, em R\$/usuário
AM	Arrecadação média, em R\$/usuário

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

A variável de insumo PNF pode variar de zero, em que todos os usuários cadastrados em uma bacia estão pagando pela água bruta, até a unidade, em que não há usuários faturados com a cobrança pela COGERH.

A variável de insumo PNO também pode variar de zero, quando todos os usuários faturados estão regularmente outorgados pelo Estado, até a unidade, no caso em que nenhum usuário faturado possui outorga emitida pela SRH.

A variável de insumo VCM representa simplesmente a razão entre o volume total consumido (em 1.000 m³) pelo setor industrial e o número total de usuários faturados em cada bacia.

A variável de produto FVC é simplesmente a razão entre o faturamento total e o volume total consumido pelo setor industrial em cada bacia hidrográfica. Pode-se dizer que essa variável representa o preço do metro cúbico de água consumido pelo setor do abastecimento.

As variáveis de produto FM e AM representam, respectivamente, o faturamento total e a arrecadação total (ambos em R\$ 1.000,00), divididos pelo número de usuários faturados do setor industrial em cada bacia hidrográfica. Essas variáveis indicam, respectivamente, as médias do faturamento e da arrecadação em uma bacia hidrográfica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Método multicritério para seleção de variável

Na prática, é recomendado que o número de unidades avaliadas seja no mínimo três vezes o número de variáveis (insumos + produtos). A pesquisa se propôs avaliar 11 UTDs, apresentando um conjunto com seis variáveis. Com essa quantidade de variável seria recomendado que se avaliassem pelo menos 18 UTDs. Devido à impossibilidade de aumentar o número de UTDs, deve-se obrigatoriamente reduzir o número de variáveis (insumos + produtos). Dessa forma, foi aplicado o método multicritério para seleção de variável de modo a selecionar os insumos e produtos mais significativos.

“Os métodos de seleção de variáveis devem ser vistos como instrumentos de auxílio à decisão, que orientarão a escolha final (ANGULO MEZA et al, 2007).” A etapa de seleção de variável teve o intuito de identificar dentre as variáveis propostas as que melhor descrevem o desempenho das unidades em avaliação. Essa etapa é justificada sempre que existir uma pequena quantidade de unidades a ser avaliada e um número grande de variáveis.

Em Soares de Mello et al. (2004), é proposto um modelo para seleção de variável onde se considera

o melhor ajuste à fronteira, medida pela eficiência média, como a máxima discriminação, medida pela quantidade de UTD na fronteira de eficiência. Esse modelo é denominado Método Multicritério de Seleção de Variáveis em DEA.

O ajuste à fronteira é medido pela eficiência média do conjunto de UTDs. A normalização da eficiência média cria o termo SEF, que atinge o valor “um” na eficiência máxima e “zero” na eficiência mínima. A máxima discriminação é medida pelo número de UTDs na fronteira de eficiência. Então, a normalização dessa medida produz o termo SDIS, que atinge o valor “um” para o menor número de UTDs na fronteira de eficiência e “zero” para o maior número de UTDs eficientes.

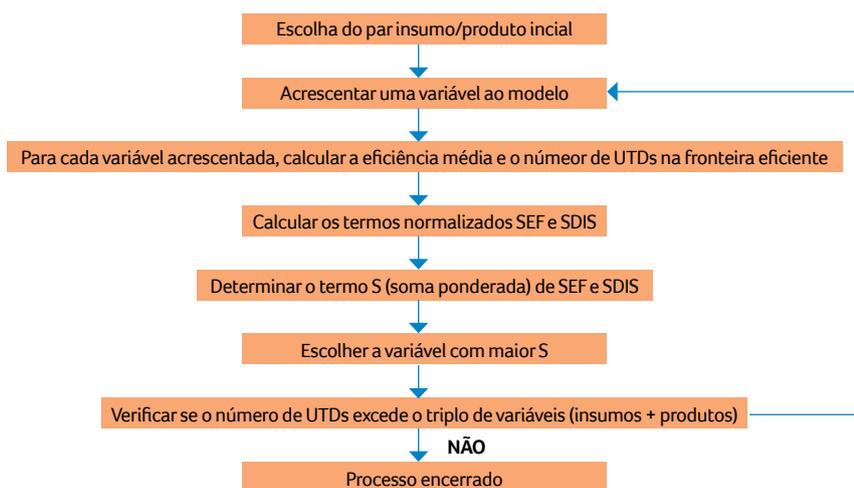
Segundo Soares Mello et al. (2004), o termo S é definido como uma soma ponderada de SEF e SDIS, com a restrição de que a soma dos pesos seja igual a unidade. Isto é,

$$S = \alpha SEF + (1 - \alpha)SDIS \quad (11)$$

onde $0 \leq \alpha \leq 1$.

