



Nicole Peçanha do Rêgo Barros

**Metodologia de avaliação de desempenho operacional
de empresas de serviços públicos: aplicação
ao setor de saneamento**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Reinaldo Souza Castro

Rio de Janeiro

Abril de 2015



Nicole Peçanha do Rêgo Barros

**Metodologia de avaliação de desempenho operacional de
empresas de serviços públicos: aplicação ao setor de saneamento**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Reinaldo Castro Souza

Presidente / Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica (PUC-Rio)

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PUC-Rio)

Prof. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Departamento de Engenharia Industrial (PUC-Rio)

Prof. Jose Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2015

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e de sua orientadora.

Nicole Peçanha do Rêgo Barros

Bacharel em Estatística pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Tem experiência profissional como consultora estatística em regulação do setor elétrico e de saneamento. Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio.

Ficha catalográfica

Barros, Nicole Peçanha do Rêgo

Metodologia de avaliação de desempenho operacional de empresas de serviços públicos: aplicação ao setor de saneamento / Nicole Peçanha do Rêgo Barros; orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2015.

88 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, 2015.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Eficiência. 3. Setor de saneamento. 4. Análise Envoltória de dados. 5. DEA. 6. Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos. 8. MQOC. 9. Indicadores de Desempenho. 10. Benchmarking. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. III. Título.

CDD: 389.1

Dedico esta dissertação à minha mãe, Maria de Fátima Peçanha Ferreira, que representa a verdadeira mulher e mãe brasileira, pessoa admirável, exemplo de força, coragem e determinação.

Agradecimentos

À minha querida mãe, pois se não fosse toda sua dedicação, amor e esforços, nada disso seria possível. Sempre me apoiando e me incentivando, tanto nos bons quanto nos maus momentos, sempre estive do meu lado. Mulher pela qual dedico todas as minhas vitórias.

À Pontifícia Universidade Católica, ao digníssimo professor Maurício Frota e à CAPES, por terem acreditado em mim e no meu potencial dando-me a chance de realizar o sonho de cursar o mestrado no curso de pós-graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação - PósMQI, com as melhores oportunidades de aquisição de conhecimentos e desenvolvimento de novos estudos.

Ao meu querido orientador, Reinaldo Castro, que foi meu anjo da guarda e me mostrou o caminho para a realização deste sonho quando tudo parecia perdido. Professor admirável, que terá a minha eterna gratidão.

Ao meu namorado, Bruno Martins, que ao longo desses seis anos de companheirismo, sempre me deu todos os suportes e apoio necessários para a realização deste projeto de vida.

Às mulheres da minha vida, minha Tia Aparecida Pessanha, à minha afilhada Maria Clara Pessanha e as minhas primas Ana Carolina Pessanha e Amanda Pessanha, por sempre me motivarem a superar meus limites. Por Acreditarem em mim e na minha capacidade.

Ao Natanael Felipe do Rego, pessoa pelo qual me mostrou o lado paterno nas fases mais essenciais da minha vida. Homem que me ensinou a viver em sociedade, a me comportar como mocinha e atuar de forma sábia na arte da vida. Pessoa de eterna admiração, pelo qual devo grande parte de quem sou.

Ao meu querido padrasto Sérgio Arruda, homem admirável com o seu modo de encarar a vida. Pessoa de coração nobre, sendo sempre solícito e atencioso a todos que o cerca. Pessoa pelo qual dedico grande parte dessa vitória, que muito estimo.

Aos meus grandes, especiais e queridos amigos de faculdade, mestrado e de vida, Karine Moura, Nayara Pereira, Juliana Macedo, Fernanda Zanon e Gustavo Galuzo e Fabiano Torrini, sem eles minha vida seria incompleta. Pessoas pelas quais dedico grande parte desta vitória.

Aos amigos, Fernando Cunha, Paulo Maia, Bianca Orsi e Antônio Rendas, por todos os incentivos, orientações e amizade. Que jamais percamos a essência que nos mantém unidos.

A minha grande amiga Walquíria Rosa, que conheci no curso de metrologia, que mesmo tendo pouco tempo de amizade, me mostrou o lado bom da batalha da vida. Sempre com seu sorriso lindo, alegrando as minhas manhãs. Se tornando uma fonte de inspiração para mim. Agradeço também, a todos os alunos da minha turma de mestrado, 2013/01.

A todos os funcionários e professores do Departamento da PósMQI, em especial à Marcinha, Márcia Ribeiro Teixeira, da secretaria da Metrologia, pessoa maravilhosa, que por muitas vezes me fez ir para a PUC só para dar um “oi”, pois seu carisma é contagiante. Agradeço também, a Paulinha, pelo seu jeitinho meigo e simpático de tratar não só a mim, mas todos os alunos e professores.

Aos amigos e colegas da Siglasul, pela oportunidade e apoio para a realização e conclusão do meu mestrado. Em especial à Tânia Alexandra Correa, por compartilhar seus conhecimentos e por muitas vezes ser companheira e atenciosa, e a Edith Muniz, por sempre me incentivar e torcer por mim.

A todos meus amigos, que me apoiaram ao longo de todos os meus 30 anos de vida, vibrando e torcendo sempre pelo meu sucesso. Meus sinceros agradecimentos.

Resumo

Barros, Nicole Peçanha do Rêgo; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Metodologia de avaliação de desempenho operacional de empresas de serviços públicos: aplicação ao setor de saneamento**. Rio de Janeiro, 2015. 88p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O setor de saneamento desempenha um papel fundamental à vida humana. A gestão eficiente dos recursos hídricos é de grande relevância à sociedade devido à sua importância econômica e produtiva para o desenvolvimento de outros bens e serviços. O presente estudo apresenta uma análise de *benchmarking* com o objetivo de avaliar a eficiência dos custos operacionais das empresas de saneamento do Brasil. Este abordou 3 metodologias de *benchmarking*, sendo elas a Análise Envoltória de Dados (DEA), Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC) e Análise de Indicadores de Desempenho. Inicialmente foi estimada uma eficiência média a partir do DEA e MQOC, em seguida foi realizado o ajuste desta eficiência através de variáveis não gerenciáveis pelas empresas, por meio da regressão *TOBIT*. Por fim, foi feita uma análise complementar através de 15 indicadores de desempenho que abarcavam características de custos médios, produtividade e perdas de água no setor de saneamento. Os dados utilizados para este estudo foram disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Para a estimação da eficiência foi considerado como variável de insumo o custo operacional das empresas (OPEX) Para produto, as variáveis de quantidade de ligações ativas e volume faturado de água e esgoto. Observou-se que o impacto das variáveis não gerenciáveis beneficiou o desempenho das empresas, mas não gerou mudanças significativas quanto à posição no *ranking* de eficiência. O resultado da eficiência média estimada pelas metodologias DEA e MQOC indicou a SANEPAR como *benchmark* relativamente aos seus custos operacionais, bem como a análise de indicadores de desempenho, para o ano de 2012.

Palavras-chave

Metrologia; Saneamento Básico; Eficiência; DEA; MQOC; Regressão *TOBIT*; Insumos e Produtos; Indicadores de Desempenho; Água e esgoto.

Abstract

Barros, Nicole Peçanha do Rêgo; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **A Methodology to evaluate the operational performance of public utilities enterprises: application to the sanitation sector**. Rio de Janeiro, 2015. 88p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-graduação em Metrologia. Concentration Area: Metrology for Quality and Innovation, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The sanitation sector plays a key role in human life. Efficient management of water resources is completely relevant to society because of their economic and productive importance for the development of other goods and services. This study presents a benchmarking analysis in order to evaluate the efficiency of the operating costs of sanitation companies in Brazil. Three benchmarking methodologies were used, Data Envelopment Analysis (DEA), Corrected Ordinary Least Square (COLS) and Performance Indicators Analysis. Initially an average efficiency was estimated from the DEA and COLS. Later, through TOBIT regression, an adjustment of this efficiency was made through this uncontrollable variables by companies. Finally, an additional analysis was performed using 15 performance indicators that spanned average cost characteristics, productivity and water losses in the sanitation sector. The data used for this study were provided by the Brazilian Sanitation Information System (SNIS). To estimate the efficiency was considered as an input variable operating costs of companies (OPEX). Regarding to product, the amount of variable active links and volume of billed water and sewage were considered. It was observed the impact of uncontrollable variables benefited performance of the companies, but did not cause significant changes on the position in the ranking of efficiency. The result of the average efficiency estimated by the DEA and COLS methodologies indicated SANEPAR as a benchmark due to its operating costs, as well as the performance indicator analysis for the year 2012.

Keywords

Metrology; Sanitation; Efficiency; DEA; COLS; TOBIT Regression: Inputs and Outputs; Water and Sewage Indicators.

Sumário

1. Introdução.....	14
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	16
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	17
1.3 Motivação.....	17
1.4 Metodologia.....	18
1.5 Estrutura da dissertação.....	19
2. Setor de Saneamento Básico no Brasil.....	20
2.1 Modelos Regulatórios.....	23
2.1.1 Modelos Regulatórios: Panorama Internacional.....	24
3. Eficiência Econômica e suas Metodologias de Estimação.....	29
3.1 Abordagem Paramétrica.....	35
3.1.1 Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).....	36
3.1.2 Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC).....	39
3.1.3 Análise de Fronteira Estocástica (SFA).....	40
3.2 Abordagem Não Paramétrica.....	43
3.2.1 Indicadores de Desempenho: Setor de Saneamento.....	44
3.2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA).....	48
3.2.3 Análise Envoltória de Dados (DEA): 2º Estágio	53
4. Proposição Metodológica.....	55
4.1 Tratamento da Amostra e Seleção das Variáveis.....	56
4.2 Definição dos Indicadores de Desempenho.....	60
5. Aplicação e Resultados.....	62
6. Conclusões e recomendações.....	66
7. Referências bibliográficas.....	69
8. Anexo I – Resultado Regressão TOBIT.....	77
9. Anexo II - Análise Gráfica dos Indicadores de Desempenho.....	78
10. Anexo III – Sínteses de alguns trabalhos que avaliaram o nível de eficiência de diversos setores.....	86

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....	18
Figura 3.1 - Decomposição da Eficiência Econômica.....	30
Figura 3.2 - Fronteira de Produção.....	31
Figura 3.3 - Eficiência Técnica e Alocativa de preços.....	32
Figura 3.4 - Fronteira Média por Mínimos Quadrados Ordinários.....	37
Figura 3.5 - Fronteira por Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos.....	39
Figura 3.6 - Função Custo de Fronteira Estocástica.....	41
Figura 3.7 - Retornos de Escala.....	50
Figura 3.8 - Orientação do Modelo DEA.....	51
Figura 3.9 - Equações de Otimização do Modelo DEA.....	51
Figura 4.1 - Gestão do processo de implementação de um programa/ação.....	56
Figura 4.2 - Ciclo de gestão de programas.....	58

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Síntese dos Modelos de Regulação: Panorama Internacional.....	28
Quadro 3.1 - Classificação Metodologias Benchmarking.....	34
Quadro 3.2 - Características de adequação dos Indicadores de Desempenho.....	46
Quadro 4.1 - Amostra com 12 Empresas.....	57
Quadro 4.2 - Amostra com 11 Empresas Comparáveis.....	59
Quadro 4.3 - Variáveis Não Gerenciáveis pelas empresas.....	59
Quadro 4.4 - Indicadores de Desempenho.....	60
Quadro 5.1 - Estimações Eficiências DEA e MQOC.....	62
Quadro 5.2 - Resumos e Eficiências Corrigidas.....	63
Quadro 5.3 - Análise dos Indicadores de Desempenho.....	64

Siglas

ADERASA-	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas
AIC -	Critério de Informação de Akaike
ANEEL -	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNH -	<i>Banco Nacional de Habitação</i>
CESB -	Companhias Estaduais de Saneamento Básico
CIP-	Comissão Interministerial de Preços
CRA -	Comission de regulacion de Agua Potable y Saneamiento Básico
CRS -	Retorno Constante de Escala
DATASUS -	<i>Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde</i>
DEA -	Análise Envolvória de Dados
DMU -	Decision Making Units
EA -	<i>Eficiência Alocativa</i>
EAAB-	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EG -	Entidade Gestora
ER-	<i>Empresa de Referência</i>
ET -	Eficiência Técnica
IBGE -	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
ID -	Indicadores de Desempenho
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
ITB-	Instituto Trata Brasil
IWA-	International Water Association
MQO -	Mínimos Quadrados Ordinários
MQOC-	<i>Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos</i>
MTE -	<i>Ministério do Trabalho e Emprego</i>
NDRS-	Retornos de escala não decrescente
OFWAT-	<i>Office of Water Service</i>
OMS-	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
ORTN-	<i>Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional</i>
OSE-	<i>Obras Sanitarias del Estado</i>
P&A-	<i>Processos e Atividades</i>
PLANASA-	<i>Plano Nacional de Saneamento</i>
PLANSAB-	<i>Plano Nacional de Saneamento Básico</i>
SACMEX-	Sistemas de Aguas de la Ciudad de México
SEDAPAL-	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SFA-	Análise de Fronteira Estocástica
SFS-	Sistema Financeiro de Saneamento
SISS-	<i>Superintendencia de servicios de Saneamento</i>
SNIS -	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SSP -	Superintendencia de Servicios Públicos

- SUNASS - Superintendência Nacional de Servicios de Saniamento
- TOBIT- Censored Regression Model
- URSEA - Unidad Reguladora de Servicios de Energia y Agua
- VRS - Retorno de escala variável
- WWDR - *United National Word Water Development Report*

Introdução

A lei nº 11.445 (Brasil, 2007) estabelece diretrizes nacionais assegurando a acessibilidade dos brasileiros aos serviços de saneamento básico, definido como um conjunto de serviços de infraestrutura e Instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem que podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. No Brasil, ainda existem grandes problemas em relação a saúde por falta de um serviço adequado de saneamento básico no país. Segundo o Departamento de Informática do SUS (DATASUS), 2014, em 2013 foram notificadas mais de 340 mil internações por infecções gastrointestinais e 2.135 mortes em hospitais por infecções gastrointestinais. Se estas pessoas tivessem tido acesso ao saneamento básico haveria tido uma redução de 329 mortes. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2014, em 2012, mais de 60% dos esgotos produzidos no país não foram tratados, em que dois terços dos domicílios lançaram seus dejetos em local não apropriado, poluindo rios, mares e lençóis freáticos. Segundo informações obtidas em 2014 através da *The United Nations World Water Development Report* (WWDR), 2014, cerca de 768 milhões de pessoas no mundo continuam sem acesso a uma fonte de água potável, ademais, estima-se que mais de 90% das águas utilizadas nos países em desenvolvimento, não é recoletada e nem tratada.

Não apenas a saúde e a preservação do ambiente são afetadas com a falta de saneamento ou precariedade deste, mas também outros setores de igual importância como educação, cidadania, turismo, entre outros. O Instituto Trata Brasil (ITB), 2014, apontou que se no ano de 2012 já houvesse a universalização do acesso à coleta de esgoto e água tratada, haveria uma redução de 6,8% no atraso escolar dos alunos que vivem em regiões sem saneamento. Em relação à cidadania, este mesmo instituto informou que cerca de 80% das pessoas disseram

que nunca cobraram nenhuma providência da prefeitura com relação à falta de saneamento, em consequência deste descaso governamental ou ineficiência dos serviços e atividades desenvolvidas, o setor do turismo também acaba sendo afetado com tantos esgotos expostos aos visitantes.

As externalidades negativas deste setor devem-se em grande parte à falta de investimento em infraestrutura, mais ainda, àquelas populações concentradas em áreas mais pobres e distantes dos grandes centros urbanos onde os investimentos nem sempre são economicamente interessantes para seus respectivos governantes. Em consequência, ocorre um significativo aumento nos gastos dos cofres públicos em decorrência de elevadas taxas de internamentos hospitalares.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), para a universalização do acesso aos quatro serviços do saneamento (acesso a água encanada, esgoto tratado, resíduos coletados e drenados), seria de R\$ 508 bilhões, no período de 2014 a 2033 (ITB, 2014). Ademais, em 2012 foi observado que a maioria das grandes cidades do país analisadas, não evoluiu em seus indicadores de perdas de água, o que é preocupante por ser um indicador síntese da gestão do sistema de saneamento (ITB, 2014).

