

Regulação e eficiência nos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil

Wellington Ribeiro de Freitas¹
Carlos Enrique Carrasco-Gutierrez²

Resumo

Este trabalho estuda o efeito da presença de Agências Reguladoras de Saneamento na eficiência da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil. Utilizamos a metodologia de Análise por Envoltória de Dados (DEA) aplicada aos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) para os anos 2015 a 2019 e a técnica *Jackstrap* para a identificação de *outliers*. A partir dos *scores* da DEA é realizada análise em 2º estágio visando inferir se a regulação e outros fatores externos, tais como: natureza da concessão, localização regional e densidade populacional, afetam as medidas de eficiência obtidas. Os resultados indicaram que, municípios onde há concessão privada em pelo menos um dos serviços, tendem a ser mais eficientes. Essa mesma tendência positiva de eficiência foi verificada para densidade populacional, em que grandes núcleos urbanos são mais eficientes que os menores e mais dispersos. Por outro lado, verificou-se tendência de queda de eficiência em municípios onde há a presença de Agências Reguladoras, um indicativo que os custos associados à regulação, ainda não refletem em melhorias de eficiência na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no país.

Palavras-chaves: Eficiência. DEA. Saneamento. Abastecimento de água. Esgotamento sanitário. Agência Reguladora.

JEL: D02, D24, C14

Área 5 - Economia do Setor Público

Abstract

This work studies the effect of the presence of Sanitation Regulatory Agencies on the efficiency of the provision of water supply and sanitary sewage services in Brazil. We used the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology applied to data from the National Sanitation Information System (SNIS), of the Ministry of Regional Development (MDR) for the years 2015 to 2019 and the Jackstrap technique to identify outliers. Based on the DEA scores, a 2nd stage analysis is performed in order to infer whether regulation and other external factors, such as: nature of the concession, regional location and population density, affect the efficiency measures obtained. The results indicated that municipalities where there is a private concession in at least one of the services tend to be more efficient. This same positive trend of efficiency was verified for population density, in which large urban centers are more efficient than smaller and more dispersed ones. On the other hand, there was a trend of decreasing efficiency in municipalities where there is the presence of Regulatory Agencies, an indication that the costs associated with regulation do not yet reflect in efficiency improvements in the provision of water supply and sewage services in the country.

Keywords: Efficiency. DEA. Sanitation. Water supply. Sewage service. Regulatory agencies.

JEL: D02, D24, C14

Area 5 - Public Sector Economy

¹ Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas da UCB. E-mail: wellington.rf@gmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Programa de Pós-Graduação em Economia da UCB. E-mail: carlosenrique@p.ucb.br

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social. Souza, C. *et al.* (2015) afirmam que cerca de $\frac{1}{4}$ de mortes que ocorrem em nosso planeta atingem crianças e jovens de até 15 anos de idade e são provocadas por doenças relacionadas ao ambiente, principalmente nos países mais pobres ou entre os grupos sociais mais pobres da população. As diarreias correspondem a 29% do total dessas doenças. Essas doenças e mortes poderiam ser evitadas ou minimizadas, bastando garantir condições adequadas de saneamento, sobretudo com acesso seguro a água potável e esgotamento sanitário.

O Painel de Informações do Setor de Saneamento do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional do Brasil (MDR), mostra que em 2019, quase 100 milhões de brasileiros, ou seja, 46% da população não possuía acesso a esgotamento sanitário. E segundo os dados, nesse mesmo ano, mais de 16% ainda não acessavam água tratada por meio de sistema público de abastecimento. Em termos regionais, as maiores defasagens de acesso estão nas regiões norte e nordeste, comparadas aos níveis de cobertura da região sudeste, por exemplo, sobretudo em esgotamento sanitário.

A partir de 2018, observou-se no Brasil uma movimentação política coordenada pelo Governo Federal com objetivos de ampliar a atuação de empresas privadas no setor. A justificativa para isso seria a de promover melhorias no setor de saneamento, sobretudo ao que se refere à universalização do acesso ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. Esse discurso ganhou força com a pandemia de COVID-19, em 2020, levando a aprovação e sanção da Lei Federal 14.026/2020 em 15 de julho de 2020. Essa lei atualizou a Lei Federal 11.445/2007, considerada o primeiro Marco Legal do setor. As principais alterações estão relacionadas ao fim dos contratos de programa entre os Municípios, titulares do serviço público de saneamento, e as Empresas Estaduais de Saneamento (Estatais). Passando a ser obrigatório a realização de licitação para a concessão desses serviços, com a devida celebração de contratos com prazos e metas de cobertura definidos. Tais metas devem ainda estar alinhadas ao Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que prevê a universalização no ano de 2033, quando 99% da população deverá estar atendida com água potável e 90% com esgotamento sanitário (coleta e tratamento).

O abastecimento de água e o esgotamento sanitário, são caracterizados como serviços de rede, com altos custo de entrada e operação, sendo mais conveniente que exista apenas um prestador numa determinada área de abrangência, dado que a oferta de serviços nessa condição, pode ser realizada a menor custo, se comparado a um cenário com duas ou mais empresas. Essas propriedades, são típicas da falha de mercado denominada Monopólio Natural. Marques (2011), afirma que a mão invisível do mercado nos serviços de redes de infraestruturas não é eficaz. As prestadoras de serviços de saneamento, assim como outras de infraestruturas de redes monopolistas, são susceptíveis à vida calma (*quiet life*) e à ineficiência, requerendo incentivos para se tornarem mais eficientes e inovadoras.

Segundo o Tribunal Contas da União (TCU), a eficiência pode ser considerada como uma relação entre produtos gerados (bens ou serviços) e os insumos utilizados para produzi-los. O TCU ainda indica duas perspectivas de abordagem, tendo uma delas, minimização de custos ou de insumos para produção de uma mesma quantidade e a segunda, a utilização de uma combinação otimizada de insumos para maximizar a quantidade produzida.

Peña (2008), afirma que em todas as sociedades e em todos os setores, tanto públicos quanto privados, os recursos humanos e patrimoniais são escassos para atender às crescentes exigências dos clientes. Assim, considerando o cenário de crise econômica enfrentada pelo Brasil aliado à crescente competitividade, implica em afirmar que a busca contínua de eficiência se torna um pré-requisito para a sobrevivência das organizações.

A partir da conceituação apresentada, e até mesmo por meio do conhecimento subjetivo do termo, são claras as razões que fazem com que eficiência seja buscada por qualquer empresa.

Associando ainda a afirmação de Marques (2011) sobre a quase normalidade da ineficiência dos serviços em monopólio natural, em contraponto à importância do saneamento para a saúde pública e meio-ambiente e em vistas aos baixos níveis de cobertura ainda observados no Brasil, verifica-se então a relevância de estudos que abordem as eficiências das empresas desse setor ou dos titulares em garantir o acesso à população.

Assim, o objetivo desse estudo é avaliar se a Regulação, associada a outras variáveis externas não controladas diretamente pelos gestores das DMUs, tais como: natureza da concessão (público, privada ou mista), localização regional no país (norte, sul, sudeste e centro-oeste) e densidade populacional, afetam o nível de eficiência atual da prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil.

Para mensuração das eficiências relativas, foi aplicada a metodologia de Análise por Envoltória de Dados (DEA) a uma base oriunda do SNIS do período de 2015 a 2019. Os municípios, foram considerados Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs). Em razão da DEA ser sensível à presença de *outliers*, foi utilizada a técnica de *Jackstrap*, de Souza e Stošic (2005), para identificação de DMUs que possam deslocar a fronteira de eficiência relativa e provocar viés nas medidas calculadas. Por fim, a partir dos resultados de eficiência, foram avaliados em 2º estágio se os fatores externos já citados, afetam os resultados obtidos pela DEA.

Os resultados do trabalho mostram que a prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil é ineficiente, reforçando as evidências empíricas encontradas por Tupper e Rezende (2004), há quase vinte anos. Existem municípios eficientes tanto com prestação pública, quanto privada dos serviços. No entanto, foi verificada significância estatística indicando que municípios onde pelo menos um dos serviços, seja abastecimento de água ou esgotamento sanitário, é prestado por ente privado tendem a ser mais eficientes, que aqueles onde a prestação é exclusivamente pública. Ainda que a ineficiência esteja presente no Brasil como um todo, municípios nas regiões Sul e Nordeste tendem a ter menores *scores* de eficiência, haja vista que, a um dado nível de despesa de exploração a população atendida é menor que, por exemplo, os municípios que estão na região Norte.