Na Figura 2 são apresentados, por meio de um fluxograma, os passos do método multicritério para seleção de variáveis.

Figura 2 – Fluxograma do método multicritério de seleção de variáveis



Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

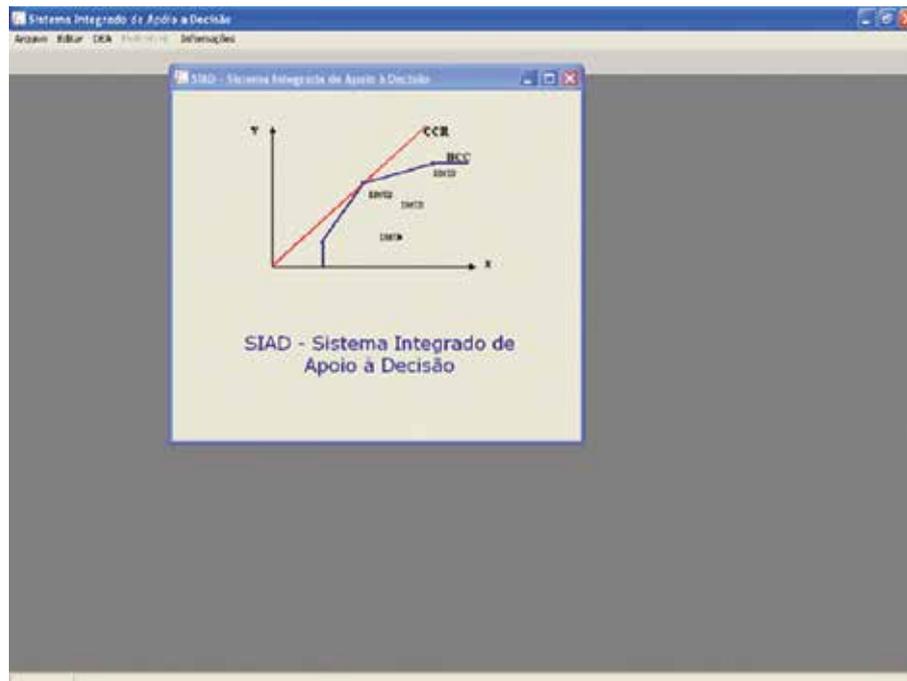
O modelo parte de um par insumo/produto inicial, que tanto pode ser escolhido como calculado utilizando algum critério sugerido pelo analista. Ao par inicial (duas variáveis) é acrescentada uma nova variável (insumo ou produto) e calcula-se o valor do termo S para cada caso. A variável que apresentar o maior S é incorporada ao par inicial, formando agora um conjunto com três variáveis.

O procedimento de incorporar a variável que produzir maior valor S é seguido até que o número de variáveis não exceda 1/3 do número de UTDs analisadas. Em caso, contrário, o procedimento é encerrado, ou seja, todas as variáveis que devem ser selecionadas ao modelo foram selecionadas.

Os cálculos das eficiências relativas das UTDs desta pesquisa foram realizados com auxílio da ferramenta computacional SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão), descrito em Angulo Meza et al. (2005).

O SIAD deve ser utilizado em uma plataforma Windows e permite trabalhar com até 150 unidades e 20 variáveis (insumos + produtos). O programa apresenta duas formas de entrada de dados: diretamente no programa, utilizando uma grade de entrada vazia (com a indicação prévia da quantidade prévia da quantidade de UTDs e variáveis), e por meio de um arquivo txt (ANGULO MEZA et al., 2005). Na Figura 3 tem-se uma ilustração da tela de apresentação do programa SIAD.