Entendendo que o setor de saneamento desempenha um papel fundamental à vida humana, a garantia de eficiência e qualidade nos serviços de saneamento é um direito estabelecido por lei. Conforme apresentado no artigo 2º, incisos I, II e VII da Lei 11.445 (Brasil, 2007), como segue:

“Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - universalização do acesso; (...)

III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; (...)

VII - eficiência e sustentabilidade econômica; (...)”

Ademais, uma gestão eficiente de um bem público, como os recursos hídricos, é de grande relevância devido ao seu peso na economia e à sua importância para a produção de outros bens e serviços. Nos casos de monopólio natural, como o setor de saneamento, caracterizado pela ausência de incentivos à eficiência e eficácia, é fundamental a existência de alguma forma de regulação que proteja os interesses dos consumidores e da indústria em relação ao equilíbrio dos preços e qualidade dos serviços (Correia, 2008). Visando estas características

regulatórias, a referida lei também estabelece critérios, conforme disposto no artigo 23, abaixo:

“Art. 23. A entidade reguladora editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos:

I - padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços; (...)

IV - regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão; (...)

VII - avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados; (...)”

Dessa forma, avaliar as eficiências, em um contexto monopolístico¹, incentiva o aperfeiçoamento de seu desempenho e conseqüentemente, melhores práticas de utilização dos recursos hídricos e financeiros.

Estas considerações constituíram a motivação para a realização deste estudo, cujo objetivo é avaliar a eficiência do setor das empresas de saneamento do Brasil, recorrendo à metodologia de *benchmarking*² comumente adaptadas por reguladores na determinação da eficiência produtiva, e análise de indicadores de desempenho.

1.1

Definição do problema de pesquisa

Considerando-se a importância do monitoramento e avaliação como instrumentos da gestão pública e a necessidade de constantes análises a respeito da eficiência e eficácia dos serviços prestados à população brasileira, relativamente aos custos operacionais das empresas de saneamento, definiu-se a seguinte questão a ser respondida ao longo do estudo:

“Quais empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto mais eficientes, relativamente aos seus custos operacionais e indicadores de produtividade, no ano de 2012?”

¹ Monopolístico: O monopólio natural é uma situação de mercado em que os investimentos necessários são muitos elevados e os custos marginais são muito baixos. Caracterizados também por serem bens exclusivos e com muito pouca ou nenhuma rivalidade.

² *Benchmarking*: Processo de busca das melhores práticas numa determinada indústria e que a conduz a um desempenho superior.

1.2

Objetivos: geral e específicos

Buscando dar uma contribuição às empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto, bem como às reguladoras destas, o objetivo geral desta dissertação é avaliar o nível de eficiência destas empresas em relação aos seus custos operacionais observando suas características territoriais.

Em termos específicos, a dissertação busca:

- Determinar a metodologia de *benchmarking* que será adotada no estudo, baseado em literaturas;
- Determinar variáveis de insumo e produtos, determinantes para a estimação da eficiência das empresas;
- Especificar as variáveis não gerenciáveis (ambientais) pelas empresas, que serão consideradas para o ajuste da eficiência;
- Determinar os indicadores de produtividade, baseado em literaturas, que serão utilizados como critério apoio para a seleção das empresas mais eficientes do setor.

1.3

Motivação

No contexto institucional no qual a pesquisa se insere, considera-se que esse esforço propiciará ao órgão regulador, bem como aos diversos atores envolvidos na prestação dos serviços de saneamento do Brasil, uma avaliação adequada para o monitoramento dos serviços das empresas quanto aos seus custos operacionais.

De uma maneira geral, a principal motivação desta pesquisa refere-se à oportunidade de beneficiar as partes interessadas no processo da revisão tarifária das empresas deste setor, mas principalmente contribuir para o monitoramento e avaliação do desempenho destas, na perspectiva da minimização dos gastos na operação dos serviços necessários à população de modo assegurar ao consumidor que as tarifas pagas considerem a eficiência na prestação destes.

Ademais acredita-se que a metodologia aplicada neste estudo contribuirá não apenas para avaliação da eficiência, mas também como uma forma de comparar o posicionamento de cada empresa segundo os indicadores de desempenho do setor. Poderá também ser útil para futuras análises de diferentes

setores da economia, cujo objetivo seja produzir mais com menos de forma atender as necessidade do consumir com eficiência e qualidade.

1.4

Metodologia

A Figura 1.1 apresenta a sequência da pesquisa em suas três grandes fases: (i) exploratória e descritiva; (ii) pesquisa aplicada; (iii) conclusiva.

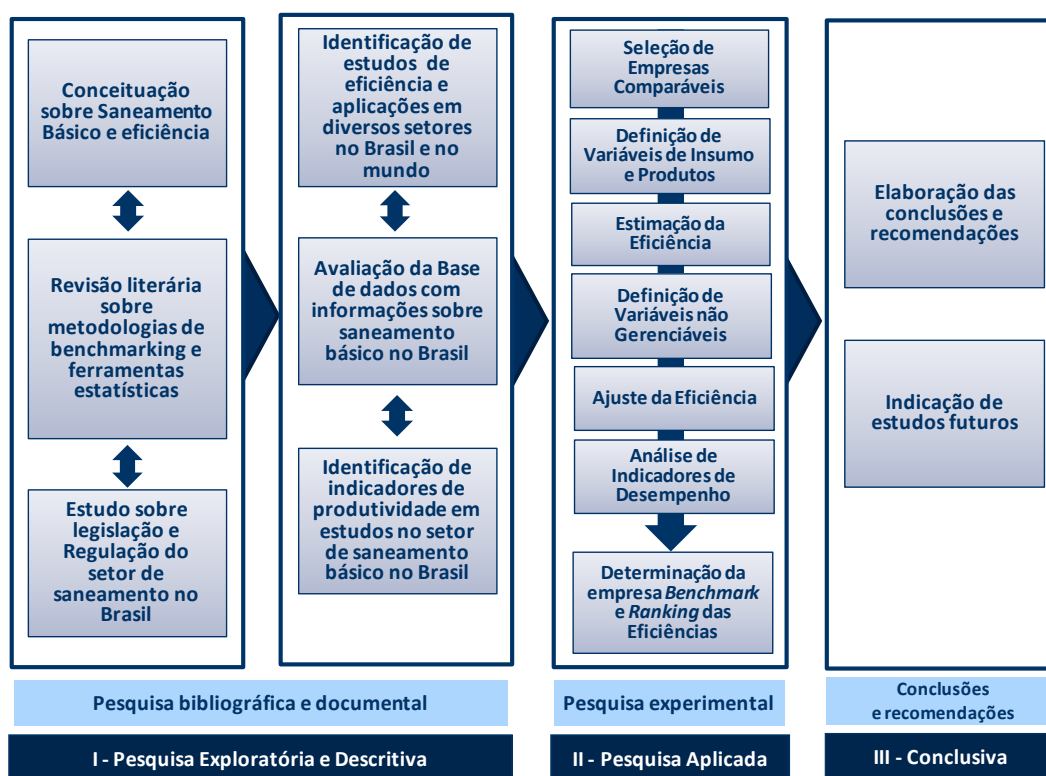


Figura 1.1 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Fonte: Elaboração própria.

Conforme a taxonomia proposta por Vergara (2002; 2005), a pesquisa pode ser considerada aplicada, descritiva e metodológica (quanto aos fins). Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, conforme indicado na fase exploratória e descritiva da Figura 1.1; (ii) construção do modelo lógico do desenvolvimento da pesquisa, iniciando pela determinação das empresas comparáveis, com o mesmo porte; (iii) definição das variáveis de insumo (*inputs*) e produtos (*outputs*) para a determinação da eficiência; (iv) seleção das variáveis

exógenas, ou não gerenciáveis às empresas prestadoras de serviços através de uma análise estatística por regressão *TOBIT*; (v) ajuste da eficiência através a partir dos impactos não gerenciáveis das áreas de concessão das empresas; (vi) análise dos indicadores de produtividade do setor com objetivo de corroborar os resultados obtidos na etapa anterior; (vii) discussão dos resultados, conclusões e recomendações para aplicação do estudo às entidades envolvidas e interessadas nos resultados da pesquisa.

1.5

Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, incluindo esta introdução.

No capítulo 2, apresentam-se o marco conceitual referente ao desenvolvimento do setor de saneamento no Brasil e as formas regulatórias deste setor adotadas em diversos países do mundo.

No terceiro capítulo é apresentada uma contextualização sobre eficiência econômica e suas metodologias de estimação, sendo elas os Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC), Análise de Fronteira Estocástica (SFA), Análise Envoltória de Dados (DEA) e Indicadores de Desempenho. Nesta etapa serão abordadas, de forma detalhada, as principais metodologias de estimação, a natureza destas e uma breve revisão de literatura sobre a aplicação de cada um dos métodos abordados.

No quarto capítulo refere-se à proposição metodológica, tratamento da amostra adotada, seleção das variáveis e dos indicadores a serem analisados neste estudo.

No capítulo 5, serão expostos os resultados adquiridos através das análises realizadas, dando uma visão comparativa do desempenho das empresas selecionadas para este estudo.

Por fim, no último capítulo, serão apresentadas as conclusões do trabalho, bem como as considerações finais, sugestões de possíveis investigações e aprofundamentos acerca das metodologias de *benchmarking*, neste ou em outros setores.

Setor de Saneamento Básico no Brasil

No início da década de 1970, o Governo Federal através do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA). Neste plano, houve incentivo para que os municípios concedessem os serviços de saneamento às companhias estaduais, os quais apresentavam acesso ao Sistema Financeiro de Saneamento (SFS), no âmbito do Banco Nacional de Habitação (BNH). Assim, foram criadas, sob a forma de Sociedade Anônima, as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) (Grigolin, 2007).

O principal objetivo deste sistema era de que os incentivos do SFS fossem gradualmente reduzidos à proporção que as CESBs obtivessem autonomia financeira, a partir de tarifas geradas dos investimentos. Ou seja, instituir um modelo tarifário que buscava a viabilidade econômico-financeira das companhias estaduais, garantindo receitas suficientes para cobrir as despesas de exploração e atender o serviço da dívida com Sistema Financeiro do Saneamento. Sob o controle do Governo Federal (Grigolin, 2007).

Em 1978, as tarifas de saneamento foram normatizadas pela Lei no 6.528/78 e Decreto no 82.587/78. Este arcabouço legal foi responsável em promover a autossuficiência das companhias, mediante aplicação do princípio de retribuição do serviço pelo custo e remuneração de 12% ao ano sobre o investimento reconhecido. Além de instituir o sistema de subsídios cruzados, dos usuários de maior para os de menor poder aquisitivo, bem como dos grandes para os pequenos consumidores; orientar a estrutura tarifária para, mantido o equilíbrio econômico-financeiro, diferenciar as tarifas segundo categorias de usuários (residencial, comercial, industrial e pública) e ter progressividade em função do consumo; e limitar o consumo mínimo a 10m³ e a respectiva conta mínima residencial a 50% da ORTN (Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional).

Devido à estratégia de controle inflacionário da Comissão Interministerial de Preços (CIP), as tarifas dos serviços públicos foram mantidas propositadamente baixas, aquém da necessária para a autossustentação. Dessa forma, o final da década de 80 foi marcado pelo esgotamento das fontes de

financiamento concorrentemente ao período de término das carências dos empréstimos obtidos nos anos anteriores (Grigolin, 2007). As CESBs entraram em inadimplência e o modelo enfraqueceu acarretando a desarticulação do PLANASA, e a extinção do BNH, em 1986.

Com a Constituição de 1988 e a exaustão do modelo financeiro do PLANASA, os Estados e Municípios ganharam autonomia para gerir o processo de prestação de serviços, infraestrutura e tarifas do setor, conforme artigos da Constituição Federal de 1988, apresentados a seguir:

“Artigo 30, inciso V – compete aos municípios organizar e prestar diretamente, ou sob-regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial.

Artigo 21, inciso XX - estabelece que à União cabe instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos;

Artigo 23, inciso IX - é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios “devem promover programas de construção de moradia e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico”.

Contudo, esta autonomia dada aos Estados, para determinação da política tarifária, resultou em fortes aumentos tarifários nos anos de 1989/90. Novamente, sob a bandeira do controle da inflação, o Governo Federal voltou a limitar a autonomia tarifária através da Lei nº 8.030/1990 (Plano Collor), passando a acompanhar as tarifas pela Portaria nº 01/1990 MEFP.

No final do ano seguinte, sob a Lei nº 8.170/91, as tarifas passaram a ser definidas pelo poder concedente estadual ou municipal. O arranjo predominante foi o da autorregulação; onde os próprios prestadores de serviços eram responsáveis pela normatização setorial, sendo que a determinação das tarifas envolvia uma negociação direta entre o poder executivo estadual/municipal e as companhias.

Esse contexto institucional foi alterado consideravelmente com a promulgação da Lei nº 11.445/2007, que estabeleceu as atuais diretrizes para a regulação e a política de saneamento básico no Brasil. Esta se apresentou taxativa ao definir a universalização como princípio fundamental da prestação dos serviços públicos de saneamento básico, dando a garantia legal à população de que cada concessão deverá assegurar, mediante cláusulas e metas de expansão, prevendo ampliação progressiva desses serviços (Couzi, 2012).

Conforto (2000) salienta que a estrutura da atividade regulatória deve ser relacionada com algumas características do setor de saneamento, tais como a natureza do serviço, essencialidade pública, estrutura do mercado e suas externalidades sobre a saúde pública e o meio ambiente institucional de cada país (Spiller e Savedoff, 2000), além de exigências de coordenação setorial e planejamento.

Em um contexto no qual a indústria é um monopólio natural³, é necessário coibir qualquer tipo de abuso de poder, seja por cobrança de preços indevidos, ou por má qualidade e insuficiência dos serviços prestados (Madeira, 2010). Dessa forma, Marinho (2006) ressalta que os objetivos da regulação são múltiplos podendo ser resumidamente apresentado pela busca da eficiência da indústria e da equidade na prestação dos serviços. Nozaki (2007) aponta que um monopólio natural é uma característica de quase todos os serviços públicos, pois possuem estrutura de custos cujos custos unitários caem à medida que aumenta a quantidade produzida, além da existência de retorno de escala. Ademais, a ausência de incentivos à eficiência e de concorrência, acarreta em elevados preços dos monopólios naturais, tornando fundamental a existência de alguma forma de regulação.

A Lei nº 11.445/2007 promoveu o estabelecimento de entidade reguladora e fiscalizadora, com ênfase na independência decisória, cuja atuação obedecerá aos princípios da transparência, tecnicidade, celeridade e objetividade das decisões. Ademais, esta determina que as tarifas sejam reajustadas anualmente e que as revisões periódicas devem compreender a reavaliação das condições da prestação dos serviços e das tarifas praticadas, além de trazer mecanismos de incentivo à eficiência das empresas e à promoção da modicidade tarifária através do compartilhamento de ganhos de produtividade.

Os instrumentos de regulação, na maioria dos casos, desenvolvem o mercado e estimulam a concorrência, além de contribuir para a melhoria e

³ No Brasil, os ativos relacionados a saneamento têm alta propensão a se tornar custos irrecuperáveis, portanto, para este tipo de indústria são possíveis significativas economias de escala e escopo, em função dos elevados custos fixos associados aos investimentos em infraestrutura. Neste contexto, a atuação de uma única empresa prestadora de serviços minimiza os custos da operação dentro de um determinado mercado geográfico, o que as caracteriza como um monopólio natural.

desempenho do setor. Estes tendem assegurar a prestação eficiente dos serviços e prevenir práticas anticompetitivas dos serviços prestados pelo agente monopolista. Contudo, ao considerar as características do setor de saneamento, é possível observar que esse tipo de atividade apresenta grandes desafios, tanto em relação ao equilíbrio entre eficiência econômica, universalização da abrangência do serviço e os custos, quanto à necessidade de regulação do monopólio natural entre esferas de poder público e políticas tarifária, de preços e de subsídios.