Quanto ao efeito da regulação, infere-se que apesar de já existirem mais de 60 Agências Reguladoras de Saneamento no Brasil, segundo dados da própria Agência Nacional (ANA), esses entes regulatórios ainda não contribuem efetivamente para o aumento da eficiência na prestação dos serviços públicos de água e esgotos no país. Essa tendência aponta para a necessidade de avanços das técnicas regulatórias aplicadas ao setor, pois atualmente, há indícios que os custos com regulação não estão sendo revertidos na proporção adequada em aumento de eficiência. Portanto, se faz necessárias mudanças nesse cenário, de modo que a Regulação possa melhorar o setor como um todo, como Faria *et al.* (2005) já haviam alertado, de forma a ampliar a sua contribuição para o alcance dos objetivos e metas de universalização.

Dessa forma, esse estudo contribui com a literatura de avaliação de eficiência no Setor de Saneamento ao atualizar as medidas por meio da DEA, utilizando-se dos dados mais recentes do SNIS. E inova, ao trazer evidências empíricas que associam regulação à eficiência na prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento. Para isso, na análise de 2º estágio foi incluída uma variável *dummy* que indica a presença ou não de Agência Reguladora no município, mensurando o seu efeito na eficiência.

Entende-se então, que estudos desse tipo, chamam a atenção para as deficiências do setor e podem servir como balizadores de políticas públicas, ações regulatórias e de tomada de decisão dos gestores, no sentido de canalizar recursos para melhor atender a população brasileira nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. E assim, iniciar um processo de ampliação da cobertura da prestação dos serviços, orientando o caminho para se alcançar as metas de universalização do novo Marco Legal. De tal forma que, ganhos de resultados de eficiência, sejam revertidos na melhoria dos serviços, garantindo sempre o acesso da população.

Este trabalho além desta introdução é dividido em 4 seções. A seção 2 apresenta a revisão da literatura, destacando a temática eficiência aplicada aos estudos do setor de saneamento

utilizando a metodologia DEA. A Seção 3 apresentam os modelos DEA de retorno constante (CCR) e retorno variável (BCC/VRS), e a técnica de identificação de *outliers* denominada *Jackstrap*. A seção 4 exibe os dados e estatísticas da base estudada, bem como os resultados das eficiências calculada pela DEA, utilizando o software *Efficiency Measurement System* (EMS), versão 1.3. Nessa mesma seção, utilizando abordagem de Simar e Wilson (2007), são apresentadas as estimativas de 2º estágio relativas às contribuições dos fatores externos para as medidas de eficiências encontradas. E finalmente a seção 5 contém as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Diversos trabalhos científicos têm se dedicado ao estudo de eficiência no setor de Saneamento, e por vezes associando fatores que afetam as medidas estimadas. Na literatura internacional, Lannier e Porcher (2014) avaliaram 177 unidades tomadoras de decisão (empresas) de abastecimento de água na França, no ano de 2009, associando DEA e Análise de Fronteira Estocástica (SFA). E concluíram que, na França, num primeiro resultado, gestores privados são menos eficientes que os públicos. No entanto, após terem considerado variáveis ambientais, foi constatada uma redução das diferenças entre público e privado, permanecendo, em média, a gestão privada ligeiramente menos eficiente do que a gestão pública.

Como referência de trabalhos internacionais mais recentes também utilizando DEA no saneamento cita-se, Lombardi et al. (2019) que avaliaram a eficiência do serviço de abastecimento de água da Itália. Chang e Zhu (2021), mensuraram eficiência na prestação de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas províncias chinesas durante os anos 2008 e 2017, verificando diferenças regionais nos resultados, em que as províncias do nordeste chinês aumentaram amplamente a eficiência no período, no entanto, houve redução no sudoeste, leste e centro-sul.

No Brasil, mensurar eficiência por meio da DEA tem sido comum no setor de saneamento, conforme observado por Oliveira et al. (2012). Nessa linha, Tupper et al. (2004), quantificaram as eficiências relativas das empresas estaduais de água e esgoto no Brasil durante o período de 1996 a 2000. A partir das pontuações de eficiência relativa obtidas pelo DEA, complementada por análise econométrica, concluíram que o desempenho abaixo do ideal é saliente para alguns serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no país.

Posteriormente, Sampaio, B. e Sampaio, Y. (2007), interessados em avaliar se influências políticas afetavam a eficiência das empresas de saneamento brasileiras, aplicaram um modelo DEA com 4 insumos e 8 produtos em 36 companhias, a partir de dados dos anos de 1998 a 2003, utilizando como fonte o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS). Os autores concluíram a partir dos resultados do modelo, que no geral, serviços de água são mais eficientes que os de esgoto. A partir desses resultados, foi ainda estimada por meio de regressão, a influência de variáveis operacionais, geográficas e políticas, e verificaram que a localização no Sul afeta positivamente a eficiência e localização no Norte e no Centro-Oeste negativamente. E alcançaram o objetivo da pesquisa concluindo que a eficiência é positivamente afetada pela continuidade administrativa e pela coincidência de partido na gestão municipal e estadual.

Como aplicações mais recentes da DEA no saneamento brasileiro, tem-se os artigos de Cruz et al. (2019), e Cavalcanti et al. (2020). No primeiro, os autores analisam a eficiência técnica dos serviços de água e esgotos no Brasil de 2006 a 2013, com foco na evolução do setor após a implantação da Lei Nacional do Saneamento Básico, 11.445/2007, e verificaram grandes disparidades entre as regiões do país, constatando ainda que o maior avanço em eficiência do setor, ocorreu entre os anos de 2010 e 2013.

Já Cavalcanti et al. (2020) avaliou o nível de eficiência técnica das empresas que realizam a gestão integrada do saneamento básico nos municípios brasileiros. A novidade do trabalho de Cavalcanti et al. (2020) é a utilização da metodologia M-DEA, que é uma extensão da Análise Envoltória de Dados (DEA) com várias execuções DEA considerando todas as combinações de entradas e saídas para calcular as pontuações de eficiência. Segundo os autores, essa metodologia

reduz possíveis vieses na seleção de recursos e produtos do modelo. As análises mostraram que as empresas podem aumentar seus resultados operacionais e cobertura de atendimento em mais de 60%, dados os atuais níveis de infraestrutura, recursos humanos e financeiros. Isso possibilitaria a ampliação da cobertura da população em esgotamento sanitário de 59,9% da época, para 76,5%.