Figura 3 – Tela de apresentação do software SIAD



Fonte: ANGULO MEZA et al., 2005

Uma vez que na literatura quase não existem aplicações com mais de cem UTDs, pode-se considerar esse número suficientemente grande para a maioria das situações práticas desse tipo de análise. Em relação às variáveis, pode-se considerar suficiente o número 20, uma vez que em muitas aplicações reais trabalha-se com no máximo dez variáveis (ANGULO MEZA et al., 2005).

A primeira etapa do método multicritério consistiu na escolha do par inicial insumo/produto. Buscando uma lógica para essa escolha, os autores optaram por selecionar o par que apresentasse a maior eficiência média ao conjunto das 12 UTDs. Na Tabela 4 são apresentadas todas as combinações insumo/produto com as suas respectivas eficiências médias. Então, conforme essa tabela, o par que apresentou a maior eficiência média foi VCM x FVC, com uma medida de 0,9104 ou 91,04%.

Tabela 4 – Escolha do par inicial

Par insumo/produto	Eficiência média
PNF x FVC	0,4760
PNF x FM	0,2265
PNF x AM	0,2153
PNO x FVC	0,5811
PNO x FM	0,2838
PNO x AM	0,2623
VCM x FVC	0,9104
VCM x FM	0,6822
VCM x AM	0,5867

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

Escolhido o par inicial (VCM x FVC), então, agora dando sequência ao método, acrescenta-se ao modelo uma terceira variável (insumo ou produto) e calcula-se o valor do termo S, definido na equação (10). Na Tabela 5, podem ser vistos os dados referentes às simulações da segunda etapa do método multicritério para o cálculo do termo S.

Tabela 5 – Determinação da terceira variável

	PNF	PNO	FM	AM
Efic. Média	0,9228	0,9133	0,9104	0,9104
Nº UTDs	3	3	2	2
SEF	1,0000	0,9897	0,9865	0,9865
SDIS	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
S	0,5000	0,4949	0,9933	0,9933

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

Vale salientar que no cálculo do S optou-se por usar pesos ponderados iguais para SEF e SDIS (ou seja, $\alpha = 0,5$). Conforme o cálculo na normalização S, pode ser visto que as variáveis de produto FM e AM apresentaram os maiores valores para S, igual a 0,9933. Entretanto, os autores optaram por usar a variável FM por considerá-la mais importante do ponto de vista prático do que AM.

Logo, se for acrescentada mais uma variável ao modelo, então o modelo passa a ter quatro variáveis, o que excede o 1/3 do número de UTDs avaliadas (que é em torno de 3,7). Assim, o procedimento é encerrado e o modelo para avaliação da eficiência do conjunto de UTDs consta das seguintes variáveis: de insumo VCM, e de produto as variáveis FVC e FM.

3.2 Análise da eficiência

Foi aplicada a modelagem de análise por envoltória de dados com retorno de escala variáveis (ou seja, o modelo BCC), com uma orientação a produto, para medir as eficiências relativas do conjunto de UTDs definidas anteriormente, via SIAD, usando como variáveis o insumo VCM e os produtos FVC e FM.

Na Tabela 6 são apresentadas as eficiências relativas das UTDs (cobrança pela água bruta nas bacias cearenses no setor de abastecimento público), por meio da aplicação do modelo AED-BCC, com orientação a produto.

Tabela 6 – Medidas das eficiências relativas das UTDs

Par insumo/produto	Eficiência relativa
UTD2 (Curu)	1,0000
UTD1 (Metropolitana)	1,0000
UTD9 (Coreaú)	0,9774
UTD3 (Alto Jaguaribe)	0,9770
UDT5 (Baixo Jaguaribe)	0,9670
UTD4 (Médio Jaguaribe)	0,9507
UDT7 (Litoral)	0,8691
UDT8 (Acarauá)	0,8631
UTD11 (Banabuiú)	0,8524
UDT10 (Parnaíba)	0,7816
UDT6 (Salgado)	0,7756

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

Conforme a Tabela 6, apenas duas unidades, UTD2 (Curu) e UTD1 (Metropolitana) se apresentaram com uma medida de eficiência máxima, igual à unidade (ou 100%), sendo, portanto, classificadas como eficientes. Dessa forma, pode-se afirmar que as cobranças do abastecimento público das bacias Metropolitana e do Curu são consideradas como *benchmarks* das unidades que não atingiram a eficiência máxima, podendo até mesmo ser usadas como modelos para as demais alcançarem a fronteira de eficiência.