Ademais, o princípio da isonomia aponta a necessidade do quadro e regras tarifárias tratem os consumidores similares de forma consistente e igualitária. Em conformidade com esse conceito, também se faz necessária à busca pela devida flexibilidade dos custos. Isso significa refletir nas tarifas os custos que cada tipo de usuário gera na prestação dos serviços. Por fim, conclui-se que é fundamental o papel do órgão regulador para definir preços e metas regulatórias dos serviços prestados ao consumidor, incentivando a eficiência.

2.1

Modelos Regulatórios

A busca pela eficiência econômica enseja, também, a promoção da eficiência produtiva, ou seja, a necessidade de incentivar a adoção de medidas de redução de custos, promovendo melhores práticas gerenciais e eliminação de desperdícios. Dessa forma, a regulação envolve não apenas aspectos qualitativos, mas também tarifários (Marinho, 2006). Portanto, o modelo tarifário deve estar alinhado com o arcabouço legal vigente, que no caso brasileiro, o modelo implantado deverá estar conforme com a Lei Federal nº 11.445/07 que estabelece as diretrizes nacionais e a política federal para o saneamento básico.

No Brasil, foi adotado pelo setor de saneamento no Brasil desde a instituição do Plano Nacional de Saneamento o regime de regulação pelo custo de serviço se baseia inteiramente nos valores dos custos operacionais, da base de remuneração e do custo de capital da empresa regulada para a fixação das tarifas. Nele, o Regulador reconhece regularmente os custos incorridos e investimentos realizados pela prestadora e aplica uma remuneração de capital, por ele determinada, sobre a base de remuneração.

Existem dois mecanismos de regulação pelo custo: *cost plus* puro e *rate of return*. No *cost plus* puro, a empresa regulada recebe a cada ano os custos operacionais e de capital incorridos e repassa estes custos para o consumidor. Desse modo, há uma contínua reposição dos custos. No regime de *rate of return*, os custos operacionais e de capital são valorados através de um sistema que envolve ajustamento, após um período determinado (superior a 1 ano), das tarifas reais na direção dos custos. Nesse caso, há possibilidade de descolamento das tarifas do referencial de custos por um período significativo (Instituto ACENDE-Brasil, 2007 e Madeira, 2010).

Já a regulação por incentivos tem como objetivo replicar a ação que as forças de mercado teriam sobre firmas que atuam em monopólios naturais, de modo a simular o ambiente de um setor competitivo. Ou seja, o objetivo é produzir fortes incentivos para redução de custos e inovações tecnológicas, a fim de elevar a produtividade das empresas. Neste regime, o propósito do Regulador é garantir que os prestadores do serviço atuem com eficiência e prudência. São precisamente esses custos eficientes que devem ser considerados ao se determinar as tarifas pagas pelos consumidores. Nesta vertente da regulação, a posição assimétrica do Regulador quanto à informação é explicitamente reconhecida, sendo que este busca mecanismos de incentivos que incitem a empresa regulada a reduzir os custos por sua própria conta. As principais abordagens de regulação por incentivos são o *price-cap* (preço teto) e o *yardstick competition*. O *price-cap* baseia-se na fixação de um preço-teto para cada ano sendo ajustado pela taxa de inflação menos o Fator de Eficiência X determinado pelo Regulador (Rees e Vickers, 1995). Por outro lado, no *yardstick competition*, a regulação fixa um conjunto de métricas baseadas na comparação entre empresas, que permitem simular as condições de um ambiente de mercado competitivo (Instituto ACENDE-Brasil, 2007 e Armstrong, Cowan e Vickers, 1994).

2.1.1

Modelos Regulatórios : Panorama Internacional

No Uruguai, a *Obras Sanitarias del Estado* (OSE), é responsável pelo abastecimento de água em todo o território uruguaio, atendendo cerca de 3

milhões de habitantes e com cobertura de 98%. No caso da coleta e tratamento do esgoto, a cobertura também é nacional, com exceção de Montevidéu. O modelo regulatório adotado é o *price cap*, sendo as tarifas calculadas com base no Custo Médio de Curto Prazo (CMeCP). O regulador é um ente federal, chamado *Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua* (URSEA), responsável pela regulação em matéria de qualidade, segurança, defesa do consumidor e fiscalização, também auxiliando o poder executivo na aprovação das tarifas.

A *Aguas Andinas S.A.*, no Chile, é uma empresa de economia mista, cujo maior acionista é a *Inversiones Aguas de Gran Santiago*, empresa controlada pela Águas de Barcelona (Agbar), que atende cerca de 6 milhões de habitantes da capital Santiago, o que corresponde a 40% da população do país. O modelo regulatório adotado é o *price cap*, com tarifas calculadas com base no Custo Marginal de Longo Prazo (CMgLP) e no Custo Total de Longo Prazo (CTLP), com vistas a assegurar o autofinanciamento e cobrir os custos operacionais e os investimentos eficientes. Os custos eficientes são obtidos por meio do modelo de Empresa de Referência (ER). O regulador é um ente federal, a *Superintendencia de Servicios de Saneamiento* (SISS) que prevê revisões quinquenais e reajustes tarifários anuais.

A prestadora *Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima* (SEDAPAL) constitui-se como sociedade anônima de propriedade estatal, vinculada ao Ministério de Habitação, Construção e Saneamento do Peru. Atende a 7,1 milhões de habitantes das províncias de Lima e Callao. O modelo regulatório adotado é o *price cap*, com tarifas calculadas com base no Custo Médio de Longo Prazo (CMeLP). Os custos operacionais eficientes são obtidos através de técnicas de *benchmarking*. Estão previstas revisões quinquenais e reajustes dinâmicos, isto é, caso o índice de inflação acumulado ultrapasse 3% em relação ao último ajuste tarifário, o reajuste é acionado. O regulador é um ente federal, a *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento* (SUNASS).

Na Colômbia, a *Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá* (EAAB), prestadora pública administrada pelo município de Bogotá, atende a mais de 8 milhões de habitantes na capital do país e região metropolitana. Nesta, o modelo regulatório vigente é *price cap*, com tarifas calculadas com base no Custo Total de Longo Prazo (CTLP). Os custos operacionais eficientes são obtidos

através de técnicas de *benchmarking*, no caso, o *Data Envelopment Analysis* (DEA). São previstas revisões periódicas quinquenais e reajustes tarifários dinâmicos, isto é, caso o índice de inflação acumulado ultrapasse 3% em relação ao último ajuste tarifário, é efetuado o reajuste. A *Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)* e *Superintendencia de Servicios Públicos (SSP)* são os entes que compõem o órgão regulador.

A prestadora *Sistemas de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)*, empresa pública vinculada ao Distrito Federal, atende aproximadamente 9 milhões de habitantes da região metropolitana da Cidade do México. A regulação está em desenvolvimento, não existindo ainda uma metodologia específica para a determinação das tarifas e tampouco um órgão regulador específico, sendo a Assembléia Legislativa da capital a responsável pela fixação das tarifas. Há previsto revisões tarifárias anuais de acordo com a inflação acumulada no período.

Nos Estados Unidos, assim como no Brasil, cada município tem o seu ente regulador. A *Los Angeles Department of Water and Power* é empresa pública, administrada pelo município de Los Angeles, que atende a 3,8 milhões de residentes do município. O modelo regulatório vigente é *cost plus*, pelo qual se remunera o agente de forma a recuperar todos os custos incorridos na prestação do serviço. Estão previstas revisões tarifárias anuais, cujo ente regulador é municipal, denominado *Board of Water and Power Commissioners*. Já em Nova Iorque, a *NYC Department of Environmental Protection* é empresa pública, administrada pelo município de Nova Iorque, que atende 9 milhões de habitantes do município e arredores. O modelo regulatório vigente também é *cost plus*, no qual estão previstas revisões tarifárias anuais. O regulador que determina as tarifas de água e esgoto é ente municipal, denominado *New York City Water Board*.

No Canadá, a *Toronto Water* é empresa pública, administrada pelo município de Toronto, atendendo 3,5 milhões de habitantes da cidade. As tarifas são determinadas pelo mecanismo de *cost plus* e são revistas anualmente. O regulador da empresa é regional, da Província de Ontário, denominado *Ontario Clean Water Agency*.

Na Espanha, a *Canal Isabel II* é empresa pública criada em 1851 e administrada pelo município de Madri com participações em empresas deste e de outros setores - como energia elétrica e telecomunicações. A prestadora integra o

Grupo Canal Gestión, com operações também na Colômbia e no Equador. Atende 6,5 milhões de consumidores de Madri. O modelo regulatório vigente é o *price cap* com tarifas calculadas com base no custo total da prestação do serviço. Estão previstas revisões tarifárias, embora não se especifique sua periodicidade. O regulador é ente municipal, o *Gobierno de la Comunidad de Madrid*, o qual aprova as tarifas por meio de órgão subordinado, o *Committee on Prices*.

Na Itália, a *Metropolitana Milanese* é uma sociedade anônima, controlada pela cidade de Milão e, desde 2003, gestora dos serviços integrados de água da cidade. A prestadora atende 2 milhões de consumidores da cidade de Milão. No que diz respeito à regulação econômica, a prestadora propõe seu próprio quadro tarifário e o regulador utiliza de técnicas de benchmarking para definir os custos operacionais procedentes. Estão previstas revisões tarifárias anuais.

Na França, a prestadora *L'eau de Paris* é empresa pública, administrada pela Prefeitura de Paris, e atende 3 milhões de consumidores da região metropolitana de Paris. O ente regulador é a Prefeitura de Paris, responsável por definir a política de saneamento e controlar as atividades da operadora. Não há nenhum mecanismo de regulação econômica especificado. No entanto, existem associações que fiscalizam o cumprimento dos contratos para que a prestadora atinja as melhores práticas propostas pelo governo federal e municipal. As Agências de Água divulgam as tarifas que devem ser aplicadas.

Por fim, em Londres, Inglaterra, a *Thames Water* é uma sociedade anônima de propriedade da *Kemble Water Limited*, desde 2006. Atende cerca de 15 milhões de consumidores das cidades de Londres e *Thames Valley*. O modelo regulatório adotado é o *price cap*, com tarifas calculadas com base no Custo Total de Longo Prazo (CTLP). Para análise comparativa de desempenho dos prestadores utiliza-se o método denominado “*yardstick competition*”. Estão previstas revisões quinquenais e reajustes anuais. O regulador é ente nacional, denominado *Office of Water Services Regulation Authority* (OFWAT). O Quadro 2.1 apresenta o resumo das regulações adotadas pelos países supracitados.

Quadro 2.1 – Síntese dos Modelos de Regulação: Panorama Internacional

País	Empresa	Regulador	Modelo regulatório	Período Revisão
Inglaterra (Londres)	Thames Water	Water Services Regulation Authority	<i>price cap yardstick competition</i>	5 anos
França (Paris)	L'eau de Paris	Não há nenhum mecanismo de regulação econômica especificada nem regulador		
Uruguai	Obras Sanitarias del Estado	Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua	<i>Price Cap</i>	-
Chile (Santiago)	Aguas Andinas S.A	Superintendencia de Servicios de Saneamiento	<i>Price Cap Empresa de Referência</i>	5 anos
Peru (Lima)	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento	<i>Price Cap Benchmarking</i>	5 anos
Colômbia (Bogotá)	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico / Superintendencia de Servicios Públicos	<i>Price Cap Benchmarking</i>	5 anos
México	Sistemas de Aguas de la Ciudad de México	Não há nenhum mecanismo de regulação econômica especificada nem regulador		Anual
EUA (Los Angeles)	Los Angeles Department of Water and Power	Board of Water and Power Commissioners	<i>cost plus</i>	Anual
EUA (New York)	NYC Department of Environmental Protection	New York City Water Board	<i>cost plus</i>	Anual
Canadá (Toronto)	Toronto Water	Ontario Clean Water Agency	<i>cost plus</i>	Anual
Espanha (Madri)	Canal Isabel II	Gobierno de la Comunidad de Madrid Committee on Prices	<i>Price Cap</i>	-

Fonte: Elaboração Própria

Eficiência Econômica e suas Metodologias de Estimação

A avaliação de uma empresa constitui um conjunto de atividades importantes de modo a incentivar o desenvolvimento e aperfeiçoamento da mesma. Quando se deseja avaliar o desempenho de uma empresa, é comum caracterizá-la como sendo mais eficiente ou menos eficiente (Lovell, 1993). Dessa forma, a metodologia de *benchmarking* permite a comparação do desempenho de diferentes empresas criando uma ponte entre as pesquisas acadêmicas e as melhores práticas da organização, além de políticas e programas de incentivo que dialogam com a realidade vivenciada pelos serviços de saneamento (Berg, 2007).

As metodologias para a determinação dos custos operacionais eficientes de uma empresa, ou indústria, podem ser segregadas em duas principais abordagens: *Bottom-Up* e *Top-Down*. A adoção da abordagem *Bottom-Up* permite ao regulador calcular os custos de operação eficientes a partir da avaliação dos processos e atividades da empresa (P&A). Esta análise pode ser feita por meio de indicadores de desempenho ou através de uma metodologia, mais ampla, como o modelo de Empresa de Referência (ER). Já a abordagem *Top-Down*, consiste no levantamento dos custos operacionais de um conjunto de empresas e das variáveis que determinam seus custos. Com base nestas informações, são concebidos modelos matemáticos (não paramétricos) ou estatísticos (paramétricos) que irão relacionar os custos com seus determinantes, permitindo que se encontrem os patamares de custos operacionais eficientes ou que atinjam a fronteira de eficiência (Malheiros *et al.*, 2012). Em outras palavras, a análise de eficiência de uma atividade corresponde à comparação entre os valores observados e os valores ótimos de insumos (*inputs*) consumidos e dos produtos (*output*) produzidos.

A fronteira de eficiência pode ser especificada a partir das funções de produção ou de custos. Sendo assim, a decomposição desta pode ser dada por dois segmentos distintos, sendo uma alocativa e outra produtiva. A eficiência alocativa é atingida quando o preço dos produtos fornecidos é igual ao seu custo marginal. Já a eficiência, produtiva é caracterizada quando a produção máxima de produtos é dada a partir da minimização dos custos. A eficiência produtiva ainda pode ser

segmentada em estática e dinâmica, em que a primeira refere-se à produção eficiente através do uso da tecnologia disponível na indústria, enquanto que a dinâmica é resultante de aperfeiçoamentos e variações tecnológicas (Correia, 2008).

Ainda em relação à eficiência estática, pode-se desagregá-la em técnica e em eficiência alocativa de preços. A eficiência técnica refere-se à capacidade de utilização mínima de insumos para uma dada produção, já a alocativa de preços é caracterizada pela condição de utilizar o mínimo custo necessário para a produção, dado uma combinação de recursos, de insumos e produtos (Correia, 2008). Além destas segmentações, a eficiência técnica também pode ser desmembrada em escala, onde a firma apresenta uma produção ótima com os produtos maximizados, e em eficiência pura (Pinilla, 2001). A Figura 3.1 apresenta o diagrama da decomposição da eficiência descrito anteriormente.

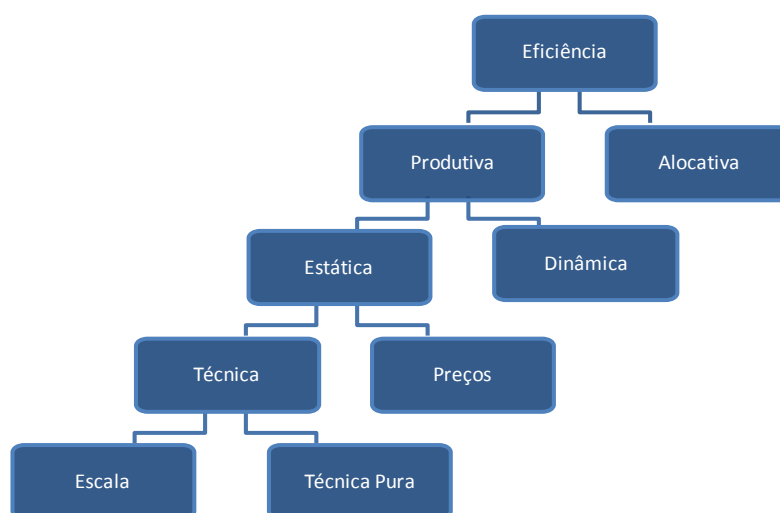


Figura 3.1 – Decomposição da eficiência econômica

Fonte: Correia, 2008.