Tabela 1 - Aplicações do DEA em estudos sobre o saneamento com dados do Brasil

Autor (es)	Título	Inputs	Outputs	Período	Modelo
Tupper e Rezende (2004)	Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study	Despesas mão de obra; Custos operacionais; Outros custos operacionais.	Volume água produzido; Volume esgoto tratado; População atendida água; População atendida esgoto.	1996 a 2000	BCC Orientação <i>output</i>
Sampaio, B. e Sampaio, Y. (2007)	Influências Políticas na Eficiência de Empresas de Saneamento Brasileiras	Despesas totais; Número de empregados; Extensão rede água; Extensão rede esgoto	População atendida água; Ligações ativas água; Porcentual água tratada; Receita oper. direta água; População atendida esgoto; Ligações ativas esgoto; % esgoto tratado; Receita oper. dir. esgoto.	1998 a 2003	BCC Orientação <i>output</i>
Oliveira <i>et al.</i> (2012)	Eficiência técnica das companhias de esgotamento sanitário nas regiões Norte e Nordeste do Brasil	Extensão rede esgoto÷ligações; Volume esgoto coletado; Economias ativas esgoto÷Nº empregados.	Volume esgoto tratado; Economias ativas esgoto.	2003 a 2008	BCC Orientação <i>input</i>
Barbosa e Bastos, 2014	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)	Despesas de exploração.	Ligações ativas água; Extensão de rede água; Ligações ativas esgoto; Extensão de rede esgoto; Receita oper. direta total.	2010	BCC Orientação <i>output</i>
Hora <i>et al.</i> , 2015	Análise da Eficiência dos Serviços de Saneamento Básico nos Municípios do Estado do Rio de Janeiro	Despesas de exploração.	Vol. água consumido; Extensão de rede água; Ligações ativas água; Ligações ativas esgoto.	2011	BCC Orientação <i>output</i>
Melo <i>et al.</i> , 2015	Eficiência Produtiva das Empresas Prestadoras de Serviços de Abastecimento de Água e Coleta de Esgoto nas Cidades Paulistas	Número de empregados; Extensão rede água; Extensão rede esgoto.	População atendida água; Ligações ativas água; População atendida esgoto; Ligações ativas esgoto.	2012	BCC Orientação <i>output</i>
Medeiros e Rodrigues, 2019	Políticas Públicas Municipais, Universalização e Eficiência no Setor de Saneamento Básico: Uma Análise para os Municípios Mineiros	Despesa pessoal próprio; Desp. serviços terceiros; Desp. prod. químicos; Despesa energia elétrica; Outras despesas explor.	População atendida água; População atendida esgoto.	2013	BCC Orientação <i>output</i>
Cruz <i>et al.</i> , 2019	Análise da Eficiência Técnica e da Produtividade dos Serviços de Água e Esgotos no Brasil de 2006 a 2013	Despesas de exploração	Nº de economias de água; Volume água consumido; Nº de economias esgoto; Volume esgoto coletado; Volume esgoto tratado.	2006 a 2013	BCC Orientação <i>output</i>
Cavalcanti <i>et al.</i> , 2020	Evaluation of the Efficiency of Basic Sanitation Integrated Management in Brazilian Municipalities	Despesas de exploração; Mão de obra própria; Extensão da rede geral (água + esgoto).	Receitas oper. diretas; Ligações ativas totais (água + esgoto); Volume total tratado (água + esgoto); População total atendida (água + esgoto).	2008 e 2016	BCC Orientação <i>output</i>

Fonte: Elaboração própria

Conforme visto na tabela 1 a aplicação da DEA no saneamento tem sido com orientação a produtos (*outputs*). Essa escolha, se deve às dificuldades para que as prestadoras dos serviços de água e esgoto mudem de tamanho no curto prazo, e ao fato da universalização ainda estar sendo perseguida no setor, ou seja, como a demanda pelos serviços de fornecimento de água e de esgotamento sanitário ainda não está plenamente atendida, a função objetivo deve ser orientada a maximização da produção, conforme Cruz et al. (2019). Outro aspecto característico do setor é a grande variação de dimensão relativa entre as prestadoras. Dessa forma, Sampaio, B. e Sampaio, Y. (2007), recomendaram o modelo de retornos variáveis de escala, pois a forma convexa da envoltória admite DMUs, em diferentes estágios de produção.

Assim, a literatura demonstra que o setor de saneamento, vive realmente uma situação de baixa eficiência, e não somente no Brasil, ou seja, essa constatação está linha ao que foi afirmado por Marques (2011), sobre o *quiet life*, comportamento típico de setores em monopólio. Ocorre que, no Brasil, dada a situação de baixo atendimento da população, sobretudo, com relação ao esgotamento sanitário, essa condição de ineficiência na prestação do serviço, deve ser superada de forma urgente.

A alteração recente do Marco Regulatório, foi uma tentativa do Governo Federal e Congresso Nacional de trazer para o setor a participação do capital privado, porém tratar a questão de forma simplória, pode não ser suficiente para garantir a universalização dos serviços e o acesso à população, nos níveis previstos para o ano de 2033. Pois, a tese que a gestão privada é mais eficiente que a pública, nem sempre se aplica ao setor, como verificado na França. Ademais, se não houver uma regulação adequada, nada garante que o eventual ganho de eficiência, será reinvestido na ampliação do acesso à população, e criaria na realidade, um novo entrave para atingir a universalização.

3. METODOLOGIA

Segundo Ferreira e Gomes (2020), as primeiras contribuições para desenvolvimento do método DEA, se devem ao artigo de Michael James Farrel, *The Measurement of Productive Efficiency*, publicado em 1957, no qual o autor buscou desenvolver métodos para avaliar produtividade, utilizando conceitos de análise de atividades. No entanto, Peña (2008) pondera que o método passou a ser conhecido por Análise por Envoltória de Dados (DEA), a partir do desenvolvimento de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) com a publicação de artigo no *European Journal of Operations Research* em 1978.

Como afirma Peña (2008), a técnica DEA tem sido aplicada com sucesso em estudos de eficiência da administração pública e organizações sem fins lucrativos, tais como: departamentos educacionais (escolas, faculdades, universidades e institutos de pesquisas), estabelecimentos de saúde (hospitais, clínicas), prisões, produção agrícola, instituições financeiras, países, forças armadas, esportes, transporte (manutenção de estradas, aeroportos), redes de restaurantes, franquias, cortes de justiça, instituições culturais (companhias de teatro, orquestras sinfônicas), entre outros.

A Envoltória por Análise de Dados, segundo Gasparini e Miranda (2011) é uma abordagem baseada em técnicas de programação linear que permite lidar com a utilização de insumos e produtos múltiplos e que não impõe qualquer forma funcional *a priori* para a fronteira (envoltória) a ser estimada. Assim, o resultado é a medida de eficiência relativa entre Unidades Tomadoras de Decisão, também conhecidas por DMUs. De tal forma que, as DMUs eficientes estão sobre a envoltória, ao passo que as ineficientes estão em seu interior.

Basicamente, os modelos DEA admitem diferentes naturezas de retornos de escala. Os modelos mais conhecidos e utilizados são, o modelo CCR originário do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) que impõe retornos constantes de escala, e o modelo BCC, baseado no artigo de Banker, Charnes e Cooper (1984), o qual admite retornos variáveis de escala. Outra característica a ser observada na DEA, é que os modelos podem ter orientação a insumos (*inputs*) ou orientação a produtos (*outputs*). Quando orientado a *input* calcula-se o quanto os recursos

podem ser reduzidos mantendo a produção no mesmo nível. Já na orientação *output*, deseja-se calcular o quanto se pode maximizar em produção, mantendo o nível de utilização de insumos.

Conforme Mello (2005), o modelo CCR originário trabalha com retornos constantes de escala, e constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Trabalhar com retornos constantes de escala, significa que qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas (*outputs*), e a eficiência é determinada pela otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas (*output* virtual) e a soma ponderada das entradas (*input* virtual), cuja representação matemática pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Máx } Eff_0 &= \left(\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \right) \\ \text{Sujeito a} & \\ & \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \\ & v_i u_j \geq 0, \forall i, j \end{aligned} \quad (1)$$

Eff_0 é a eficiência da DMU_0 em análise; v_i e u_j são os pesos de *inputs* i , $i = 1, \dots, r$, e *outputs* j , $j = 1, \dots, s$ respectivamente; x_{ik} e y_{jk} são os *inputs* i e *outputs* j da DMU k , $k = 1, \dots, n$; x_{i0} e y_{j0} são os *inputs* i e *outputs* j da DMU_0 . Essa equação corresponde a uma programação fracionária, que deve ser resolvida para cada uma das $DMUs$, e pode ser transformada em um problema de programação linear (PPL), impondo a restrição para o denominador da função objetivo ao valor constante, normalmente 1. Tomando os pesos v_i e u_j como variáveis de decisão, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Máx } Eff_0 &= \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \\ \text{Sujeito a} & \\ & \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \\ & \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \\ & v_i u_j \geq 0, \forall i, j \end{aligned} \quad (2)$$

As formulações (1) e (2) são referentes aos chamados Modelos dos Multiplicadores, com orientação a *inputs*, onde a eficiência é atingida com redução de insumos. Isso pode ser mais bem visualizado no dual deste modelo, apresentado a seguir (3), conhecido como Modelo do Envelope, que apresenta o mesmo resultado para função objetivo.

$$\begin{aligned} & \text{Min } h_0 \\ \text{Sujeito a:} & \\ & h_0 x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (3)$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

A DMU é considerada eficiente quando $h_0 = 1$. Enquanto no Modelo dos Multiplicadores (1) e (2), os pesos são as variáveis de decisões, no Modelo do Envelope (3) são h_0 e os λ s. O primeiro conjunto de restrições garante que essa redução em cada um dos *inputs* não ultrapasse a fronteira definida pelas DMUs eficientes. O segundo grupo de restrições garante que redução nos *inputs* não altere o nível atual dos *outputs* da DMU. Pode ser desenvolvido um modelo CCR para orientação a *output*, no entanto os resultados são os mesmos da orientação a *input*.