Merecem destaques também as cobranças nas bacias do Coreaú (UTD9) e do Alto Jaguaribe (UTD6), que obtiveram medidas de eficiência iguais a 97,74%, e 97,70%, respectivamente, situando-se, portanto, muito próximas da fronteira eficiente. Essas duas bacias precisam de pequenos ajustes para atingir a fronteira eficiente. Ainda como destaque, só que negativamente, tem-se a cobrança na bacia do Salgado (UTD6), que obteve uma medida de eficiência igual a 0,7756 (ou 77,56%), sendo, portanto, a unidade menos eficiente de todo o conjunto estudado.

Como dito anteriormente, a metodologia DEA determina metas a serem alcançadas pelas UTDs não eficientes de modo que as mesmas possam atingir a fronteira de eficiência.

Assim, no Quadro 1 são apresentadas as projeções (alvos) a serem alcançadas pelas unidades ineficientes. Vale salientar que essas melhorias sugeridas nas

variáveis de uma UTD objetivam que a mesma otimize a sua relação insumo/produto. De acordo com os dados apresentados no Quadro 1 pode-se observar que a aplicação da metodologia de análise por envoltória de dados no conjunto analisado sugere variações positivas nas variáveis de produtos, FVC e FM. Os aumentos nas variáveis de produto podem ser interpretados como aumentos nas tarifas cobradas pela água e do faturamento com a cobrança, mantendo o consumo de água o mesmo, em cada bacia hidrográfica.

Quadro 1 – Projeção a ser alcançada pelas variáveis de cada UTD ineficiente

3ª) UTD9 (Coreaú) – 0,9774			
	VCM	FVC	FM
Atual	713.990,17	0,0328	23.397,45
Projeção	713.990,17	0,0335	28.491,08
4ª) UTD3 (Alto Jaguaribe) – 0,9770			
	VCM	FVC	FM
Atual	715.311,63	0,0328	23.440,76
Projeção	715.311,63	0,0335	28.632,82
5ª) UTD5 (Baixo Jaguaribe) – 0,9670			
	VCM	FVC	FM
Atual	746.668,57	0,0328	24.468,33
Projeção	746.668,67	0,0339	31.996,10
6ª) UTD4 (Médio Jaguaribe) – 0,9507			
	VCM	FVC	FM
Atual	799.010,81	0,0328	26.183,59
Projeção	799.010,81	0,0345	37.610,23
7ª) UTD7 (Litoral) – 0,8691			
	VCM	FVC	FM
Atual	1.090.862,70	0,0328	35.747,56
Projeção	1.090.862,70	0,0377	68.913,66
8ª) UTD8 (Acarauá) – 0,8631			
	VCM	FVC	FM
Atual	1.114.859,60	0,0380	71.487,53
Projeção	713.990,17	0,0335	28.491,08
9ª) UTD11 (Banabuiú) – 0,8524			
	VCM	FVC	FM
Atual	1.157.881,40	0,0328	37.943,78
Projeção	1.157.881,40	0,0385	76.101,96
10ª) UTD10 (Parnaíba) – 0,7816			
	VCM	FVC	FM
Atual	1.114.859,60	0,0380	71.487,53
Projeção	713.990,17	0,0335	28.491,08
11ª) UTD6 (Salgado) – 0,7756			
	VCM	FVC	FM
Atual	1.501.485,74	0,0328	49.203,69
Projeção	1.501.485,74	0,0423	112.956,27

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.

No Quadro 1 ainda é possível observar que quanto menor a medida de eficiência de uma UTD maiores são as mudanças sugeridas em suas variáveis. Assim, as maiores variações sugeridas ocorreram na UDT6, cobrança na bacia do Salgado, uma vez que a mesma foi a unidade com a menor eficiência medida (0,7756). Logo, para que a cobrança na bacia do Salgado atinja a eficiência máxima, sugere-se que a variável FVC passe de 0,0328 para 0,0423 R\$/m³, o que representa uma variação percentual de 28,9%, enquanto para a variável FM é sugerida uma alteração de 49.203,69 para 112.956,27 R\$/usuário, representando um aumento percentual de 129,6%.