A combinação destas eficiências pode variar conforme a necessidade e o objetivo da indústria. Deste modo, averiguado o cenário e considerando as características do setor de saneamento básico brasileiro, a principal eficiência a ser determinada é a produtiva.

Farrell (1957) foi um dos primeiros autores a estudar sobre eficiência produtiva a partir de um trabalho iniciado por Debreu, em que foi introduzido a decomposição da eficiência produtiva em eficiência técnica e alocativa de preços.

Além disso, apresentou um método de medição desta eficiência baseado na distancia entre o ponto analisado (representação da indústria) e a fronteira de produção (Silva, 2011).

A fronteira de produção representa a quantidade máxima que pode ser produzido por uma indústria para cada nível de recurso (Mello *et al.*,2005), deste modo,também é conhecida como fronteira de eficiência. A Figura 3.2 ilustra uma fronteira de produção, onde no eixo X representa os recursos aplicados à indústria (*inputs*) e no eixo Y os níveis de produtos.

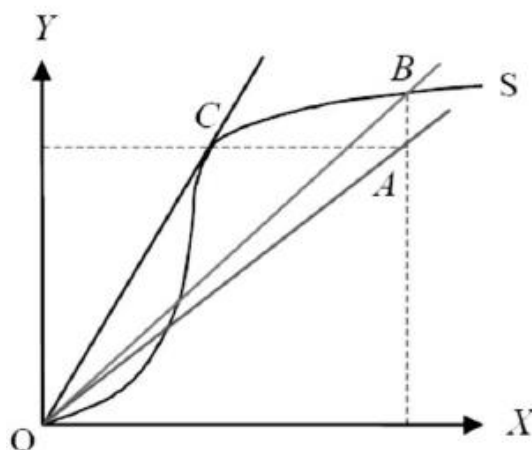


Figura 3.2 – Fronteira de Produção
Fonte: Adaptação de Mello et al.,2005.

Através da figura acima, pode-se observar que a curva *S* reproduz a fronteira de eficiência, onde a área compreendida abaixo desta curva e acima dos eixos representa o conjunto viável de produção. Ademais, é possível concluir que as unidades *B* e *C* são eficientes, uma vez que se situam na fronteira de eficiência, no entanto, não significa que são perfeitas, sem desperdícios na produção, mas conseguem obter a máxima produção a partir de seus recursos e características (Encinas, 2010). A unidade *C*, entretanto, é a mais produtiva, o que se deve ao fato da reta *OC* apresentar maior coeficiente angular que a reta *OB*, podendo ser denominada como a mais eficiente. Por outro lado, o ponto *A* representa uma unidade de produção que é conjuntamente não eficiente e não produtiva (Mello *et al.*, 2005).

Outra forma de representar a relação de insumo (*inputs*) e produtos (*outputs*) é através de uma isoquanta⁴. Adaptando dois inputs (x_1 e x_2) para a produção de um único produto, a retorno constate de escala (CRS), Farrell definiu uma isoquanta em que a ineficiência seria definida como sendo a distância entre o nível de produção de uma unidade e a fronteira eficiente (Correia, 2008). A Figura 3.3 apresenta as eficiências técnica e alocativa de preços definida por Farrell através de uma isoquanta.

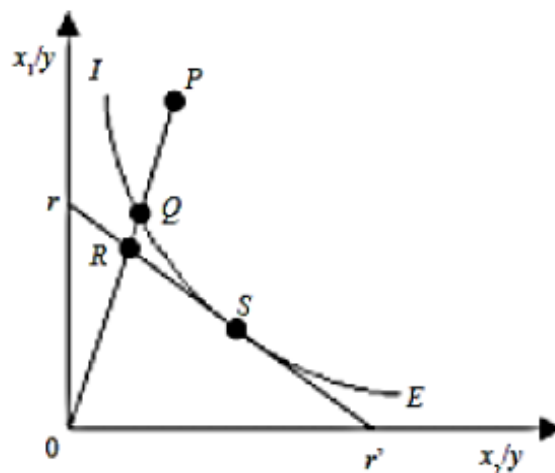


Figura 3.3 – Eficiência Técnica e Alocativa de preços

Fonte: Adaptação de Farrell, 1957.

A curva EI representa a eficiência técnica (ET) em relação ao nível de produção da indústria. Já a eficiência alocativa de preços requer o posicionamento da indústria no ponto onde o declividade da isoquanta se iguala a relação dos preços dos fatores de produção, ponto S, dada pela inclinação da curva isocusto representada pela reta rr' (Correia, 2008 e Silva, 2011). Deste modo, uma indústria com um nível de produção no ponto P é ineficiente em termos técnicos, por outro lado, uma indústria localizada em Q, sobre a isoquanta, é tecnicamente eficiente (Correia, 2008). Sendo assim, a definição dada por Farrell para determinação da eficiência técnica pode ser dada pela razão de OQ/OP .

Dado que o ponto S representa uma entidade tecnicamente eficiente, máxima produção ao mínimo custo, a necessidade de relacionar o seu nível de eficiência com o nível de eficiência alcançado pela entidade representada pelo

⁴ Isoquanta: Lugar geométrico de combinações eficientes de fatores de produção, isto é, a menor quantidade de recursos que garante um dado nível de produção.

ponto Q, igualmente tecnicamente eficiente, uma vez que os custos de produção de uma indústria com *output* são mais elevados em Q do que em S (Silva, 2011). Dessa forma, Farrell definiu a eficiência alocativa (EA) através da razão OR/OQ , ou seja, a eficiência de preço da indústria situada no ponto P, tendo como parâmetro as indústrias R e S, quando estas estão situadas sobre a mesma reta, incorporando assim, os mesmos custos de produção (Correia, 2008 e Silva, 2011).

A eficiência produtiva, também conhecida por eficiência econômica total ou global (Correia, 2008), representa uma estimativa da redução de custos podendo ser determinada pelo produto da eficiência técnica (ET) e da eficiência alocativa de preços (EA), resultando do quociente entre as medidas radiais OR e OP (Correia, 2008 e Silva, 2011).

Estes tipos de eficiência apresentados acima, podem variar entre 0 (zero), ineficiência, e 1 (um), totalmente eficiente. Ademais, as medidas radiais citadas, índices primais de Farrell (1957), também podem ser interpretadas em relação aos custos, uma vez que a redução dos *inputs* impacta diretamente na redução dos custos, a preços fixos de *inputs* (Franco e Fortuna, 2003). No ano de 1978, Charnes, Cooper e Rhodes, generalizaram o estudo de Farrell formulando a abordagem *Data Envelopment Analysis* (DEA) para mensurar a eficiência técnica, considerando múltiplos insumos e produtos (Surco, 2004). O DEA é uma análise envoltória de dados que estima custos mínimos de um determinado setor com base em programação matemática não paramétrica, sendo conhecida como estudo ou análise de *benchmarking*.

Após o desenvolvimento do DEA diversas outras metodologias de análise de *benchmarking* foram desenvolvidas na literatura, sendo algumas técnicas tidas como paramétricas e não paramétricas. Os métodos paramétricos necessitam de uma definição prévia da forma funcional, especificação e estimação de uma equação que descreva a relação dos recursos (*inputs*) em produtos (*outputs*), além de permitirem uma interpretação física dos parâmetros estimados e incorporarem efeitos aleatórios, ou seja, erros associados à estimação (Correia, 2008). Estes tipos de técnicas podem, ainda, ser classificados em fronteira e não fronteira, a primeira permite a verificação dos desempenhos individuais comparativamente às melhores práticas observadas em relação ao conjunto de empresas analisadas (Silva, 2011). A estimação dos métodos de fronteira consiste basicamente na

construção de uma fronteira de eficiência e a medição do desvio, interpretada como ineficiência, de cada unidade de decisão (DMU) em relação a essa superfície eficiente. Ademais, estes métodos podem ser classificados em estocásticos e determinísticos, em que sua diferença se faz pela consideração ou não do erro aleatório da estimação do modelo. À exemplo dos métodos paramétricos tem-se os Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC) e Análise de Fronteira Estocástica (SFA), estes são os métodos mais conhecidos na literatura (Correia, 2008).

Os métodos não paramétricos não necessitam de uma especificação *a priori* da forma funcional no processo de estimação, podendo ser obtida por meio de uma programação linear, matemática. Geralmente, estes métodos são mais flexíveis quanto a estimação, pois não consideram os erros aleatórios inerentes na estimação (Syrjänen *et al.*, 2006), também podem ser segregados em fronteira e sem fronteira. A exemplo do primeiro pode-se observar o método de *Data Envelopment Analysis* (DEA) enquanto que os indicadores de desempenho e empresas de referência, como um método sem fronteira.

Não é possível afirmar qual metodologia, paramétrica ou não paramétrica, é a mais correta, pois ambas apresentam vantagens e desvantagens quanto ao uso. Desse modo, a adoção de cada uma das metodologias supracitadas, implica no objetivo do estudo em questão. Nas seções a seguir será detalhada cada uma destas técnicas. O Quadro 3.1, apresenta de modo esquematizado as classificações dos métodos quanto às abordagens.

Quadro 3.1 – Classificação Metodologias *Benchmarking*

	Paramétricos	Não Paramétricos
Fronteira	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC) Análise de Fronteira Estocástica (SFA)	Análise Envoltória de Dados (DEA)
Sem Fronteira		Indicadores de Desempenho Empresa de Referência (ER)

Fonte: Elaboração Própria

3.1

Abordagem Paramétrica

Conforme reportado anteriormente, a abordagem paramétrica parte do preceito de que os dados se relacionam seguindo uma forma funcional determinada, podendo ser linear, quadrática, cúbica, exponencial, logarítmica, entre outras. Esta abordagem, proposta inicialmente por Aigner e Chu (1972) e Meeusen e Van Den Broecker (1977), tem como principal objetivo superar as limitações das fronteiras determinísticas, que não consideram o efeito dos erros aleatórios, considerando todos os resíduos como ineficiência técnica das firmas controlada pelas mesmas (Barros *et al.*, 2004).

Conforme a visão determinística de um modelo de fronteira é necessário que se faça uma especificação previa de uma equação que descreva a forma com que os custos se relacionam com seus determinantes. Existem diversas literaturas dispõem de estudos que relacionam funções de produção, sendo as mais utilizadas na estimação de função de produção a *Cobb Douglas* e a *Translog*.

A função de *Cobb Douglas* apresenta fácil aplicação e estimação empírica em modelos de fronteira. Entretanto, apresenta uma propriedade restritiva que impõe à estrutura de produção rendimentos crescente, decrescente ou constante e a elasticidade de substituição ser constante e igual a um (Barros *et al.*, 2004 e Gujarati, 2006). A sua primeira formulação data de 1928, por Cobb e Douglas (1928), conforme a equação (3.1).

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k \ln X_{ki} + u_i \quad (3.1)$$

A regressão acima representa um modelo log-linear. Onde os parâmetros β_0 e β_k representam a elasticidade (parcial) de Y em relação às variáveis X_i e o termo u_i representa o erro aleatório, ou termo de perturbação estocástico, onde é assumido distribuição normal e ruído branco⁵. (Gujarati, 2006). A soma dos β 's informa a respeito dos retornos de escala, isto é, a resposta do produto a uma variação proporcional nos insumos. Se a soma for igual 1, tem-se um retorno

⁵ Ruído Branco, aplica-se a um sequência de erros (ou choques) aleatórios, sempre que esta tiver média e variância constante e sem autocorrelação.

constantes de escala, se maior que 1, crescentes, se menor que 1, decrescente de escala.

A função *Translog* (*transcendental logarítmica*) foi introduzida por Christensen, Jorgenson e Lau (1971, 1973). Esta constitui uma forma funcional flexível, podendo refletir qualquer combinação de efeitos econômicos. É uma generalização da formulação *Cobb-Douglas*, na medida em que se todos os coeficientes de segunda ordem forem iguais a zero, as duas formas funcionais são semelhantes (Correia, 2008 e Franco e Fortuna, 2003). A equação 3.2 abaixo apresenta a função de custo *translog*, na forma logarítmica.

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln X_{ki} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{kij} \ln X_{ki} \ln X_{kj} + u_i \quad (3.2)$$

Tal qual na *Cobb-Douglas*, Y é a variável que se quer explicar, X_i as variáveis explicativas, β_0 o intercepto e os demais β_i os coeficientes da equação. As elasticidades dos insumos X_i em relação a Y são as derivadas parciais de primeira ordem de Y com relação a X_i . Apesar de difícil manipulação matemática e poder sofrer de problemas relacionados com graus de liberdade e multicolinearidade (Coelli *et al.*, 1998), esta função é conceitualmente simples e não impõe quaisquer restrições *a priori*, além de permitir uma melhor qualidade do ajustamento ao considerar informação sobre o comportamento dos parâmetros através da ponderação dos efeitos cruzados. (Correia, 2008).

3.1.1

Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)

O método dos Mínimos Quadrados Ordinários (*Ordinary Least Squares - OLS*, em inglês) é usualmente utilizado para a estimação da eficiência média da indústria. Trata-se de uma técnica econométrica mais simples para estimar o comportamento das curvas de custo de um setor, onde a regressão dada por MQO estima a equação que corresponde ao melhor ajuste sobre uma amostra de dados, ou seja, que minimiza a soma dos quadrados das diferenças (resíduos) entre os valores estimados e os observados.

Desenvolvido por Gauss-Markov (1975), os mínimos quadrados ordinários apresentam alguns pressupostos de aceitação, sendo o principal dele a consideração quanto aos resíduos do modelo estimado, cujos devam ser aleatórios, normal e independentemente distribuídos, ou seja, média zero e variância constante. A Figura 3.4 apresenta um exemplo gráfico da curva de ajuste dos dados à fronteira média formada pelo método de mínimos quadrados ordinários.

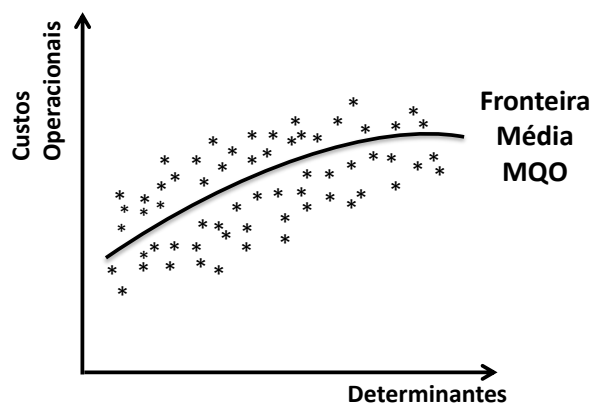


Figura 3.4 – Fronteira Média por Mínimos Quadrados Ordinários
Fonte: Elaboração Própria

Em uma análise de função de custo de produção, as observações situadas na fronteira exibem uma eficiência média em relação ao conjunto de dados analisados. Deste modo, as unidades acima da curva de eficiência, apresentam melhores práticas que as demais enquanto que as unidades abaixo da fronteira têm um nível de gerenciamento dos seus recursos menos eficientes que a média. Dessa forma, todo excedente de custos em relação à média estimada pelo modelo se atribui à ineficiência da firma. A sua formulação geral pode ser dada conforme a equação 3.3, no entanto, quando se deseja determinar a função de custos esta formulação deve ser dada tal qual a *Cobb Douglas*, ou seja, expressa em logaritmo.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + u_i \quad (3.3)$$

Onde Y_i representa a variável de custos que se quer explicar, β_0 é o intercepto da regressão e os β_i 's são os coeficientes estimados em relação às variáveis explicativas X_i (determinantes de custo) e u_i o resíduo (ou a variação de

Y não explicada pelo modelo), de uma variável aleatória com distribuição normal, média igual a zero e variância constante, σ^2 .