Tratando-se, dos modelos com retornos variáveis de escala, tem-se o BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), inspirado no CCR de retornos constantes. O BCC, substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. Assim, a fronteira de eficiência do modelo permite que DMUs que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores, tenham retornos decrescentes de escala. A formulação do BCC orientado a *inputs* é descrito da seguinte forma considerando os modelos dos Envelopes:

$$\text{Min } h_0 \quad (4)$$

Sujeito a:

$$h_0 x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

Para orientação a produtos (*outputs*) tem-se:

$$\text{Máx } h_0 \quad (5)$$

Sujeito a:

$$-h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

A restrição adicional $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$, imposta ao BCC, conforme (4) e (5), se deve à forma convexa da fronteira de eficiência gerada pelo modelo.

Segundo Lins e Moreira (2000 *apud Santos et al.*, 2020) para seleção das variáveis do DEA é necessário que sejam avaliados os seguintes aspectos:

- Observar se a variável abarca informação necessária que já não tenha sido compreendida em outras variáveis;
- Verificar se a variável está relacionada ou contribui com ao menos um dos objetivos da aplicação;
- Observar se as variáveis possuem dados confiáveis e seguros, e se a variável explica a eficiência de uma DMU.

Assim, definiu-se o *input* e *outputs* do modelo do presente estudo:

- *Input*: Despesas de Exploração, identificada no SNIS pelo código FN015, refere-se às despesas em R\$/ano informadas pelos municípios para a prestação dos serviços, compreendendo: as Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada, Esgoto Exportado, Despesas Fiscais ou Tributárias.
- *Outputs*:
 - AG001 – população total atendida com abastecimento de água;
 - ES001 – população total atendida com esgotamento sanitário;
 - Soma de ES006 e ES015 – que indicará a destinação adequada do esgoto coletado. Trata-se da soma entre volume de esgoto tratado (ES006) e o volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do importador (ES015).

Segundo Souza e Stošić (2005), em que pese a metodologia DEA ser amplamente utilizada para o cálculo de eficiência devido as vantagens já destacadas como não ser necessário a definição *a priori* de uma função produção, essas medidas podem ser seriamente afetadas pela presença de *outliers*. Os *outliers*, podem ser tanto observações supereficientes, quanto erros de dados, que subestimam substancialmente os *scores* gerais de eficiência. Essa sensibilidade da DEA, à presença de *outliers*, se deve ao fato que o método é baseado na construção de uma fronteira extrema, em que a eficiência da DMU é dada pela distância relativa da sua posição até a fronteira. Dessa forma, uma única observação que porventura esteja muito afastada da média pode empurrar a fronteira, sobretudo em pequenas amostras, e, portanto, aumentar artificialmente os requisitos de eficiência para todos os dados. Assim, com intuito de garantir a credibilidade dos índices de eficiência, é fundamental implementar algum método adicional para corrigir tais discrepâncias.

Ocorre que, análises de *outliers* com esse tamanho e heterogeneidade são praticamente impossíveis de serem realizadas manualmente, sendo necessário, o suporte de um *software*. Desse modo, utilizou-se uma aplicação denominada *Jackstrap* desenvolvida por Souza e Stošić (2005) que se baseia no conceito de alavancagem, que é o impacto da remoção da DMU₀ sobre as medidas de eficiência das demais DMUs, combinado com procedimento de reamostragem, *bootstrap*, podendo ser resumido nos seguintes passos:

1. Realizar o cálculo do DEA inicial, e colecionar a eficiência de todas as DMUs (n);
2. Selecionar uma subamostra de tamanho *m* e calcular as eficiências de todas as DMUs da subamostra (m) e colecioná-las;
3. Retirar uma observação da subamostra e calcular novamente a eficiência das DMUs_(m-1) que restaram na subamostra, e colecioná-las;

4. Calcular o peso de cada DMU em relação à subamostra:

$$\psi_{ji}^{JS} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1, k \neq j}^m (\theta_{kj}^i - \theta_k^i)^2}{m-1}}, \text{ onde } \psi_{ji}^{JS} \text{ é o peso da DMU } j \text{ em relação à subamostra } i, \theta_k^i \text{ é a eficiência da } k\text{-ésima DMU em relação à subamostra } i, \theta_{kj}^i \text{ é a eficiência da } k\text{-ésima DMU em relação à subamostra quando a } j\text{-ésima DMU é excluída.}$$

5. Reincluir a DMU retirada no passo 3 e incluir alguma outra. Esse passo deverá ser repetido até que todas as DMUs tenham sido excluídas uma vez;
6. Votar ao passo e repetir o processo p vezes;
7. Calcular o peso de cada DMU com a seguinte fórmula:

$$\psi_{ji}^{JS} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \psi_{ji}^{JS}}{n_j}, \text{ onde } n_j \text{ é o número de vezes em que } j \text{ foi selecionado.}$$

8. Calcular o peso global com a seguinte fórmula:

$$\psi^{JS} = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_i^{JS}}{n}.$$

Calculado o peso de cada DMU ψ_{ji}^{JS} e o peso global ψ^{JS} , utilizou a seguinte regra:

$$\text{Se } \psi_{ji}^{JS} > \psi^{JS} \log(n) \rightarrow \text{outlier}, \text{ onde } n \text{ é o número de DMUs.}$$

Assim, as estimativas de eficiência DEA desse estudo, teve o suporte do *Jackstrap* na identificação dos *outliers*, cuja base foi formada a partir das informações do SNIS (2020), para o período de 2015 a 2019.

Na avaliação em 2º estágio foi aplicada a abordagem de Simar e Wilson (2007), a partir do pacote do STATA desenvolvido por Baduneko e Tauchmann (2018). O método se propõe a corrigir o problema de correlação entre as medidas de eficiência e a possível endogeneidade das variáveis contextuais, por meio de *bootstraps* sucessivos. Como forma de avaliar a robustez das inferências, foram utilizadas ainda análises econométricas, regressão MQO, conforme Sampaio, B. e Sampaio, Y. (2007), estimativa com dados em painel de efeitos aleatórios como Portella *et al.* (2018), e regressão *Tobit*, utilizada por Tupper e Rezende (2004).

A análise em 2º estágio nesse trabalho, tem o intuito de avaliar se a regulação, por meio de Agências Reguladoras, contribui para a eficiência dos serviços de abastecimento de água e esgotos. Assim como, se outras variáveis não controladas pela gestão, como a natureza da concessão (público, privada ou mista), a localização regional no país (norte, sul, sudeste e centro-oeste) e a densidade populacional, também afetam as medidas de eficiência obtidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 descrição da base de dados

A base de dados inicial foi obtida a partir do “*SNIS – Série Histórica*”, um sistema via web que permite consultar as informações e os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). A sua primeira publicação é datada de 1996, com dados do ano de 1995 para os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Assim, no decorrer desses 25 anos, conforme publicado no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2019 (SNIS/SNS/MDR, 2020), o SNIS se constituiu no maior e mais importante sistema de informações do setor saneamento no Brasil, apoiando-se em um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos. A participação dos prestadores de serviços de Água e Esgotos é voluntária. No entanto, os programas de investimentos do Ministério do Desenvolvimento Regional exigem o envio

regular dos dados ao SNIS como critério de seleção, hierarquização e liberação de recursos financeiros.

Para esse estudo, foi utilizada então as informações do SNIS relativas aos anos de 2015 a 2019, sendo esse, o ano da última publicação. Dessa forma, partiu-se de uma base de 27.850 observações, que corresponde aos 5.570 municípios brasileiros, e 5 anos de histórico de dados.

Conforme mencionado na seção Metodologia, para a análise DEA foram utilizadas como variável input *Despesa de Exploração* (FN015), e outputs as variáveis *População Total Atendida com Abastecimento de Água* (AG001); *População Total Atendida com Esgotamento Sanitário* (ES001); e uma variável que indicará a *Destinação Adequada do Esgoto Coletado*, que se trata da soma entre *Volume de Esgoto Tratado* (ES006) e o *Volume de Esgoto Bruto Exportado Tratado nas Instalações do Importador* (ES015).