É importante destacar que as projeções indicadas no Quadro 1 para as unidades ineficientes são simplesmente sugestões, não implicando necessariamente que as mesmas possam ser aplicadas na prática.

Finalmente, o conjunto todo das UTDs se apresentou com uma eficiência relativa média de aproximadamente 0,9104 (ou 91,04%). Dessa forma, pode-se concluir que a aplicação do instrumento de cobrança pela água bruta do setor do abastecimento público se mostrou bem eficiente em todo o território cearense nesse ano.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método multicritério para a seleção de variável atingiu o seu objetivo, que era obter uma alta eficiência para o conjunto de UTDs associada a uma boa ordenação desse conjunto, sem o prejuízo na relação causal. A opção de usar um critério lógico para determinação do par inicial (insumo/produto), maior eficiência média do conjunto analisado, em vez da opção de uma escolha aleatória foi no intuito de não incorporar a opinar do decisor (os autores), que pode afetar o resultado final das medidas de eficiência. Entretanto, a opinião do decisor foi incorporada para a escolha dos pesos dos termos SEF e SDIS.

Foram selecionadas as variáveis de insumo (VCM) e de produto (FVC e FM), e em seguida esse conjunto foi usado para medir a eficiência relativa das cobranças do abastecimento público nas bacias do Estado. A pesquisa mostrou que o instrumento de cobrança do setor se encontra bem eficiente, apresentando uma eficiência relativa média de 91,04%. Das 11 bacias hidrográficas do Estado, apenas duas, Curu e Metropolitana, apresentam a cobrança com 100% de eficiência, e a menor medida de eficiência relativa ocorreu na bacia do Salgado, com uma medida igual a 77,56%.

A metodologia AED ainda sugeriu como metas a serem alcançadas pelas unidades ineficientes aumentos nas variáveis de produto, FVC, faturamento por volume consumido, e FM, faturamento médio, de modo que essas unidades possam atingir a fronteira eficiente. De acordo com os resultados obtidos, a variável FVC passa a assumir valores diferentes para cada bacia hidrográfica. Vale ainda salientar que um aumento da variável FVC acarreta, automaticamente, um aumento do faturamento com a cobrança pela água, representada pela variável FM.

Conforme a Tabela A1, Anexo A, a variável FVC apresenta o mesmo valor em todas as bacias, excetuando-se a bacia Metropolitana, e isso se deve ao fato de que a tarifa cobrada pela água no setor do abastecimento público é a mesma em todo o Estado, excetuando-se a região Metropolitana de Fortaleza. Logo, é possível interpretar que a metodologia aplicada sugere que uma diferenciação na tarifa cobrada para o setor, representada por FVC, nas bacias cearenses acarretaria uma melhora na eficiência do setor em todo o Estado. Assim, pode-se afirmar que a AED pode auxiliar estudos que visam à implementação de uma diferenciação de tarifas cobradas pelo uso da água nas bacias do Estado do Ceará.

Pode-se considerar que o modelo se mostrou eficaz em obter um diagnóstico por meio da análise da eficiência do instrumento da cobrança no setor do abastecimento público nas bacias cearenses. É

importante ressaltar que a pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser considerada bastante inovadora ao aplicar a ferramenta de AED para avaliar o desempenho de um instrumento de uma política pública do Estado, como é o caso da cobrança pela água bruta, de um setor bem estratégico para o Estado como o abastecimento de água.