Este método apresenta como vantagem a sua facilidade de estimação, além de permitir a consideração de variáveis representativas de fatores externos à gestão da indústria. Entretanto, é importante mencionar que existe a possibilidade de má estimação das eficiências apontadas pelo modelo, de modo que se nem todas as variáveis que afetam os níveis de custos das empresas estiverem contempladas pelas variáveis explicativas, o modelo MQO poderia estar insuficientemente especificado e conduzir a conclusões inadequadas quanto ao grau de eficiência das empresas comparadas.

Com objetivo de mensurar a eficiência técnica de produção do setor de metal da indústria de Caxias do Sul, Canto (2002), realizou a análise a partir da estimação dos modelos de função de produção, na forma funcional *Cobb-Douglas*, para os anos de 1995 e 2000, através de MQO. A constatação deste trabalho revelou que a eficiência técnica dos gêneros produtivos deste setor é alta e que o treinamento de mão-de-obra, assessoria externa, exigência de certificação de qualidade para fornecedores e a importação de matérias-primas são medidas que aumentam a probabilidade das empresas deste setor se tornarem mais eficientes.

Cordeiro (2008) realizou um estudo para avaliar o desempenho de fomento florestal do IEF/MG em relação às variações na área plantada e nos recursos oferecidos pelo produtor, no período de 1989 a 2006. Neste estudo foi utilizado o método de mínimos quadrados ordinários, onde pode-se concluir que as regiões Mata e Rio Doce obtiveram os melhores resultados, somando 33% do desempenho esperado.

Montebello e Bacha (2013) realizou um estudo sobre impactos da reestruturação do setor de celulose e papel no Brasil sobre o desempenho industriais, onde através dos dados em painel estimaram uma regressão MQO com variáveis que medem a estrutura e a abertura comercial no período de 1986 a 2007. A principal conclusão deste trabalho foi que o aumento da importância do capital estrangeiro na indústria aumenta o seu desempenho.

Barros, Machado e Fernandes (2009) realizaram um estudo, cujo objetivo era apresentar metodologias de determinação de custos operacionais eficientes adotadas por reguladores do setor de águas, energia e saneamento básico.

3.1.2

Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC)

A metodologia de Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (*Corrected Ordinary Least Squares, COLS* na sigla em inglês) é uma derivação do resultado da regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). O método consiste em um ajuste da função estimada pelo MQO até que todos os resíduos sejam maiores ou iguais a zero. No caso de uma regressão simples, isto enseja o deslocamento da curva de MQO, mantendo-se sua inclinação, até que nenhum dos pontos da amostra fique abaixo da curva. A Figura 3.5 apresenta a ilustração deste método.

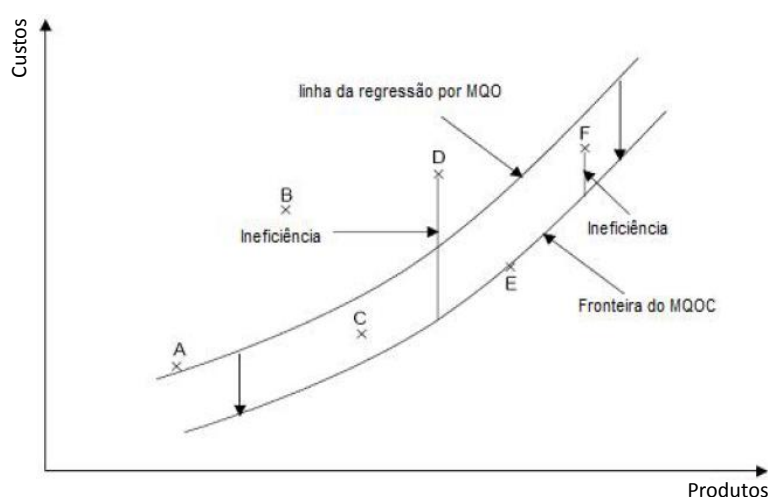


Figura 3.5 – Fronteira por Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos

Fonte: Barros, Machado e Fernandes, 2009.

Através da Figura acima, é possível observar que a fronteira média formada pelo MQO foi deslocada, de modo que a nova curva, MQOC, estima uma fronteira de custos mínimos, ou eficientes, logo, todo ponto distante desta curva, retrata algum grau de ineficiência. Sendo assim, a Figura 3.2 mostra que a unidade E se tornou a mais eficiente e as demais ineficientes em algum grau.

Bifulco e Bretschneider (2000) realizaram um estudo para avaliar o desenvolvimento de medidas de desempenho escolar. Este estudo utilizou dois métodos distintos, o DEA e o MQOC, onde os resultados obtidos não mostraram

significância a nenhuma das metodologias adotadas, apresentando medidas de eficiência baixa, um pouco mais de 31% das escolas analisadas.

Motivado em testar a hipótese da existência de diferenças entre a eficiência técnica de hospitais sem fins lucrativos (HSFL) e com fins lucrativos (HCFL), que prestam assistência pelo Sistema Único de Saúde (SUS) no Estado do Mato Grosso, Wolff *et al* (2002), realizaram esta análise através do método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos (MQOC).

Banker *et al* (2003), realizaram um estudo comparativo *Monte Carlo comparison* de estimativa de dois métodos diferentes, um através do DEA e outro através do MQOC. Os resultados obtidos apontaram que a seleção do método de estimação adequado para um caso pode resultar em ganhos substanciais na precisão da estimativa de eficiência técnica. A metodologia do MQOC tem melhor desempenho para o caso de distribuição clássica com tamanhos de amostra de 50 anos ou mais, enquanto que o DEA tem melhor desempenho para todas as distribuições não-clássicas, mesmo com os valores dos resíduos do modelo relativamente altos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2011), fez uma análise dos custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica a partir da metodologia do DEA e MQOC, onde a eficiência das empresas eram determinadas através da média das eficiências estimadas.

3.1.3

Análise de Fronteira Estocástica (SFA)

A Análise de Fronteira Estocástica (*Stochastic Frontier Analysis*, SFA na sigla em inglês) estima uma fronteira de custos considerando que os desvios das empresas em relação à fronteira se devem tanto à ineficiência das empresas quanto a fatores aleatórios. Estes sendo não gerenciáveis pela indústria, suscetíveis a causar o enfraquecimento do seu desempenho.

Publicado por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), a fronteira estocástica é comumente utilizada em análise de eficiência produtiva (Correia, 2008). Sua principal característica se dá ao fato do resíduo do modelo, termo do erro, ser decomposta em duas partes, sendo esses desvios representados por variáveis

aleatórias e, portanto, devem obedecer a distribuições de probabilidade (Correia, 2008). A equação 3.4 abaixo apresenta a formulação genérica do modelo SFA.

$$C_i = C(y_i, w_i; \beta_i) + \varepsilon_i \quad \text{onde} \quad \varepsilon_i = v_i + u_i \quad (3.4)$$

De acordo com a equação apresentado acima, C_i representa o custo de produção da firma, $C(\cdot)$ uma forma funcional adequada a ser estimada, sendo ela Cobb Douglas ou Translog, y_i a quantidade de produtos, w_i os insumos e os β 's os parâmetros a serem estimados (Ohira, 2005 e Correia, 2008) e o termo do erro (ε_i), assume ser uma variável aleatória normal e independente e identicamente distribuída com média zero e variância $\sigma^2_{\varepsilon_i}$. Ademais, o termo do erro é segmentado em duas partes, uma variável aleatória não negativa que representa a ineficiência, u_i , e um termo aleatório do erro v_i , que reflete as influências aleatórias cujas firmas não podem controlar (Coelli *et al.*, 1998). A Figura 3.6 apresenta a ilustração da fronteira e seus determinantes.

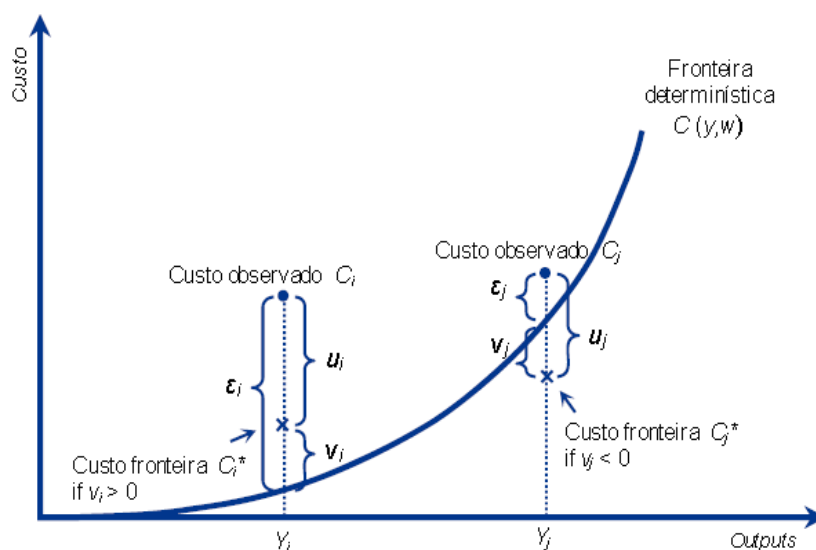


Figura 3.6 – Função Custo de Fronteira Estocástica
Fonte: Correa, 2008.

Através da figura acima é uma representação aos resultados de duas empresas, i e j , onde os *outputs* são representados pelo eixo horizontal e os custos no eixo vertical. Os pontos C_i e C_j representam os custos totais observados e C_i^* e C_j^* os valores da fronteira de custo estocástica, para os níveis de outputs Y_i e Y_j ,

respectivamente. A ineficiência em relação à fronteira determinista é capturada pelos termos ε_i e ε_j .

Uma característica positiva da metodologia de fronteira estocástica é que esta permite a estimação de erros padronizados e teste de hipóteses utilizando o método de Máxima Verossimilhança, não permitindo modelos determinísticos (Ohira, 2001). Entretanto, uma das grandes dificuldades desta metodologia se dá em relação à determinação *a priori*, designadamente a escolha do tipo de função a utilizar e da distribuição a seguir pelo termo do erro sistêmico (*ui*) (Ohira 2001 e Correia, 2008), ou seja, não existe uma justificativa para a escolha desta distribuição, podendo seguir uma distribuição semi-normal, normal truncada, exponencial ou gama.

Objetivando avaliar a eficiência do sistema bancário brasileiro, verificando os aspectos organizacionais e financeiros, além de averiguar a possibilidade de redução de custos médios, Silva (2001), realizou estimativas de economias de escala adotando modelo de fronteira estocástica para estimar uma função de custo *translog* para uma amostra de 59 bancos com ativos acima de 1 bilhão de reais, no período de 1994 a 1999. O resultado apontou evidências de instabilidade na eficiência do setor decorrente da ineficiência dos bancos públicos estaduais. No entanto, os bancos de controle estrangeiro, por outro lado, apresentaram índices de eficiência mais estáveis e maiores, em relação aos nacionais.

Ohira (2005) realizou um estudo cujo objetivo era a verificação de eficiência econômica entre empresas de saneamento básico no Estado de São Paulo, referente ao ano de 2002. Neste estudo, foram estimados dez modelos de fronteira estocástica para a função de custo para cada tipo de produto adotado, e assumindo a distribuição de erro sistêmico , semi-normal e normal truncado. Como resultado do estudo, pode-se observar que para cada tipo de produto e distribuição de erro, os resultados foram diferentes, mostrando que a determinação da eficiência foi sensível a escolha de cada produto.

Menezes *et al* (2006), realizaram um estudo que estima um modelo de fronteira estocástica à la Battese e Coelli (1995), para explicar a função custo variável de um conjunto de 51 hospitais Portugueses no ano de 1997 a 2004. Os resultados obtidos tiveram significância estatística e econômica, onde os hospitais SAEPE e os hospitais com sistemas de gestão de qualidade certificada apresentam

custos variáveis, superiores aos demais. Além disso as variáveis indicativas de regionalidade explicaram cerca de 60% da eficiência técnica hospitalar estimada.

Correia (2008) fez uma análise de eficiência do setor de saneamento de Portugal, utilizando a Fronteira Estocástica para 68 entidades referente ao período de 2004/2005. O resultado desta análise apontou que os serviços prestados apresentaram um nível de eficiência satisfatória, além disso, pode-se concluir que o setor de água em Portugal apresenta economias de escala crescentes e de gama decrescentes.

Loures (2013) realizou uma análise de eficiência econômica dos produtores rurais de Minas Gerais para os anos de 1996 e 2006. Para tanto, foi utilizado a metodologia de DEA e SFA. Nesta última, foi considerado a distribuição normal-truncado e meia-normal para o ano de 1996 e para o ano de 2006, foi considerado a distribuição meia normal. Os resultados encontrados apontaram que a maioria dos municípios apresentaram eficiência superior a 50% e menor que 70%. Além de indicar uma necessidade de novas políticas de fomento que estimulem a adoção de novas técnicas pelos produtores de modo a melhorar a eficiência.

3.2

Abordagem Não Paramétrica

Conforme já exposto, a abordagem não paramétrica são análises relativamente simples de estimar, pois podem ser elaborados a partir de valores históricos da própria empresa e/ou indicadores que possam ser utilizados para projeções futuras e realizar estimativas de desempenhos, através de uma metodologia, mais ampla, como o modelo de Empresa de Referência (ER) ou análises a partir de modelos empíricos, que não necessitam de uma especificação prévia de função do processo a ser estudado, mas adotam uma fronteira de eficiência, como no caso do *Data Envelopment Analysis* (DEA).

Os indicadores de desempenho são tipicamente usados nos primeiros estágios de regulação de uma firma, sendo uma alternativa pragmática a outras metodologias mais sofisticadas. Consistem na construção de métricas que abordam *proxies* dos custos operacionais e seus principais determinantes. São utilizados na avaliação de valores históricos e na comparação entre empresas. Se

por um lado o método é bastante simples de ser implementado, por outro os indicadores construídos não consideram as relações de causa e efeito entre os custos e seus determinantes, em particular o efeito das variáveis ambientais (clima, geografia, cultura, estado da infraestrutura de transporte, entre outras).

Por outro lado, a Empresa de Referência (ER)⁶ é um instrumento interessante para o regulador conhecer melhor o negócio regulado e, assim, reduzir ao longo do tempo o problema da assimetria de informação. Essa vantagem é potencializada quando a agência reguladora tem sob sua alçada diversos prestadores de um mesmo serviço, pois se cria a possibilidade dos P&A's das empresas reguladas serem comparados entre si. Já o DEA apresenta como vantagens, além de não necessitar de uma definição a priori de uma forma funcional para construção da fronteira, possibilita trabalhar com pequenas amostras. Entretanto, é uma metodologia altamente suscetível a erros de dados, ou *outliers*⁷, além de pressupor que todo desvio da fronteira corresponde a uma ineficiência. Esta metodologia será mais detalhada na seção a seguir.

3.2.1

Indicadores de Desempenho: Setor de Saneamento

No mundo contemporâneo estudos através de medidas de avaliação de desempenho têm sido muito utilizados por diversos tipos de entidades, sendo elas gestoras, consumidores ou utilizadores diretos, administração pública, reguladoras e financiadoras (Zimmermann, 2012). O Indicador de Desempenho (ID) é uma medida quantitativa que viabiliza um conhecimento sob um aspecto particular do desempenho de um determinado fenômeno (Silva, 2001).

Segundo Alegre et al (2000), no setor de saneamento esta medida representa uma análise da eficiência⁸ e eficácia de uma Entidade Gestora (EG) relativamente a aspectos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento dos sistemas. Dessa forma, pode-se dizer que os indicadores constituem um instrumento de apoio à tomada de decisão sobre determinado processo.

⁶ Este assunto não será abordado de forma detalhada neste estudo.

⁷ *Outliers*: valores atípicos de uma amostra.

⁸ Segundo Alegre *et al* (2000), a eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção de um determinado serviço, enquanto que a eficácia avalia até que ponto os objetivos foram cumpridos.

Embora o ID traduza informação pertinente sobre a realidade da gestão, este constitui uma visão parcial da globalidade e complexidade da EG (Silva, 2011), sendo assim, a análise individual de um ID tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. Portanto, faz-se necessário analisar um conjunto deste que, preferencialmente, englobe diversas características a respeito do processo de análise das EG's.