Dessa forma, o tratamento prévio realizado na base de dados consistiu basicamente em verificar a existência das informações para essas variáveis de interesse. Logo de início, constatou-se que 393 municípios não informaram qualquer dado para tais variáveis. Outros problemas e inconsistência foram constatados durante a análise exploratória dos dados, os quais destacamos:

- Municípios que não informaram despesa de exploração (FN015) ou até mesmo valor negativo. Sendo essa, a variável *input* do modelo DEA, esses municípios tiveram que ser retirados da base, pois o modelo parte de conceitos relacionados a função de produção. Assim, teoricamente não é possível obter produtos sem a utilização de pelo menos um insumo, ou ainda, considerar que a combinação de produtos esteja gerando insumos, como foi o caso do sinal negativo da variável FN015 em dado município;
- Houve situações ainda que o município informava prestar apenas o serviço de abastecimento de água, no entanto a variável *output* relativa a esgoto é que estava preenchida na tabela do SNIS, enquanto a variável correspondente a água estava vazia. Dentre outras, situações pontuais.

Assim, após uma série de verificações e identificações de inconsistências, a base final com estrutura em painel balanceado conta com 1987 municípios (DMUs), para os quais os dados das variáveis de interesse estavam efetivamente preenchidos nos 5 anos do estudo.

Com a manutenção de 1987 municípios, pode-se dizer que em termos populacionais a base é representativa, pois abrange uma população de quase 156 milhões de habitantes no ano de 2019. Isso, equivale a 74% da população do país, segundo cálculos realizados a partir dos dados populacionais constantes na base do SNIS, oriundos do IBGE, para o referido ano.

3.2 Estatística descritiva

Na Tabela 2 a seguir, são apresentadas as características da amostra estudada com os valores das variáveis de interesse, com variações ano a ano.

Tabela 2 – Dados das variáveis do estudo agrupados por ano

Ano	Nº Municípios	População total (milhão hab.)	População Atendida Água (milhão hab.)	% Atend. Água	População Atendida Esgoto (milhão hab.)	% Atend. Esgoto	Vol. Esgoto Tratado (bilhão m ³ /ano)	Despesa Exploração (bilhão R\$/ano)
2015	1987	151,2	136,3	90,1%	96,4	63,7%	3,8	28,72
2016	1987	152,5	137,3	90,1%	98,9	64,8%	4,0	32,27
2017	1987	153,7	138,4	90,0%	100,9	65,7%	4,1	34,92
2018	1987	154,6	139,1	90,0%	102,5	66,3%	4,3	36,96
2019	1987	155,9	140,6	90,2%	105,6	67,8%	4,5	39,74

Fonte: Dados SNIS 2015 a 2019. Elaboração própria.

Nota: Despesa de exploração corrigida pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo do IBGE (IPCA).

Dos dados da Tabela 2, verificam-se certa estagnação da cobertura do abastecimento de água em torno de 90%, e pequenos avanços no atendimento da população em esgoto sanitário, com incrementos anuais da ordem de 1 ponto percentual. Em seguida, tem-se a Tabela 3, com o agrupamento por região, no intuito de destacar o nível de atendimento em cada uma delas e a evolução da situação nos últimos 5 anos, inclusive para o Brasil como um todo.

Tabela 3 – Dados anuais agrupados por região

Região	Variável	Ano				
		2015	2016	2017	2018	2019
Centro-Oeste	Nº Municípios	145	145	145	145	145
	População	12,096	12,276	12,452	12,593	12,761
	População Atendida Água	11,216	11,417	11,580	11,564	11,862
	Percentual Atendimento Água	93%	93%	93%	92%	93%
	População Atendida Esgoto	7,389	7,758	8,108	7,976	8,822
	Percentual Atendimento Esgoto	61%	63%	65%	63%	69%
Nordeste	Nº Municípios	348	348	348	348	348
	População	32,177	32,413	32,647	32,349	32,569
	População Atendida Água	26,869	27,169	27,172	26,979	27,072
	Percentual Atendimento Água	84%	84%	83%	83%	83%
	População Atendida Esgoto	12,347	13,030	13,302	13,710	14,006
	Percentual Atendimento Esgoto	38%	40%	41%	42%	43%
Norte	Nº Municípios	36	36	36	36	36
	População	7,080	7,181	7,280	7,427	7,549
	População Atendida Água	5,282	5,025	5,199	5,352	5,565
	Percentual Atendimento Água	75%	70%	71%	72%	74%
	População Atendida Esgoto	1,135	1,156	1,320	1,457	1,758
	Percentual Atendimento Esgoto	16%	16%	18%	20%	23%
Sudeste	Nº Municípios	1143	1143	1143	1143	1143
	População	79,304	79,888	80,453	81,205	81,838
	População Atendida Água	73,366	73,982	74,523	75,082	75,820
	Percentual Atendimento Água	93%	93%	93%	92%	93%
	População Atendida Esgoto	63,900	64,844	65,707	66,577	67,719
	Percentual Atendimento Esgoto	81%	81%	82%	82%	83%
Sul	Nº Municípios	315	315	315	315	315
	População	20,540	20,700	20,854	20,981	21,156
	População Atendida Água	19,539	19,711	19,894	20,084	20,289
	Percentual Atendimento Água	95%	95%	95%	96%	96%
	População Atendida Esgoto	11,586	12,071	12,458	12,823	13,326
	Percentual Atendimento Esgoto	56%	58%	60%	61%	63%
Brasil*	Nº Municípios	5570	5570	5570	5570	5570
	População	204,482	206,114	207,660	208,494	210,147
	População Atendida Água	164,772	166,628	167,700	169,025	170,802
	Percentual Atendimento Água	81%	81%	81%	81%	81%
	População Atendida Esgoto	99,425	103,855	105,240	107,431	110,300
	Percentual Atendimento Esgoto	49%	50%	51%	52%	52%

Fonte: Dados SNIS 2015 a 2019. Elaboração própria.

Nota: População em milhão de habitantes.

* Para apresentação dos dados Brasil, foram utilizados os dados completos do SNIS, com 5.570 municípios.

A Tabela 3, mostra que a estagnação verificada anteriormente no atendimento de água está presente nas 5 regiões do país. E da mesma forma, um crescimento lento em esgotamento sanitário da ordem de 1 ponto percentual ao ano, com exceção da região Sudeste, onde a taxa foi ainda menor. Apesar disso, a região Sudeste é a que possui os melhores índices de atendimento em contraponto à região Norte, com os menores, tanto para água quanto para esgotamento sanitário. Em esgotamento sanitário a região que apresentou maior crescimento foi a Centro-Oeste, cujo aumento acumulado no período foi de oito 8 pontos percentuais. Por fim, uma constatação de destaque a partir dos dados da Tabela 3 foi em relação ao baixo nível de atendimento com esgotamento sanitário na região Sul do país, com pelo menos 20 pontos percentuais abaixo do verificado na região Sudeste, por exemplo. Assim, apesar de a região Sul ter o maior índice de atendimento com água, com 96% em 2019, nesse mesmo ano esteve atrás da região Centro-Oeste em esgotamento sanitário, ocupando assim a terceira posição no país. Na Tabela 4 apresentam-se algumas estatísticas descritivas das variáveis, sem agrupamento.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas da base de dados

Variável	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
População (habitantes)	77.281	361.306	781	12.252.023
População Atendida Água (hab.)	69.615	352.230	419	12.166.259
População Atendida Esgoto (hab.)	50.760	322.307	0	11.798.698
Volume Esgoto Tratado (mil m ³ /ano)	2.076	14.113	0	492.564
Despesa Exploração (R\$/ano)	17.374.578	91.468.411	25.000	3.375.832.235

Fonte: Dados SNIS 2015 a 2019. Elaboração própria

Nota: Despesa de exploração corrigida pelo IPCA - IBGE.

Observa-se, pela Tabela 4 a variabilidade das DMUs (municípios) presentes na amostra. No que se refere à população, por exemplo, observa-se a presença tanto de municípios de pequeno porte, com população abaixo de mil habitantes, quanto os de grande porte, tendo o maior deles mais de 12 milhões de habitantes. Essa característica, reforça a adequação da utilização do DEA BCC (com retornos variáveis de escala), pois a forma convexa da envoltória de eficiência, admite DMUs em diferentes estágios de produção e diferentes portes.