Por fim, recomenda-se fortemente o uso desta metodologia de análise por envoltória de dados como apoio ao processo de tomada de decisão no setor de gerenciamento dos recursos hídricos para o cálculo de indicadores de desempenho de seus instrumentos, tais como a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- AIZEMBERG, L.; ROBOREDO, M. C.; RAMOS, T. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L.; ALVES, A. M. **Measuring the NBA Teams' cross-efficiency by DEA game**. American Journal of Operations Research, 4, 101-112, 2014.
- ALI, A. I.; LERME, C. S.; SEIFORD, L. M. **Components of efficiency evaluation in Data Envelopment Analysis**. European Journal of Operational Research, 80, 462-473, 1995.
- ALPER, D.; SINUARY-STERN, Z.; SHINAR, D. Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using data envelopment analysis. **Accident Analysis and Prevention**, 78, 39-50, 2015.
- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: Resultados por Estado**. Volume 2. Brasília, 2010.
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. **ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): A software package for data envelopment analysis model**. Pesquisa Operacional, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.
- ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S. **Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica**. Investigação Operacional, v. 27, p. 21-36, 2007.
- AQUINO, T. S. de A.; GOMES, C. C.; SOUZA FILHO, F. de A. de; SILVA, S. M. O. da. **Impacto da recuperação do investimento em infraestrutura hídrica na cobrança pelo uso da água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v. 18, n. 1, p. 87-98, 2013.
- ATHANASSOPOULOS, A. D. **Discriminating among relatively efficient units in data envelopment analysis: A comparison of alternative methods and some extensions**. American Journal of Operations Research, 2, 1 9, 2012.
- BANAEIAN, N.; OMID, M.; AHMADI, H. **Application of data envelopment analysis to evaluate efficiency of commercial greenhouse strawberry**. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 3 (3): 185-193, 2011.
- BANKER, R. D. **Maximum likelihood, consistency and Data Envelopment Analysis: A statistical foundation**. Management Science, 39 (10): 1265-1273, 1993.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis**. Management Science, 30 (9): 1078-1092, 1984.
- BARBOSA, R. de P.; BASTOS, A. P. V. **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**. Revista Economia e Gestão, v. 14, n. 35, p. 151-181, 2014.
- CEARÁ. **Decreto nº 31.195, de 18 de abril de 2013**. Fortaleza, 2013.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operational Research, 2 (6): 429-444, 1978.
- CHERCHYE, L.; DE ROCK, B.; WALHEER, B. **Multi-output profit efficiency and directional distance functions**. Omega, 61, 100-109, 2016.
- COSTA, C. A. B. e; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L. **A new approach to the bi-dimensional representation of the DEA efficient frontier with multiple inputs and outputs**. European Journal of Operational Research, 255, 175-186, 2016.
- FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 389 p.
- GIACOMELLO, C. P.; OLIVEIRA, R. L. de. **Análise envoltória de dados (DEA): Uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade**. Revista Gestão Universitária na América Latina (GUAL), v. 7, n. 2, p. 130-151, 2015.
- GOMES JÚNIOR, S. F.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L. **DEA nonradial efficiency based on vector properties**. International Transactions in Operational Research, 20, 341-364, 2013.
- HONGLAN, L.; RUYUN, Y.; XIAONA, Q. **Productivity analysis and benchmark selection of X mining company by DEA**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 6(4): 162-168, 2014.
- JEHU-APPIAH, C.; SEKIDDE, S.; ADJUIK, M.; AKAZILI, J.; D ALMEIDA, S.; NYONATOR, F.; BALTUSSEN, R.; ASBU, E. Z.; KIRIGIA, J. M. **Ownership and technical efficiency of hospitals: Evidence from Ghana using data envelopment analysis**. Cost Effectiveness and Resource Allocation, 12:9, 2014.

KAYA, T.; CINAR, Y. **Analyzing internal efficiency dynamics of Turkish banks: Activity based multi-objective dynamics DEA model and its application.** The Journal of Applied Business Research, 32, 3, 729-746, 2016.

MIRDEHGHAN, S. M.; FUKUYAMA, H. **Pareto-Koopmans efficiency and network DEA.** Omega, 61, 78-88, 2016.

PARK, J. L.; YOO, S. K.; LEE, J. S.; KIM, J. H.; KIM, J. J. **Comparing the efficiency and productivity of construction firms in China, Japan and Korea using DEA and DEA based malmquist.** Journal of Asian Architectures and Building Engineering, 14 (1): 57-64, 2015.