Alegre *et al* (2000), aponta que a seleção dos indicadores coletivos devem garantir uma adequada representação dos aspectos relevantes do desempenho de uma entidade gestora, ausência de sobreposição de significado, ou em objetivos, entre indicadores e de uma mesma referência temporal⁹, segundo o IRAR (Indicadores de desempenho para Serviços de abastecimento de água), além de uma mesma zona geográfica, que deve estar bem delimitada e coincidir com a área de intervenção do operador relativa ao serviço em análise.

Os cálculos dos indicadores, de modo geral, são feitos através da razão entre duas ou mais variáveis, podendo ser de mesma natureza ou distintas, sendo, portanto, adimensionais (expressos em percentagem) ou intensivos (por exemplo: número de ligações; extensão de rede). Devido a esse fato, a qualidade das variáveis consideradas para a formação do ID passa a ser determinante para a correta interpretação dos resultados (Von Sperling, 2010).

De modo a determinar indicadores confiáveis, que refletissem a realidade dos fatos, foram propostos procedimentos de normalização e classificação da informação utilizada na determinação dos sistemas de indicadores. A entidade reguladora dos serviços de água e esgotamento sanitário da Inglaterra e País de Gales, *Office of Water Service* (OFWAT), propôs a utilização de um sistema de graus de exatidão e confiança dos dados.

A *International Water Association* (IWA), autoridade internacional, definiu um guia sobre construções de indicadores a serem adotados no contexto do abastecimento de água e saneamento de águas residuais, este também foi adotado pelo Banco Mundial e publicado pelas normas de melhoria contínua e desenvolvimento da gestão do saneamento, segundo a ISO 24512:2007. Existe ainda, o sistema ADERASA, *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable*

⁹ um ano é o período de avaliação adaptado pelo IRAR (Indicadores de desempenho para Serviços de abastecimento de água).

y *Saneamiento de las Américas*, composta por agências reguladoras de países da América Latina, dentre eles, o Brasil.

No Brasil o sistema oficialmente adotado é o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), que é vinculado ao Programa de Modernização do Setor de Saneamento, nele são disponibilizados anualmente mais de 150 variáveis e mais de 50 indicadores relacionado ao setor de saneamento. Segundo Molinari (2006), através do uso desse sistema será possível diminuir o grau de discricionariedade no processo de construção e classificação dos indicadores, a partir do ajustamento e melhoria da qualidade das informações. Von Sperling (2010) resumiu as principais características para a utilização adequada dos indicadores, quadro 3.2, segundo os autores, Meadows (1998), Malheiros *et al.* (2006) e Molinari (2006).

Quadro 3.2 – Características de adequação dos Indicadores de Desempenho

Características	Explicação
1. Claro, compreensível e de interesse	Evitar incertezas em relação ao que é bom ou ruim, fácil de entender, com unidades que tenham sentido, e sugestivos para possível utilização.
2. Relevante e representativo	Politicamente relevante para todos os participantes do sistema.
3. Viável	Custo adequado de aquisição e processamento de dados e Comunicação.
4. Suficiente	Fornecer a medida certa da informação.
5. Fidedigno	Deve representar os aspectos de maneira fidedigna a fim de evitar distorções.
6. Temporal	Oportuno temporalmente, integrado com o planejamento.
7. Adequado na escala	Adequado aos diferentes usuários potenciais.
8. Democrático	Não devem ser determinadores apenas por um pequeno grupo de especialistas e sim por lideranças políticas e por pessoas da comunidade.
9. Medida física	Balancear unidades físicas e monetárias.
10. Preventivo e Proativo	Deve conduzir para a mudança, fornecendo informação em tempo para a tomada de decisão.
11. Não deve ser estanque	Devem estar inserido num processo de melhoria contínua, passível de discussão, aprendizado e mudança.

Fonte: Von Sperling, 2010.

Correia (2008), em seu trabalho sobre eficiência dos serviços de água e de águas residuais em Portugal, apresentou uma análise sobre indicadores de desempenho cujos indicadores de desempenho selecionado fora composto por 20 indicadores para cada uma das atividades reguladas, de modo a representar os

aspectos mais relevantes da qualidade do serviço. Como resultado da avaliação, os indicadores apontaram que os serviços concessionados, mesmo perante elevados níveis de exigência, demonstraram uma qualidade de serviço global claramente positiva, relativamente à água distribuída, a qualidade verificada é bastante aceitável, embora existam casos pontuais que demonstram necessidade de aperfeiçoamento.

Silva (2011), em seu estudo de Avaliação de Desempenho das Entidades Gestoras dos Serviços de Água de Portugal, realizou uma análise de indicadores de qualidade com o objetivo de avaliar o desempenho das entidades além de incentivar a melhoria dos seus serviços. O estudo mostrou que os serviços de água evoluíram de forma favorável durante o período analisado, contudo, ainda existem aspectos que precisam ser melhorados, como o caso da cobertura do serviço e a reabilitação das infra-estruturas de transporte de águas.

Santos e Alves (2000), realizaram um estudo cujo trabalho visava o levantamento de discussões a respeito de indicadores de desempenho no setor de saneamento, considerando algumas limitações e alcance. Foi apresentado um panorama abordando a forma de tratado a respeito dos Indicadores de Desempenho, bem como o uso da ferramenta gerencial pelos diversos agentes envolvidos no Setor de Saneamento e os possíveis equívocos em sua interpretação e algumas considerações sobre publicações nacionais.

Zimmermann (2010) realizou um estudo sobre a aplicação dos indicadores de desempenho nas atividades de planejamento e regulação dos serviços de abastecimento de água. Os resultados alcançados permitiram a identificação dos setores operacionais críticos, através de um processo decisório participativo, bem como o estabelecimento de metas para o planejamento desses setores, ademais, foi possível identificar os principais entraves à implantação de sistemas de indicadores para o planejamento e regulação dos serviços de abastecimento de água.

Von Sperling (2010) realizou um estudo comparativo de utilização de indicadores de desempenho em sistemas de esgotamento sanitário por diversas entidades e organizações envolvidas com o setor de saneamento, cujo objetivo era a sugestão de um conjunto único de indicadores. Os resultados apontaram para uma clara predominância dos indicadores econômico-financeiros. No tocante à

relevância aos atores do saneamento básico, todos os indicadores propostos foram considerados relevantes para a prestadora de serviço, 42 deles relevantes para as agências reguladoras, 38 para as administrações públicas e 7 para os usuários.

3.2.2

Análise Envoltória de Dados (DEA)

Desenvolvido por Farrell (1957) e implementada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*, DEA, sigla em inglês), que por ser uma metodologia não paramétrica, estima uma fronteira de custos mínimos de um determinado setor com base em programação matemática, linear, ou seja, sem a necessidade de assumir uma forma funcional para a fronteira. A técnica calcula um escore de eficiência usado para comparar as combinações mais eficientes em relação aos insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) com base no desempenho observado de unidades independentes, denominadas DMU (*Decision Making Units*). Essas combinações constituem uma fronteira que permite determinar os níveis de in/eficiência relativa em comparação com as unidades consideradas eficientes (Carrasqueira *et al*, 2010). A equação 3.5 apresenta a formulação desta combinação

$$\frac{\sum_i u_i Y_{ik}}{\sum_j v_j X_{jk}} = \frac{uY_k}{vX_k} \leq 1 \quad (3.5)$$

Onde :

$k=1, \dots, n$ empresas;

$i=1, \dots, m$ produtos de cada empresa;

$j=1, \dots, p$ insumos de cada empresa; e

u e v são os vetores de pesos dos insumos e produtos.

Os pesos dos insumos e produtos não são determinados previamente, mas sim, como parte da solução de um problema de otimização linear de modo a maximizar a eficiência de cada empresa (Lapa *et al*, 2000). Dessa forma, a eficiência resultante assume valor 1 para as unidades de maior produtividade e

entre 0 e 1 para as demais. Para uma empresa “ r ” qualquer, por exemplo, a modelagem se daria de acordo com as equações (3.6) e (3.7):

$$\max \frac{uY_r}{vX_r} \quad (3.6)$$

$$\text{sujeito a: } \frac{uY_k}{vX_k} \leq 1, k = 1, \dots, r, \dots, n \quad (3.7)$$

Como resultado desta análise, tem-se a construção de uma superfície envoltória linear que representa a fronteira de melhor prática (*Best practice frontier*), ou seja, as unidades de decisão de melhor prática são aquelas que exibem os maiores *outputs* atingíveis em relação a todas às outras unidades da amostra, para um dado nível de *inputs* (Silva, 2011). Ou àquelas que utilizam o menor montante de recursos para atingir um determinado nível de *outputs*, além de estimar uma métrica de eficiência que representa o desempenho de cada empresa medida pela sua distância à fronteira.

Apesar desta metodologia não prescindir qualquer especificação de função, ou seja, não demanda que se atribua uma forma funcional à fronteira de custos ou de possibilidades de produção, faz-se necessária a especificação, a priori, de uma premissa do rendimento, ou retorno¹⁰, de escala. Desta forma, dependendo do objetivo do estudo ou especificações dos dados, o retorno pode ser adotado como não decrescente, constante, não crescente ou variável (Souza e Wilhelm, 2009). A Figura 3.7 mostra exemplos das quatro fronteiras traçadas através da metodologia DEA, de acordo com a premissa de retornos de escala, mais usuais na literatura.

¹⁰O retorno de escala reflete o grau em que um aumento proporcional em todas as quantidades de insumos, aumenta a quantidade do produto.

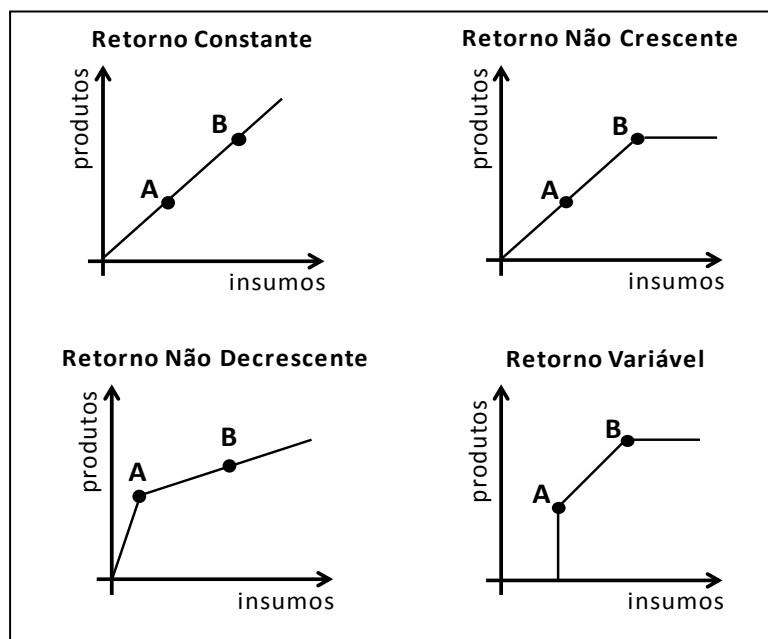


Figura 3.7 – Retornos de Escala
 Fonte: Brunnetta, 2004.

Em estudos relacionados a monopólios naturais, a literatura elucida a adoção de retornos de escala constantes (CRS), variável (VRS) ou retornos não decrescentes (NDRS). O modelo CRS assume que um aumento dos produtos é proporcional ao aumento dos insumos em qualquer escala de operação, já o modelo VRS permite à tecnologia de produção exibir distintos retornos de escala a depender do nível de produção. Por fim, no modelo NDRS se trata de um caso específico do VRS, em que não se considera a existência de retorno decrescente de escala (Brunnetta, 2004). Dessa forma, uma tecnologia apresenta retorno não decrescente de escala se, ao multiplicar a quantidade de insumo por um fator $\lambda > 1$ os produtos resultarem em um crescimento $\geq \lambda$.

Além da premissa de retorno de escala, a metodologia DEA necessita da interpretação do parâmetro de eficiência em relação à orientação do modelo, ou seja, se a análise será orientada aos insumos ou aos produtos. Nos modelos orientados aos produtos estão voltados para os aumentos nas quantidades de *outputs* que são necessários para que as firmas alcancem a eficiência máxima, mantidos os *inputs* constantes. Já os orientados aos insumos, tratam das reduções nas quantidades de *inputs* usados necessárias para que as firmas alcancem a eficiência máxima, mantendo os *outputs* constantes. Existe ainda a possibilidade de orientação à insumo e produto ao mesmo tempo, de modo que nesta hipótese o

interesse da indústria está em aumentar ao máximo a produção diminuindo ao mínimo os insumos (Brunnetta, 2004). A Figura 3.8 apresenta uma ilustração em consideração às orientações do modelo.

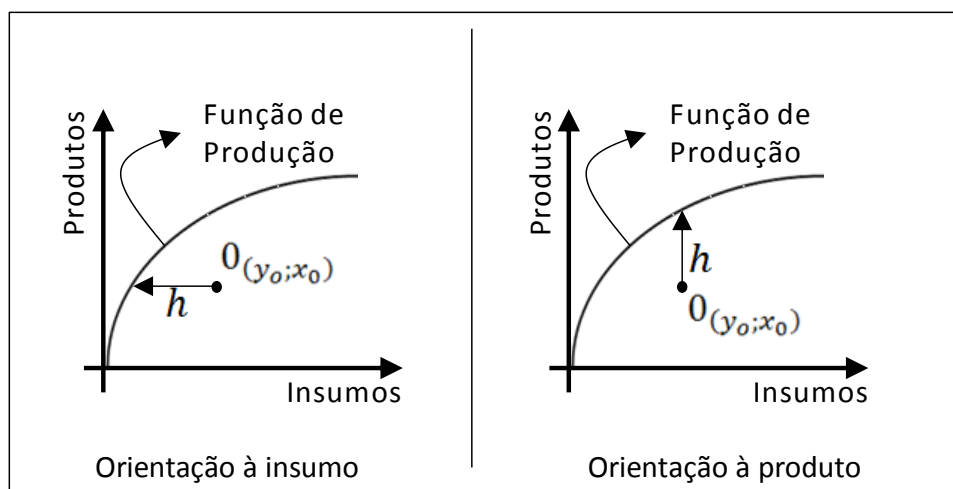


Figura 3.8 – Orientação Modelo DEA

Fonte: Elaboração Própria.

A figura acima retrata duas situações, orientação a insumo e outra a produto. Na primeira o coeficiente h reduz o insumo (x_0) até que o ponto se desloque sob a fronteira, ou seja, busca-se o valor de x_0 que coloque a empresa na função de produção. Na orientação ao produto, o coeficiente h aumenta o produto (y_0) até que o ponto se desloque sob a fronteira, isto enseja na busca do valor de y_0 que coloque a empresa na função de produção. Após a determinação das premissas de retorno de escala e orientação, a função de otimização pode ser construída conforme apresentado na Figura 3.9, abaixo.

Orientação a Insumo	Orientação a Produto
Maximizar: $\sum_{l=1}^j u_l y_{l0} + \varphi$ Sujeito a: $\sum_{m=1}^i v_m x_{m0} = 1$ $\sum_{l=1}^j u_l y_{jk} - \sum_{m=1}^i v_m x_{mk} + \varphi \leq 0$ $u_j, v_i \geq 0$ RCE: $\varphi = 0$ RNC: $\varphi = (-\infty; 0)$ RVE: $\varphi = (-\infty; +\infty)$ RND: $\varphi = (0; +\infty)$	Minimizar: $\sum_{m=1}^i v_m x_{m0} + \varphi$ Sujeito a: $\sum_{l=1}^j u_l y_{l0} = 1$ $\sum_{m=1}^i v_m x_{mk} - \sum_{l=1}^j u_l y_{jk} + \varphi \geq 0$ $u_j, v_i \geq 0$ RCE: $\varphi = 0$ RNC: $\varphi = (0; +\infty)$ RVE: $\varphi = (-\infty; +\infty)$ RND: $\varphi = (-\infty; 0)$

Figura 3.9 – Equações de Otimização do Modelo DEA

Fonte: Elaboração Própria.