3.3 Resultados de eficiência (dea)

A partir da base com 1987 municípios, cujo tratamento foi mencionado anteriormente, as eficiências relativas foram medidas ano a ano, de 2015 a 2019. Para esses cálculos foi utilizado o software *Efficiency Measurement System* (EMS), com retornos variáveis de escala e orientação a *outputs*. O modelo formulado (Modelo 1) tomou a variável Despesa de Exploração corrigida pelo IPCA como *input* e os *outputs* foram: População Atendida com Água, População Atendida com Esgotamento Sanitário e Volume de Esgoto Tratado.

- Modelo 1: Análise de eficiência COM remoção de *outliers* e COM correção pelo IPCA da variável Despesa de Exploração.

Foram realizadas uma série de análises para avaliar robustez do Modelo 1, destacando-se:

- Modelo 2: Análise de eficiência SEM remoção de *outliers* e COM correção pelo IPCA da variável Despesa de Exploração;
- Modelo 3: Análise de eficiência SEM remoção de *outliers* e SEM correção pelo IPCA da variável Despesa de Exploração.
- Modelo 4: Análise de eficiência COM remoção dos *outliers* e COM correção pelo IPCA, e SOMA dos *outputs* População Atendida com Água e População Atendida com Esgotamento Sanitário, passando o modelo a ter dois *outputs*.

Verificou-se que a correção da variável *input* pelo índice de inflação IPCA, não afeta os resultados de eficiência. Tal efeito era esperado, dada a propriedade de invariância do modelo VRS orientado à *outputs* às transformações uniformes nos *inputs*, Pastor (1996). Dessa forma, as análises subsequentes levaram em consideração a correção pelo IPCA, tal qual foi realizado para apresentação das estatísticas descritivas.

Os *outliers* foram detectados pela técnica *Jackstrap* já mencionada, com amostras aleatórias “bolhas” contendo 200 DMUs (~10% da amostra) e 1000 *bootstraps*, seguindo orientação de Souza, J. *et al.* (2008). Pelo fato de haver entre os *outliers*, municípios representativos para o contexto regional e até mesmo nacional, eles não foram removidos da amostra. Nesses casos, o software EMS permite calcular a medida de eficiência desses municípios (*outliers*), sem que suas tecnologias sejam consideradas para a construção da envoltória de eficiência. Com esse artifício, os *outliers* não provocam ruídos na fronteira estimada, não afetando as estimativas de eficiência das demais DMUs (municípios).

A análise de eficiência do Modelo 4, em que foram somadas as variáveis População Atendida com Água e População atendida com Esgotamento Sanitário, apresentou resultado parecido com a análise do Modelo 1 inicial, o qual calculou as medidas de eficiência considerando essas variáveis separadas. Dessa forma, por não ter sido verificadas vantagens na utilização do modelo 4, foi mantida a escolha do modelo 1 para o desenvolvimento das análises dos resultados, incluindo o 2º estágio. A Tabela 5, apresenta a síntese numérica dos resultados dos modelos e das conclusões descritas, com destaque em negrito para o Modelo 1.

Tabela 5 – Resultados de eficiência dos modelos

Ano	Modelos	Nº de Municípios	Eficiência			
			Média	Desvio Padrão	Mínima	Máxima
2015	1	1874	0,42	0,21	0,02	1,00
	2	1987	0,34	0,20	0,02	1,00
	3	1986	0,34	0,20	0,02	1,00
	4	1808	0,45	0,21	0,03	1,00
2016	1	1865	0,44	0,22	0,02	1,00
	2	1986	0,32	0,19	0,01	1,00
	3	1986	0,32	0,19	0,01	1,00
	4	1803	0,45	0,21	0,02	1,00
2017	1	1879	0,44	0,22	0,06	1,00
	2	1987	0,34	0,20	0,04	1,00
	3	1987	0,34	0,20	0,04	1,00
	4	1824	0,44	0,21	0,06	1,00
2018	1	1886	0,40	0,21	0,03	1,00
	2	1987	0,32	0,19	0,03	1,00
	3	1987	0,32	0,19	0,03	1,00
	4	1840	0,44	0,21	0,04	1,00
2019	1	1870	0,42	0,21	0,03	1,00
	2	1987	0,32	0,18	0,02	1,00
	3	1987	0,32	0,18	0,02	1,00
	4	1840	0,43	0,21	0,04	1,00

Fonte: Dados SNIS 2015 a 2019. Elaboração própria

Nota: Modelo 1: Aplicada a remoção de outliers e a correção pelo IPCA;

Modelo 2: Não houve remoção de outliers, mas aplicou-se a correção pelo IPCA;

Modelo 3: Não houve remoção de outliers, e nem aplicação de correção pelo IPCA;

Modelo 4: Aplicada a remoção de outliers e a correção pelo IPCA e somados *outputs*.

Como esperado, a remoção dos *outliers* aumenta a eficiência média calculada, pois a fronteira de eficiência tem amplitude reduzida, sem a deturpação provocado pelas DMUs supereficientes, conceituadas por Andersen, P. e Petersen, N. (1993), ou com erros de dados. Verificada a robustez do Modelo 1, apresenta-se a tabela 6 com os resultados das medidas de eficiência ano a ano, de 2015 a 2019. O agrupamento realizado foi por região com intuito de ampliar a análise preliminar a respeito desse fator, antes da avaliação em 2º estágio.

Tabela 6 - Medidas de eficiência DEA VRS – Modelo 1

Ano	Eficiência					
	Brasil	Centro-Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul
2015	0,42	0,38	0,43	0,51	0,44	0,36
2016	0,44	0,39	0,46	0,46	0,46	0,38
2017	0,44	0,40	0,44	0,54	0,45	0,38
2018	0,40	0,36	0,39	0,47	0,42	0,34
2019	0,42	0,37	0,42	0,40	0,43	0,38

Fonte – Elaboração própria com dados do SNIS 2015 a 219

Da tabela 6 observa-se que em geral, a eficiência estava em evolução ascendente até 2017 quando foi atingido o pico em todas as regiões. Em 2018 ocorre uma queda geral, afetando em maior proporção a região Norte. Em 2019, ocorre nova recuperação do índice de eficiência, exceção feita à região Norte que sofreu nova queda. Essas reduções nos índices de eficiência ocorreram devido a aumentos acumulados no *input* (Despesas de Exploração) sem o acompanhamento na mesma proporção dos *outputs*.

Importante ressaltar ainda, que as medidas de eficiência do DEA, são relativas e não absolutas. Assim, os valores obtidos, referem-se à comparação entre as DMUs consideradas no estudo, ou seja, a partir dos resultados apresentados na tabela 6 verifica-se que comparativamente as DMUs situadas na região Norte conseguem atender um determinado nível de população com água e esgotamento sanitário, com a utilização de menos insumos que as DMUs da região Sul, por exemplo. Ou ainda, avaliando sob a perspectiva dos *outputs*, que corresponde a orientação do Modelo 1, com os mesmos níveis de despesa de exploração (R\$/ano), é possível atender uma população maior na região Norte que na região Sul.

Assim se por um lado, na visão estrita relativa à eficiência, isso indicaria resultado favorável à região Norte, por outro, no cenário de atraso com que essa região se apresenta em relação às demais, quanto ao percentual da população atendida com água e esgoto, esses resultados podem na realidade serem preocupantes. Pois, há uma indicação de que a região Norte necessita de mais investimentos vindos de fora do setor de saneamento para atingir a universalização que as demais regiões, ou seja, ajustes internos que resultem em aumento de eficiência retornam em menores incrementos na ampliação de atendimento.

Já o aumento de eficiência na região Sul, a qual já apresenta bons níveis de atendimento, sobretudo no que se refere ao percentual da população atendida com água, traz mais resultados em termos de avanço nos índices de atendimento rumo à universalização. Havendo, portanto, maiores margens para ampliar a cobertura mantendo os níveis de despesas de exploração. Isso parece ser um fator positivo, dado o cenário de crise econômica vivenciado no Brasil desde 2015 e potencializado em 2020 e 2021 pela pandemia de COVID-19. Com os resultados de eficiência, parte-se para análise de 2º estágio, com intuito de verificar se fatores externos, não controlados pela gestão das DMUs, afetam essas medidas.