RODRIGUES, M. V. S. **Avaliação do desempenho da cobrança da água bruta por categoria de uso nas bacias do Estado do Ceará utilizando a análise por envoltória de dados.** 2014. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. de. Análise comparativa entre a cobrança pelo uso da água bruta do Estado do Ceará com a cobrança aplicada no Estado de São Paulo. **Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)**, v. 11, n. 2, p. 37-51, 2014.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. de. Estrutura legal da gestão das águas no Estado do Rio Grande Norte. **Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)**, v. 10, n. 1, p. 17-28, 2013.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. de; THOMAZ, A. C. F. Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará. **Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)**, v. 12, n. 1, p. 15-29, 2015.

SALGADO JÚNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; BONACIM, C. A. G.; NOVI, J. C.; PACAGNELLA JÚNIOR, A. C. Análise envoltória de dados (DEA) para avaliação da eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar. **Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, v. 11, n. 1, p. 58-73, 2013.

SENERA, L. F. A. de C.; NANJI, L. C.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

SILVEIRA, J. Q.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L. Evaluación de la eficiencia de las compañías aéreas brasileñas a través de um modelo híbrido de análisis envolvente de datos (DEA) y programación lineal multiobjetivo. **Revista Chilena de Ingeniería**, v. 20, n. 3, p. 331-342, 2012.

SINGH, M.; MITTAL, A. K.; UPADHYAY, V. Efficient water utilities: Use of performance indicator system and data envelopment analysis. **Water Science; Technology**, 2014.

SOARES MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ÂNGULO MEZA, L.; LINS, M. P. E. Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA. **Revista de la Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa**, 24, pp. 40-52, 2004.

SOUZA, P. C. T.; WILHELM, V. E. Uma introdução aos modelos DEA de eficiência técnica. **Revista Tuiuti: Ciência e Cultura**, n. 42, p. 121-139, 2009.

TREVISAN, M. L.; SILVEIRA, G. L. da; CRUZ, J. C.; CRUZ, R. C. Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com o uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 16, n. 2, p. 39-48, 2011.

WAGNER, J. M.; SHIMSHAK, D. G. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. **European Journal of Operational Research**, 180, 57-67, 2007.

APÊNDICE A

Para a composição dos dados apresentados na Tabela A1 foi usado o relatório de cobrança, fornecido pela COGERH, referente a ano de 2013 e os relatórios de outorgas, tanto para águas superficiais como para águas subterrâneas, referentes às outorgas emitidas até o mês de janeiro de 2014.

Tabela A1 – Dados de insumos e de produtos para UTD

UTD	PNF	PNO	VCM	FVC	FM	AM
UTD1 (Bacia Metropolitana)	0,5920	0,3100	6.713.583,89	0,1001	671.995,39	659.832,27
UTD2 (Bacia do Curu)	0,5330	0,0710	645.608,28	0,0328	21.156,58	14.691,13
UTD3 (Bacia do Alto Jaguaribe)	0,7270	0,0480	715.311,63	0,0328	23.440,76	13.098,70
UTD4 (Bacia do Médio Jaguaribe)	0,6460	0,5880	799.010,81	0,0328	26.183,59	16.364,74
UTD5 (Bacia do Baixo Jaguaribe)	0,8160	0,1430	746.668,57	0,0328	24.468,33	16.313,04
UTD6 (Bacia do Salgado)	0,6280	0,3440	1.501.485,74	0,0328	49.203,69	33.729,13
UTD7 (Bacia do Litoral)	0,7270	0,5000	1.090.862,65	0,0328	35.747,56	34.664,41
UTD8 (Bacia do Acaraú)	0,5070	0,6860	1.114.859,62	0,0328	36.533,95	30.765,24
UTD9 (Bacia do Coreaú)	0,6000	0,1670	713.990,17	0,0328	23.397,45	10.397,83
UTD10 (Bacia do Paruaíba)	0,5930	0,4550	1.471.850,60	0,0328	48.232,55	47.340,24
UTD11 (Bacia do Banabuiú)	0,8540	0,0770	1.157.881,39	0,0328	37.943,78	27.824,17

Unidades: VCM (m3/usuário); FVC (R\$/m3); FM (R\$/usuário); AM (R\$/usuário).

Fonte: ELABORAÇÃO DO AUTOR, 2015.