Woodbury e Dollery (2004), foram os pioneiros na análise de eficiência de uma indústria através da metodologia DEA, na Austrália, cujo objetivo era incorporar medidas de eficiência dos servidores locais. Nesta análise foram selecionadas 73 empresas, no período de 1997 a 2000, com enfoque voltado à produção. A eficiência estimada foi a alocativa e técnica, onde a principal conclusão do trabalho foi que o ajuste do produto multiplicando por um índice de quantidade agregado do serviço faz com que as diferenças de eficiência entre as empresas sejam menores.

Também na Austrália, Coelli e Walding (2006), realizaram uma análise de desempenho das indústrias de água urbana utilizando uma amostra de 18 empresas no período de 1995 a 2002. Tendo a eficiência técnica como foco de análise, o resultado do estudo mostrou que a metodologia do DEA apresentou vantagens em relação à estimação de medidas de produtividade parcial das empresas, já que estas realizam ajustes por escala de operação, tamanho médio por cliente e densidade.

Na tentativa de estimar os indicadores de qualidade e seu efeito sobre a eficiência, Gómez *et al* (2008) realizaram um estudo para 38 empresas espanholas de água. A conclusão do trabalho, através da eficiência técnica estimada, foi que os distintos cenários de qualidade não forneceram resultados estatisticamente diferentes das análises realizadas pelo teste de *Spearman*. Existe um *trade off*¹¹ entre a qualidade e a quantidade de indicadores analisados.

Com intuito de auxiliar as empresas a mensurar as eficiências no processo produtivo e analisarem o seu posicionamento no contexto competitivo, Steffanello (2009), realizou um estudo para avaliar o desempenho relativo de onze produtores de leite de cabra de Minas Gerais e Rio de Janeiro, com base em informações de múltiplos insumos e produtos, no período de setembro de 2004 a setembro de 2005. Os resultados obtidos indicaram que as ineficiências apresentadas se dão pelo uso excessivo de inputs, que poderiam ser diminuídos, sem alterar o nível de produção.

Carrasqueira *et al* (2010), propôs uma metodologia de análise do desempenho, de um conjunto de núcleos científicos de uma instituição de ensino

¹¹Uma expressão que define uma situação em que há conflito de escolha. Ele se caracteriza em uma ação econômica que visa à resolução de problema mas acarreta outro, obrigando uma escolha.

superior, com recurso ao DEA. Nesse contexto, foi sugerido índices adaptados à avaliação do ensino e da investigação e discutidos os resultados obtidos pela aplicação da metodologia DEA ao conjunto de núcleos científicos da Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo da Universidade do Algarve.

Em Portugal, Silva (2011) realizou um estudo cujo objetivo principal era avaliar os níveis de eficiência de cada entidade gestora de água portuguesa e o serviço prestado por elas, através da metodologia DEA. A conclusão do estudo foi que as empresas apresentavam um grau de ineficiência significativo, entre 17% e 54%, onde foi observada a existência de uma economia de escala e densidade.

3.2.3

Análise Envoltória de Dados (DEA): 2º estágio

Uma das críticas que é feito em relação não somente ao modelo DEA, é em relação às variáveis não gerenciáveis que podem impactar consideravelmente a determinação da eficiência. Deste modo muitas literaturas modernas veem implementando ao modelo DEA um segundo estágio, onde é realizada uma análise estatística de modo a ajustar os parâmetros de eficiência, estimados, através da inserção de variáveis não gerenciáveis pela indústria. Essas variáveis refletem o meio em que as firmas se encontram, quer seja o segmento ou setor em que atuam, a área, região, clima e até o país em que se localizam. Consistem, por exemplo, do índice pluviométrico de um determinado local, a remuneração média do mercado de trabalho da área de concessão da empresa, a densidade de consumo, a declividade da região, a composição do mercado consumidor entre outros aspectos.

Existem duas metodologias difundidas na literatura para o ajuste da eficiência estimada no “primeiro estágio”. A primeira utiliza um modelo de regressão truncada chamado *TOBIT*¹², proposto por Simar e Wilson (2007), a segunda, adotada por Banker e Natarajan (2008) aplica modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (Nota Técnica ANEEL nº 294/2011). Em ambos os casos, as eficiências estimadas inicialmente são reestimadas em função das variáveis não gerenciáveis, pré-selecionadas.

¹² *TOBIT: truncated regression model*, modelos de regressão adotados em dados censurados.

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, vem adotando em seus ciclos revisionais, 3º RTP e 4º RTP, a metodologia de DEA em dois estágios para o ajuste dos custos operacionais das distribuidoras de energia elétrica do Brasil.

Corrar *et al* (2012), com o intuito de avaliar a eficiência financeira na gestão dos recursos públicos de municípios brasileiros e mensurar sua relação com os gastos nas funções de governo definidas na estrutura orçamentária brasileira no ano de 2007, utilizou da metodologia DEA em dois estágios. Os resultados revelaram que, das 28 funções de governo apenas os gastos per capita com saúde, urbanismo e saneamento correlacionaram-se como os escores de eficiência financeira dos municípios.

Proposição Metodológica

A maioria dos reguladores, brasileiros e estrangeiros, recorre às metodologias de *benchmarking* para determinar os custos eficientes dos prestadores de serviços sob sua jurisdição. Dado que todas as metodologias de *benchmarking* apresentam vantagens e desvantagens, este trabalho irá abordar diferentes métodos de estimação de modo a avaliar e caracterizar a eficiência das empresas do setor de saneamento básico do Brasil, relativos aos custos operacionais.

Dessa forma, a proposta metodológica do presente estudo abordará 3 metodologias em 3 etapas. Na primeira etapa será feita a estimação da eficiência a partir da média das eficiências estimadas através da metodologia DEA e MQOC, cujo objetivo é de obter um resultado mais parcimonioso, devido às suas características metodológicas (paramétricas e não paramétricas). Na estimação do DEA, foi considerado o retorno não decrescente de escala e orientação a insumo.

A segunda etapa, a eficiência média estimada, será “corrigida” por fatores não gerenciáveis pelas empresas. Neste processo, será adotada a regressão *TOBIT*, devido as características das variáveis consideradas e seguindo recomendações de diversas literaturas que abarcam o presente tema, conforme adaptação de Simar e Wilson (2007), por exemplo. A regressão *TOBIT* é estimada a partir do método de máxima verossimilhança, cujo estimador permite que a variável dependente seja estimada respeitando a restrição de que o nível de eficiência se limita ao intervalo entre 0 e 1.

Por fim, na terceira etapa, será realizado uma análise de indicadores de desempenho, cujo principal objetivo é corroborar os resultados obtidos na etapa anterior e apresentar as características das empresas analisada. A análise de indicadores de desempenho será conduzida em relação à(s) empresa(s) considerada(s) *benchmark(s)*, na metodologia DEA e MQOC corrigido, e fundamentado com base na média e mediana dos indicadores síntese de custos médios, produtividade e perdas de água no setor de saneamento. A Figura 4.1 apresenta o esquema da metodologia proposta neste estudo.

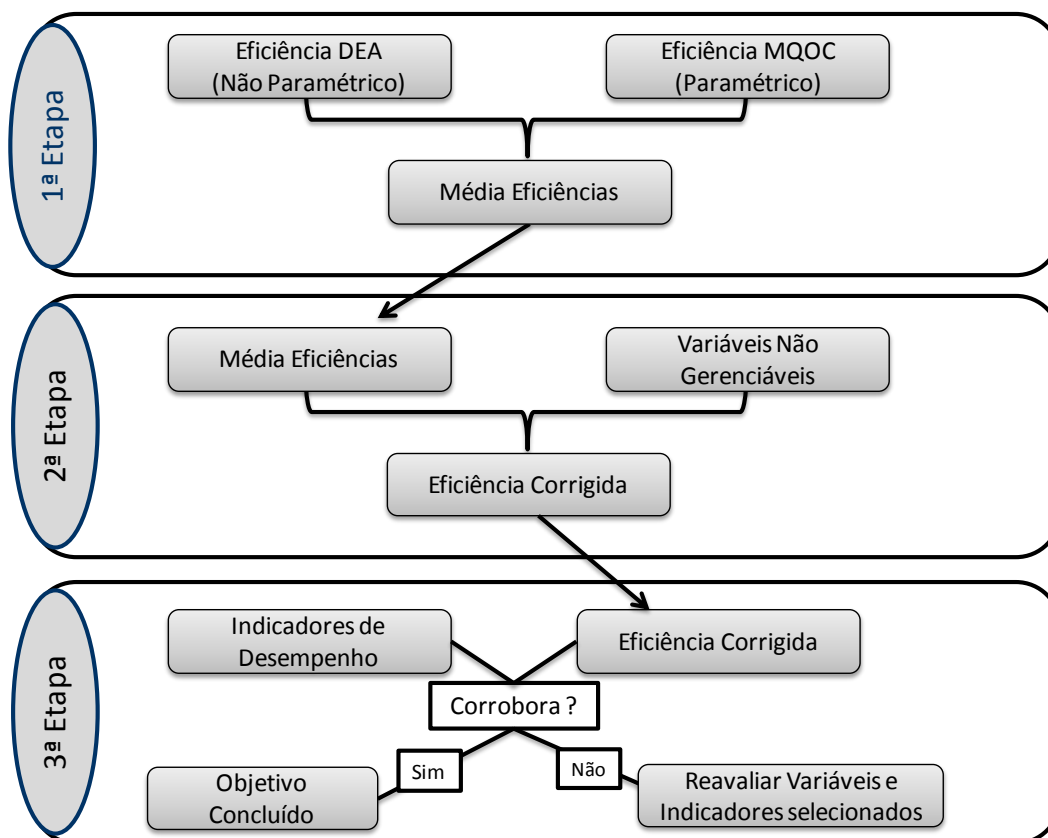


Figura 4.1 – Esquema Metodológico

Fonte: Elaboração Própria.

4.1

Tratamento da Amostra e Seleção das Variáveis

O sistema SNIS dispõe de informações de 1.455 empresas de saneamento brasileiras, das quais 687 são empresas que fornecem simultaneamente os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Para a análise dos níveis de eficiência foram inicialmente consideradas todas as 25 entidades de abrangência regional.

Para tanto, foi feito uma análise dos dados por empresas que apresentavam o histórico de dados completos, ou seja, continham todas as informações no período de 2007 a 2012, desse modo as empresas SANESUL e COPANOR foram excluídas da base. Sendo assim, com a base composta por 23 empresas, foi feito uma segregação por porte das empresas através da mediana do volume de água produzido no último ano de análise.

A motivação pela segregação da base de dados deve-se a uma forte tendência de viés na estimação em virtude da concentração de empresas de

pequeno porte apresentar estruturas operacionais muito diferentes daquelas prevalecentes nas empresas de grande porte.

Deste modo, a mediana do volume de água resultou em 245 milhões m³, onde 11 empresas (pequeno porte) ficaram acima deste patamar e 12 abaixo (grande porte). A amostra selecionada para o estudo foi das empresas de grande porte, conforme apresentado no Quadro 4.1, abaixo.

Quadro 4.1 – Amostra com 12 Empresas

Empresa	Sigla	UF
Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.	EMBASA	BA
Companhia de Água e Esgoto do Ceará	CAGECE	CE
Companhia Espírito-Santense de Saneamento	CESAN	ES
Saneamento de Goiás S/A	SANEAGO	GO
Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão	CAEMA	MA
Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	MG
Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba	CAGEPA	PB
Companhia Pernambucana de Saneamento	COMPESA	PE
Companhia de Saneamento do Paraná	SANEPAR	PR
Companhia Estadual de Águas e Esgotos	CEDAE	RJ
Companhia Rio-Grandense de Saneamento	CORSAN	RS
Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	SABESP	SP

Fonte: Elaboração Própria.

Como o objetivo de determinar o nível de eficiência dos custos operacionais das empresas de saneamento, foi considerado como variável de insumo o custo operacional (OPEX) das empresas. Para tanto, com base nas informações disponibilizadas pelo SNIS, a composição desta variável foi definida conforme apresentado na equação 4.1, abaixo.

$$OPEX = \text{Pessoal} + \text{Químico} + \text{Energia} + \text{Terceiros} \quad (4.1)$$

Onde,

Pessoal: despesa com pessoal próprio (R\$);

Químicos: despesa com produtos químicos (R\$);

Energia: despesa com energia elétrica (R\$);

Terceiros: despesa com serviços de terceiros (R\$).

Todos os componentes do OPEX foram ajustados monetariamente pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) até junho de 2012. Para as variáveis de produto, foram considerados o volume faturado (1000m³/ano) e a quantidade de ligações ativas (ligações/ano), de água e esgoto.

A partir da definição destas variáveis, foi realizada uma análise de consistência da base de dados, excluindo-se assim o(s) possíveis *outliers*¹³ da amostra. Logo, foi feita uma análise de *boxplot* e teste de *Grubbs*¹⁴ a partir dos dados das variáveis de insumo e produtos. O resultado desta análise apontou a empresa SABESP como *outlier* em todas as variáveis de análise, sendo, portanto, excluída da amostra. A Figura 4.2 apresenta o comportamento da SABESP, em vermelho, em relação às outras empresas da amostra e variáveis.

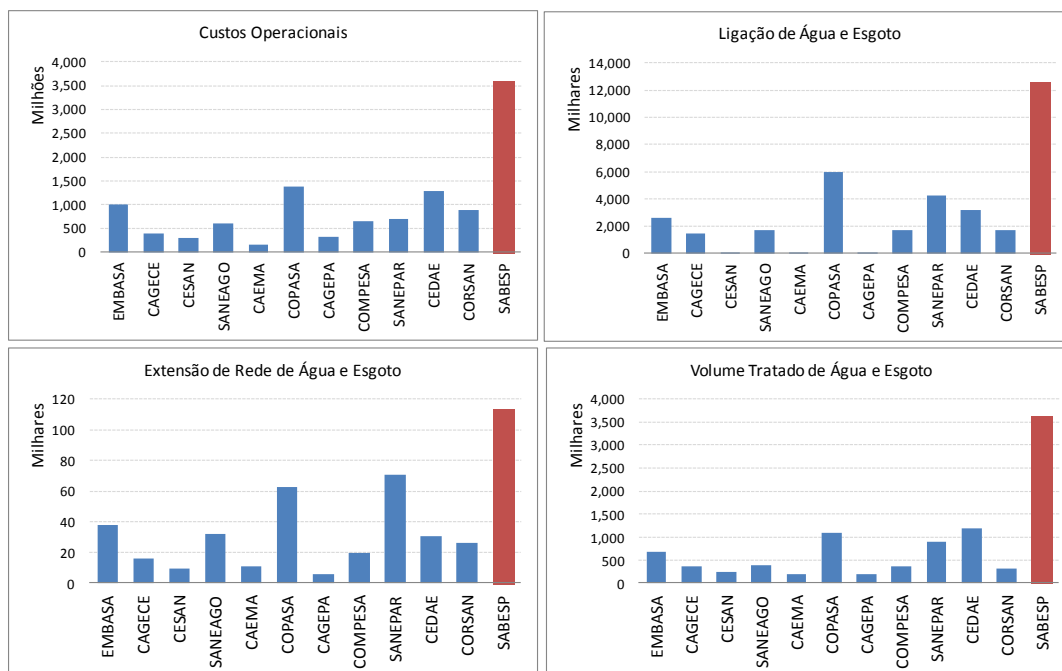


Figura 4.2 – Análise Comportamento da empresa SABESP

Fonte: Elaboração Própria.

Tendo como base essas análises, as estimativas foram conduzidas apenas em relação às 11 empresas, tidas como comparáveis, conforme apresentado no Quadro 4.2, abaixo.

¹³ *Outliers*: observação externa aos extremos apurados na amostra

¹⁴ Teste de *Grubbs*: Este teste é desenvolvido para verificar a presença de valores extremos em observações amostrais. Valores extremos podem ser considerados como manifestações da variabilidade aleatória inerente aos dados, ou apenas um erro no cálculo durante o recolhimento dos dados e até mesmo uma anotação precipitada pelo operador.