3.4 Análise de segundo estágio

Para avaliação dos fatores externos que podem influir nas medidas de eficiência, foi realizada a análise de segundo estágio com a abordagem de Simar e Wilson (2007). Essa técnica vem sendo bastante utilizada em DEA de dois estágios, pois corrige a correlação entre as medidas de eficiência e a possível endogeneidade das variáveis contextuais. As variáveis foram:

- Variável dependente:
 - Índice de eficiência estimado pelo DEA VRS;
- Variáveis independentes:

- *Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul: dummy* que representam regiões do país;
- *Privada – dummy* que indica a natureza administração, recebe 1 se gestão privada e zero caso contrário (pública ou mista);
- *Mista – dummy*, indica presença de dois prestadores no município com natureza jurídica diferentes entre si. Recebe 1 gestão mista, e zero caso contrário (gestão inteiramente pública ou privada tanto para água quanto esgoto);
- *DAgências – dummy*, indica se existe Agência Reguladora de Saneamento no município, recebe 1 se existir e zero caso contrário;
- *Log(DensÁgua)* – variável densidade de rede de água, calculada a partir do logaritmo do quociente da População Atendida com Água pela Extensão de Rede Água. Essa variável é *proxy* para densidade populacional, sendo esperada relação positiva com a eficiência;
- *Log(DensEsgoto)* – variável densidade de rede de esgoto, calculada a partir do logaritmo do quociente da População Atendida com Esgoto pela Extensão de Rede Água. Essa variável também é *proxy* para densidade populacional, sendo esperada relação positiva com a eficiência. Apesar da proximidade entre os conceitos *densidade de rede água* e *densidade de rede de esgoto*, a correlação entre as variáveis para a base é baixa, não ocorrendo multicolinearidade;

A tabela 7, apresenta os resultados obtidos por meio da abordagem Simar e Wilson (2007), a partir de 1000 repetições *bootstraps* para estimativas dos parâmetros e desvios padrão. Foram incluídos ainda as estimativas do MQO *pooled* (sem consideração da dimensão tempo), além do Painel de Efeitos Aleatórios e da regressão Tobit, com intuito de demonstrar a robustez das estimativas encontradas. Não foi realizada estimativa com painel de efeitos fixos, pois essa omite os resultados da *dummy* de região e *dummy* “Mista”, importantes para as inferências do estudo.

Considerando os resultados obtidos pelo modelo de Simar e Wilson (2007) com significância estatística a 5%, verifica-se que tanto a região Nordeste quanto Sul apresentaram coeficientes com sinais negativos, indicando tendência a terem municípios menos eficientes quando comparados aos da região Norte. Para as regiões Centro-Oeste e Sudeste, não houve significância estatística, ou seja, não é possível realizar inferências quanto a influência regional sobre as medidas de eficiências relativas obtidas a partir da DEA para municípios dessas regiões.

Para avaliação do efeito da densidade populacional, representada pelas variáveis *proxy Log(DensÁgua)* e *Log(DensEsgoto)*, os resultados são estatisticamente significantes a 5%, em qualquer modelo analisado. Dessa forma, pode-se inferir que a densidade populacional influi positivamente na eficiência, ou seja, a prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, tende a ser mais eficiente em regiões mais adensadas. Esse resultado era esperado, por conta dos altos custos de implantação e operação dos sistemas, sendo relevante a economia de escala no setor de saneamento.

A partir dos estimadores da *dummy Privada* e *dummy Mista*, que apresentaram coeficientes positivos e estatisticamente significantes a 5% nos quatro modelos, é possível inferir que municípios onde pelo menos um dos serviços (abastecimento de água ou esgotamento sanitário) é prestado pela administração privada tendem a ter *scores* de eficiência maiores que municípios com prestadores de natureza exclusivamente pública. Esse fator inclusive, pode ser considerado um dos determinantes para o destaque da região Norte, pois segundo os dados dessa base, essa é a região com maior percentual de entes privados.

Para a variável *dummy DAgências*, verifica-se sinal negativo do coeficiente do estimador em qualquer modelo analisado, e com significância estatística a 5%. Dessa forma, em que pese a importância das Agências Reguladoras para a boa prestação de serviços públicos concedidos, os resultados apontaram uma indicação que a presença dessas Agências nos municípios, não vêm garantindo a melhora na eficiência. Como o modelo utiliza despesa de exploração como variável

input, esse resultado aponta que, atualmente os custos para manter a operação das Agências Reguladoras, ainda não retornam como benefício para o setor em termos de melhoria na eficiência.

Tabela 7 – Resultados do 2º estágio

<i>Variável dependente: Eficiência</i>				
Modelos	(1)	(2)	(3)	(4)
	Simar e Wilson	MQO Pooled	Painel Ef. Aleat.	Tobit
Centro-Oeste	-0,0191 (0,018)	-0,0383* (0,021)	-0,0895* (0,048)	-0,1004* (0,052)
Nordeste	-0,0405** (0,018)	-0,0524** (0,022)	-0,0542 (0,048)	-0,063 (0,052)
Sudeste	0,0273 (0,018)	0,005 (0,021)	-0,022 (0,046)	-0,0308 (0,050)
Sul	-0,0479*** (0,018)	-0,0677*** (0,021)	-0,0920* (0,048)	-0,1022** (0,051)
Privada	0,0946*** (0,012)	0,0760*** (0,011)	0,1202*** (0,026)	0,1211*** (0,027)
Mista	0,2091*** (0,049)	0,1875*** (0,047)	0,1983** (0,080)	0,1999** (0,082)
<i>DAgencias</i>	-0,1460*** (0,005)	-0,1430*** (0,005)	-0,0300*** (0,004)	-0,0269*** (0,004)
<i>Log(DensÁgua)</i>	0,1297*** (0,005)	0,1194*** (0,006)	0,0634*** (0,010)	0,0619*** (0,011)
<i>Log(DensEsgoto)</i>	0,0609*** (0,004)	0,0531*** (0,004)	0,0229** (0,009)	0,0220** (0,010)
Constante	-0,5151*** (0,032)	-0,3797*** (0,036)	0,0321 (0,075)	0,0532 (0,079)
Nº de observações	9181	9373	9373	9181

Fonte – Elaboração própria.

Nota: *, ** e *** se referem à rejeição da hipótese nula aos níveis de 10%, 5% e 1%. O modelo Simar e Wilson (2007) “censurou” 192 observações com Eficiência (y) igual a 1, assim como, o modelo Tobit.

5. CONCLUSÃO

Das medidas de eficiência obtidas por meio da DEA com retornos variáveis (BCC), orientado a *outputs*, foi possível verificar que a eficiência média do setor de saneamento no Brasil continua baixa, como constatado há quase vinte anos por Tupper e Rezende (2004).

A análise de 2º estágio a partir dos *scores* de eficiência foi importante para revelar quais fatores tendem a influir na eficiência da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil. Nesse sentido, verificou-se que as medidas de eficiência podem

ser afetadas pela densidade populacional dos municípios, em que municípios ou regiões mais adensadas tendem a ser mais eficientes que regiões com baixa densidade populacional, e isso se deve a economia de escala, característica do setor. Esse resultado pode subsidiar decisões importantes, pois indica que municípios menores e com população mais dispersa no território precisariam realmente unirem-se em blocos para viabilizar economicamente a prestação do serviço, conforme previsto na Lei 14.026/2020 que alterou o marco legal do setor.

Com relação a influência regional, municípios da região Sul tendem a ser menos eficientes que os da região Norte, apesar de apresentarem índices de atendimento mais altos. Um dos motivos, seria as despesas de exploração mais elevadas na região Sul do país. No entanto, se pela perspectiva da eficiência esse dado parece ser negativo, sob o aspecto relativo à universalização, tal ineficiência pode se tornar um ponto a ser explorado quanto a possibilidade de ampliar o atendimento da população, sobretudo em esgotamento sanitário, ainda baixo na região Sul, sem provocar aumentos expressivos em despesas. Já para ineficiência da região Nordeste, também está relacionada às despesas de exploração mais altas, um dos fatores pode ser a baixa disponibilidade hídrica. E por outro lado, a abundância hídrica da região Norte pode ter sido o fator adicional que contribuiu para a sua eficiência. Assim, sugere-se que as diferenças hídricas entre as regiões, sejam abordadas em estudos posteriores.

Quanto a natureza jurídica do prestador dos serviços, os resultados indicaram que municípios onde há prestador privado em pelo menos um dos serviços (água ou esgoto) tendem a apresentar *scores* de eficiência maiores que aqueles cuja prestação é exclusiva de ente público. Esse resultado inclusive, pode ser considerado como um dos fatores que contribuíram positivamente para o *score* de eficiência da região Norte, pois esta é a que possui mais prestadores privados frente as demais regiões.

Já a presença das Agências Reguladoras de serviço público não resultou em tendência positiva para as eficiências calculadas. Dessa forma, infere-se que a regulação no país pode estar gerando custos que não são revertidos na proporção adequada em eficiência na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Trazendo de volta a questão levantada no início do presente estudo referente a contribuição das Agências Reguladoras para a eficiência do Setor. Sendo importante lembrar da característica de quase normalidade da ineficiência dos setores em monopólio natural, denominada *quiet life*, por Marques (2011), tendo a Regulação papel importante para mitigá-la. Pois caso isso não aconteça, há o risco inclusive que a maior eficiência verificada nos municípios com participação de entes privados na concessão, não seja revertida em benefícios para o Saneamento no país, como melhoria na qualidade dos serviços, modicidade tarifária, e tampouco na ampliação do atendimento da população. Colocando em dúvidas a real contribuição do Novo Marco Regulatório para a resolução da questão da universalização do saneamento no país.

Por fim, esse estudo não analisou a evolução da produtividade no período. Assim recomenda-se que trabalhos futuros abordem o Índice de Malmquist identificando se as fontes de variação são devidas a evolução na eficiência, modificações tecnológicas ou mudanças de escala.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. **A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis**. *Management Science*, v. 39, n.10, 1261–1264, out. 1993.
- BADUNENKO, O.; TAUCHMANN, H. **Simar and Wilson two-stage efficiency analysis for Stata**. FAU Discussion Papers in Economics, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg, Inst. Economics, n.8, maio 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/179503>>. Acesso em: 04 set. 2021.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. **Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis**. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, set. 1984.

BRASIL. **Agências Infranacionais**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/agencias-infranacionais>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

_____. **Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos. SNIS-AE**. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS). Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

_____. Lei nº 11.445, de 05.01.2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Brasília: Congresso Nacional, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 30 maio 2021.

_____. Lei Nº 14.026, de 15.07.2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Presidência da República, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 02 abr. 2021.

_____. **Painel de Informações Sobre Saneamento**. Secretaria Nacional de Saneamento (SNIS). Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: < <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

_____. **Referencial básico de governança aplicável a organizações públicas e outros entes jurisdicionados ao TCU / Tribunal de Contas da União**. Edição 3 - Brasília: TCU, Secretaria de Controle Externo da Administração do Estado – Secex Administração, 2020. 139 p.

CAVALCANTI, A. TEIXEIRA, A. PONTES, K. **Evaluation of the Efficiency of Basic Sanitation Integrated Management in Brazilian Municipalities**. International Journal of Environmental Research and Public Health [S. l.], v. 17, n. 24, dez. 2020. DOI: <<https://doi.org/10.3390/ijerph17249244>>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/17/24/9244/htm>>. Acesso em: 02 jun. 2021.

CHANG, Y.; ZHU, D. **Water utilization and treatment efficiency of China's provinces and decoupling analysis based on policy implementation**. Resources, Conservation and Recycling. V. 168, maio 2021.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making Units**. European Journal of Operational Research, 2, p. 429-444, 1978.

CRUZ, F.P.; MOTA, R.S.; MARINHO, A. **Análise da Eficiência Técnica e da Produtividade dos Serviços de Água e Esgotos no Brasil de 2006 a 2013**. Pesquisa e Planejamento Econômico. PPE, v. 49, n. 3, dez. 2019.

FARIA, R.C.; FARIA, S.A.; MOREIRA, T.B.S. **A privatização no setor de saneamento tem melhorado a performance dos serviços?** Planejamento e Políticas Públicas [S. l.], n. 28, set. 2009. Disponível em: <www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/46>. Acesso: 25 jul. 2021.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. **Introdução à análise envoltória de dados: Teoria, Modelos e Aplicações**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2020.

GASPARINI, C.E. **Notas de aula do curso: Análise de Eficiência e Produtividade**. IDP. Brasília, 2021.

_____.; MIRANDA, R.B. **Transferências, Equidade e Eficiência Municipal no Brasil**. Planejamento e Políticas Públicas, [S. l.], n. 36, out. 2011. Disponível em: <www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/230>. Acesso em: 10/08/2021.

LE LANNIER, A.; PORCHER, A. **Efficiency in the Public & Private French Water Utilities: Prospects for Benchmarking**. Applied Economics, v. 46, p. 556-572, 2014. DOI: 10.1080/00036846.2013.857002.

- LOMBARDI, G.V.; STEFANI, G.; PACI, A.; BECAGLI, C.; MILIACCA, M.; GASTALDI, M.; GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. **The sustainability of the Italian water sector: An empirical analysis by DEA**. *Journal of Cleaner Production*, vol. 227, p. 1035-10431, ago. 2019.
- MARQUES, R.C. **A regulação dos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais** – Uma perspectiva internacional. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). Lisboa: Centro de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR), 2011.
- NEUENFELDT JÚNIOR, A.L.; MACHADO, C.M.; SILUK, J.C.M.; SOLIMAN, M.; HUPFER, N.T.; PARIS, S.R. **Comparativo entre as metodologias MCDA-C, DEA e AHP**. *Revista FAE*, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 6 - 19, jan./jun. 2015. Disponível em: <<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/viewFile/27/27>>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- OLIVEIRA, D.E.; ASSIS, L.A.S.; BARBOSA, A.; SOBRINHO, L.V.O.; COELHO, I.M. **Análise de Tendência dos Estudos Enfocados em Custos e Eficiência do Setor de Saneamento Básico**. *Revista Ambiente Contábil*, Natal/RN, v. 4, n. 2, p. 40, jul./dez. 2012.
- PASTOR, J. T. **Translation invariance in data envelopment analysis: a generalization**. *Annals of Operations Research*, v. 66, p. 93-102, 1996.
- PEÑA, C.R. **Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA)**. *Revista Administração Contemporânea*, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, jan./mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552008000100005>. Disponível em: <<https://rac.anpad.org.br/index.php/rac/article/view/587>>. Acesso: 14 maio 2021.
- PORTELLA, V. R.; SANTOS, R.R.; BORBA, J.A. **Eficiência dos investimentos das prestadoras de serviço de saneamento dos municípios de Santa Catarina**. *Revista de Contabilidade da UFBA*, Salvador, v. 12, n. 2, p. 42-59, maio/ago. 2018.
- SAMPAIO, B.; SAMPAIO, Y. **Influências Políticas na Eficiência de Empresas de Saneamento Brasileiras**. *Econ. aplic.*, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 369-386, jul./set. 2007.
- SANTOS, R.R.; FREITAS, M.M.; FLACH, L. **Avaliação da Eficiência dos Gastos Públicos com Educação dos Municípios de Santa Catarina**. *Administração Pública e Gestão Social*, [S. l.] v. 12, n. 2, abr./jul. 2020. DOI: <10.21118/apgs.v12i2.5755>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/apgs/article/view/5755>. Acesso em: 9 ago. 2021.
- SCARATTI, D.; MICHELON, W. SCARATTI, G. **Avaliação da eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando Data Envelopment Analysis**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 333–340, out./dez. 2013.
- SOUZA, C.M.N.; COSTA, A.M.; MORAES, L.R.S.; FREITAS, C.M. **Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental**. SciELO - Editora FIOCRUZ. Edição do Kindle, 2015.
- SOUZA, J.C.F.; SOUZA, M.C.S.; TANNURI-PIANTO, M. E. **Modelos Não Paramétricos Robustos de Gestão Eficiente de Agências Bancárias: O Caso do Banco de Brasil**. *Revista Economia*, Brasília, v. 9, n. 3, p. 601–623, set./dez. 2008.
- SOUZA, M.C.S.; STOŠIĆ, B. **Technical efficiency of the Brazilian municipalities: Correcting non-parametric frontier measurements for outliers**. *Journal of Productivity Analysis*, v. 24(2), p. 157-181, fev. 2005.
- TUPPER, H.C.; RESENDE, M. **Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study**. *Utilities Policy*, v. 12, p. 29–40, mar. 2004.