Quadro 4.2 – 11 Empresas Comparáveis

Empresa	Sigla	UF
Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.	EMBASA	BA
Companhia de Água e Esgoto do Ceará	CAGECE	CE
Companhia Espírito-Santense de Saneamento	CESAN	ES
Saneamento de Goiás S/A	SANEAGO	GO
Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão	CAEMA	MA
Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	MG
Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba	CAGEPA	PB
Companhia Pernambucana de Saneamento	COMPESA	PE
Companhia de Saneamento do Paraná	SANEPAR	PR
Companhia Estadual de Águas e Esgotos	CEDAE	RJ
Companhia Rio-Grandense de Saneamento	CORSAN	RS

Fonte: Elaboração Própria.

A relação entre as variáveis de insumo e produtos foi alta, apresentando uma correlação superior a 90%, constatando a relevância destas para a determinação dos custos operacionais, conforme esperado em estudos de *benchmarkings*.

Quanto as variáveis ambientais, inicialmente foram consideradas as variáveis de remuneração média da unidade da federação (R\$), que retrata as diferenças de custo de mão de obra da região onde cada uma das empresas operam, utilizando-se dos dados extraídos do IBGE e do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE); a dispersão dos consumidores, que consiste na relação entre a extensão da rede e o número de ligações ativas (km/lig.); a precipitação média na área da concessão (mm); quantidade média de veículos por habitante da unidade da federação (veículos/habitantes), uma *proxy* que avalia o tempo médio de deslocamento, e a declividade média da área de concessão (%)¹⁵. O Quadro 4.3 apresenta essas variáveis não gerenciáveis pelas empresas.

Quadro 4.3 – Variáveis Não Gerenciáveis pelas empresas

Remuneração Média do Estado	Dispersão dos Consumidores	Pluviosidade	Tempo Médio de Deslocamento	Relevo
Salário IBGE	Dispersão de Água	Precipitação	Frota	Declividade
Salário MTE	Dispersão de Esgoto			
	Dispersão Total			

Fonte: Elaboração Própria.

As variáveis apresentadas no quadro acima, também serão testadas com desvio da média, cujo objetivo é capturar apenas a variabilidade dos diferentes

¹⁵Variável obtida através da Nota Técnica nº 494/2013 da ANEEL.

fatores não gerenciais das empresas (ANEEL, 2009), que podem ser interpretados como ineficiência. Dessa forma, a correção da eficiência será dada conforme a equação 4.1, abaixo.

$$\theta_{Efic. Corrigida} = \text{Min} [\theta_{1^{\circ}DEA} - (X_i * \alpha_i); 100\%] \quad (4.1)$$

Onde $\theta_{1^{\circ}DEA}$ é a eficiência média estimada na primeira etapa, X_i é a variável não gerencial considerada no modelo e α_i é o coeficiente estimado no modelo de regressão *TOBIT*.

4.2

Definição dos Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho são importantes instrumentos de regulação, através deles é possível obter um panorama do nível de desempenho realmente atingido no decorrer do ano, possibilitando uma comparação entre as entidades de gestão e os resultados obtidos de forma direta e transparente. Tendo como base a literatura, para a análise de desempenho foram considerados 15 indicadores, síntese de custos médios, produtividade e perdas, construídos através de 14 variáveis e 3 indicadores, disponibilizados no SNIS. O Quadro 4.4, apresenta a relação desses indicadores.

Quadro 4.4 – Indicadores de Desempenho

Código	Indicadores
Indicadores de Produtividade por Empregados Próprios	
IND1	Unidade Consumidora de Água e Esgoto por Quantidade de Empregados Próprios (ligação/empregado)
IND2	Volume de Água Micromedido por Quantidade de Empregados Próprios (1.000m ³ /empregado)
Indicadores de Custos Médios	
IND3	Desp. Pessoal e Serviços / Vol. Água Micromedido (R\$/1.000m ³)
IND4	OPEX por Unidade Consumidora de Água e Esgoto (R\$/ligação)
IND5	OPEX sem Produtos Químicos e Energia Elétrica por Unidade Consumidora de Água e Esgoto (R\$/ligação)
Indicadores de Produtividade por Total de Empregados	
IND6	Unidade Consumidora de Água e Esgoto por Total de Empregados (ligação/empregado)
IND7	Volume de Água Micromedido por Total de Empregados

Código	Indicadores
	(1.000m ³ /empregado)
IND8	Extensão de Rede de Água e Esgoto por Total de Empregados (km/empregado)
IND9	Volume Faturado de Água e Esgoto por Total de Empregados (1.000m ³ /empregado)
IND10	Economias Ativas de Água e Esgoto por Total de Empregados (economias/empregado)
Indicadores de Custos Médios Ajustados	
IND11	OPEX (IBGE) por Unidade Consumidora de Água e Esgoto (R\$/ligação)
IND12	OPEX (MTE) / Unidade Consumidora de Água e Esgoto (R\$/ligação)
Indicadores de Perdas	
IND13	Índice de Perdas por Ligação (l/dia/ligação)
IND14	Índice de Perdas na Distribuição (%)
IND15	Índice de Faturamento de Água (%)

Fonte: Elaboração Própria.

De modo a avaliar as diferentes dimensões de custos operacionais foram considerados custos com e sem os componentes de produtos químicos e de energia elétrica (IND4 e IND5, respectivamente). Ademais, para minimizar os efeitos da dispersão salarial das diferentes unidades da federação, foi feito um ajuste da variável despesa salarial com pessoal próprio¹⁶ e com serviços de terceiros, utilizando dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IND11). De forma similar, ajustou-se a despesa salarial considerando remuneração média dos serviços industriais de utilidade pública¹⁷, através das informações disponibilizadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) (IND12).

¹⁶ Variável obtida através da Tabela 1860, do PNAD/IBGE (Acesso: 2013)

¹⁷ Variável obtida através do sitio RAIS/MTE (Acesso: 2013)

5

Aplicação e Resultados

Inicialmente, é apresentado o resultado referente à primeira etapa da estimação da eficiência, Quadro 5.1, ou seja, a eficiência estimada através da metodologia DEA e MQOC. Para a estimação do DEA, foi utilizado o *software* EMS e para o MQOC, o excel.

Quadro 5.1 – Estimações Eficiências DEA e MQOC

Empresa	Eficiências DEA	Eficiências MQOC	Diferença (MQOC - DEA)	Média Eficiências (DEA e MQOC)
EMBASA	0,53	0,55	0,03	0,54
CAGECE	0,89	0,89	0,00	0,89
CESAN	0,66	0,64	-0,03	0,65
SANEAGO	0,62	0,61	-0,01	0,61
CAEMA	1,00	1,00	0,00	1,00
COPASA	0,72	0,60	-0,12	0,66
CAGEPA	0,49	0,48	-0,01	0,49
COMPESA	0,57	0,54	-0,03	0,56
SANEPAR	1,00	0,99	-0,01	0,99
CEDAE	0,73	0,66	-0,07	0,70
CORSAN	0,44	0,36	-0,08	0,40

Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se que os resultados obtidos por ambos os métodos, DEA e MQOC, foram similares. A correlação entre os resultados foi de 98%, demonstrando robustez nos resultados encontrados. Na metodologia DEA, as empresas CAEMA e SANEPAR, se mostraram eficientes, já pelo método do MQOC, apenas a CAEMA. Ademais, a empresa que apresentou a maior distancia entre as estimações, foi a COPASA, com 12 %, contrapondo-se as empresas CAGECE e CAEMA, que apresentaram as mesmas eficiências, em ambos os métodos. Em relação à eficiência média, as empresas CAEMA e SANEPAR, prevaleceram na fronteira, enquanto que a CORSAN foi a que mostrou mais afastada desta.

A segunda etapa da metodologia trata da correção da eficiência média estimada através da regressão *TOBIT*, utilizando o *software* *Eviews 7*, conforme

explicado na Seção 4. O resultado desta estimação resultou em uma regressão que considerou as variáveis, precipitação, dispersão de esgoto e salário, conforme apresentado no Anexo I. A escolha pela referida regressão foi motivada devido a coerência dos sinais dos coeficientes estimados, significância¹⁸ destes e por ter apresentado o menor valor do critério de informação de Akaike¹⁹ entre demais modelos estimados.

Assim, através dos coeficientes das variáveis não gerenciáveis selecionadas, foi possível ajustar o nível de eficiência a partir da equação 4.1. O Quadro 5.2, apresenta o resultado das eficiências corrigidas, as estimativas iniciais e o *ranking* de classificação das empresas.

Quadro 5.2 – Resumos e Eficiências Corrigidas

Empresa	DEA	Ranking DEA	MQOC	Ranking MQOC	Eficiência Média (1)	Ranking Eficiência Média	Eficiência Média Corrigida	Ranking Eficiência Média Corrigida (2)	Diferença p.p. ²⁰ (2) - (1)
SANEPAR	1,00	1	0,99	2	0,99	2	1,00	1	1
CAEMA	1,00	1	1,00	1	1,00	1	0,95	2	-5
CAGECE	0,89	3	0,89	3	0,89	3	0,91	3	2
CESAN	0,66	6	0,64	5	0,65	6	0,79	4	14
CEDAE	0,73	4	0,66	4	0,70	4	0,73	5	3
SANEAGO	0,62	7	0,61	6	0,61	7	0,71	6	10
COPASA	0,72	5	0,60	7	0,66	5	0,68	7	2
COMPESA	0,57	8	0,54	9	0,56	8	0,64	8	8
EMBASA	0,53	9	0,55	8	0,54	9	0,58	9	4
CAGEPA	0,49	10	0,48	10	0,49	10	0,52	10	3
CORSAN	0,44	11	0,36	11	0,40	11	0,49	11	9

Fonte: Elaboração Própria.

Através do quadro acima, é possível observar que após o ajuste da média das eficiências, inicialmente estimadas, melhoraram significativamente, mitigando as diferenças peculiares às áreas de concessão das empresas. Todavia, a posições das empresas no *ranking* de eficiência, com exceção da CAEMA e SANEPAR, não apresentou alteração.

¹⁸ A significância dos coeficientes, refere-se ao p-valor das variáveis explicativas estima serem inferiores a 10%.

¹⁹ O Critério de Informação de Akaike (AIC), é um critério de seleção de modelos, seleciona-se aquele modelo que apresentar o menor valor.

²⁰ p.p.: pontos percentuais

Inicialmente, a empresa CAEMA se apresentou eficiente em ambos os métodos do primeiro estágio metodológico, após a correção esta caiu para a 2ª posição no *ranking* de eficiência. Por outro lado, a SANEPAR, que antes se mostrava na 2ª posição passou a ser a única a compor a fronteira de eficiência, tornando-se *benchmark* para as demais. Além disso, as empresas CESAN e SANEAGO apresentaram uma significativa melhora no seu desempenho em resposta ao ajuste realizado, em que a primeira apresentou um aumento de 14 p.p. saindo da 6ª posição para a 4ª no *ranking*, e a SANEAGO uma melhora de 10 p.p. no seu desempenho.

Devido à eficiência da SANEPAR, a análise de indicadores foi conduzida apenas em relação a esta, em relação ao ano de 2012, de modo a corroborar com os resultados obtidos na metodologia anteriormente aplicada. Sendo assim, o Quadro 5.4, apresenta o resumo dos resultados obtidos através da análise dos indicadores avaliados, bem como o comportamento desta empresa em relação às variações observadas na amostra.

Quadro 5.3 – Análise dos Indicadores de Desempenho

Código	Valor SANEPAR	Média	Mediana	Varição Média (%)	Varição Mediana (%)
Indicadores de Produtividade por Empregados Próprios					
IND1	624,1	561,0	514,2	11%	21%
IND2	67,9	69,0	67,9	-2%	0%
Indicadores de Custos Médios					
IND3	1.921,8	2030,5	1921,8	-5%	0%
IND4	264,8	316,9	298,6	-16%	-11%
IND5	209,2	245,7	240,1	-15%	-13%
Indicadores de Produtividade por Total de Empregados					
IND6	442,6	372,2	356,8	19%	24%
IND7	48,2	45,4	46,5	6%	4%
IND8	7,3	4,4	4,1	67%	79%
IND9	92,5	80,3	71,2	15%	30%
IND10	558,6	486,8	484,1	15%	15%
Indicadores de Custos Médios Ajustados					
IND11	218,7	330	340	-34%	-36%
IND12	249,6	359,8	327,5	-31%	-24%
Indicadores de Perdas					
IND13	236,3	379,7	334,1	-38%	-29%
IND14	33,1	38,4	39,4	-14%	-16%
IND15	78,7	64,2	66,2	23%	19%

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela acima mostrou que a SANEPAR também foi eficiente quanto à análise de indicadores. Avaliando os indicadores de custos médios (IND3, IND4 e IND5), pode-se observar que a SANEPAR apresentou os custos abaixo da média e da mediana. O mesmo pode ser observado em relação aos custos médios ajustados, apresentando-se 34% abaixo da média e 36% abaixo da mediana, em relação aos dados IBGE e em relação aos dados MTE a empresa apresentou 31% e 24% abaixo da média e mediana, respectivamente.

Em relação aos indicadores de perdas (IND13 e IND14), onde se espera o menor índice possível, a empresa se mostrou bastante comprometida com a manutenção das redes, apresentando-se 38% abaixo da média das empresas e 29% abaixo da mediana. Analisando os indicadores de produtividade por total de empregados, cujo resultado esperado é sempre positivo, a SANEPAR sempre esteve acima da média e mediana, principalmente em relação ao indicador de extensão rede de água e esgoto por total de empregados (IND8), o qual apresentou uma ascensão de aproximadamente 70% em relação à média e 80% em relação à mediana.

No que tange a produtividade por total de empregados próprios, a empresa apresentou uma pequena queda em relação à média, referente ao volume de água micromedido por quantidade de empregados próprios. No entanto, em relação à unidade consumidora de água e esgoto por quantidade de empregados próprios, esta esteve 11% acima da média das empresas, demonstrando eficiência na prestação de serviço. O Anexo II, apresenta a análise gráfica dos referidos indicadores em relação às empresas analisadas.

Conclusões e Recomendações

O presente estudo realizou uma análise de *benchmarking* com o intuito de verificar a eficiência dos custos operacionais das empresas de saneamento do Brasil. Para tanto, foi empregada uma abordagem combinada de duas metodologias, sendo uma paramétrica (MQOC) e outra não paramétrica (DEA), ajustada a partir de variáveis não gerenciais pelas empresas. Para este ajuste foi adotado uma regressão *TOBIT*. Em seguida, foi realizada uma análise complementar, através de indicadores de desempenho, cujo objetivo era corroborar os resultados obtidos na metodologia anterior.

Recorrendo aos dados disponíveis no SNIS, foram inicialmente selecionadas as 25 empresas regionais com fornecimento de água e esgoto. Devido a alta sensibilidade a presença de *outliers*, por parte das metodologias aplicadas, foi feito uma mineração dos dados, de modo a considerar somente empresas de porte semelhante (grande porte), assim, a amostra final contou com 11 empresas homogêneas prestadoras de serviços de água e esgoto.

Na primeira etapa metodológica realizou-se a estimação da eficiência, adotando como variáveis de insumo, o OPEX e de produto, a quantidade de ligações ativas e o volume faturado de água e esgoto, respectivamente. A eficiência resultante foi obtida a partir da média das estimações através da metodologia DEA e MQOC. Como resultado deste processo a empresa CAEMA se mostrou *benchmark* em ambas as metodologias, já a SANEPAR, apenas na metodologia do DEA. Por outro lado, a CORSAN apareceu como a empresa mais distante da fronteira, apresentando uma eficiência em torno de 40 %.

Em seguida, foi feita a correção desta eficiência a partir de variáveis não gerenciáveis. Nesta análise foi realizada uma regressão *TOBIT*, cujas variáveis selecionadas foram a precipitação, dispersão de esgoto e salário IBGE. O resultado desta correção mostrou que o impacto das variáveis selecionadas no modelo escolhido beneficiou o desempenho das empresas, no entanto, não gerou significativas mudanças quanto à posição do *ranking* de eficiência. A empresa CAEMA, que na primeira etapa estava na fronteira de eficiência, passou a ocupar

a segunda colocação no *ranking*, com 95% de eficiência, enquanto a SANEPAR passou a ser *benchmark* para as demais empresas analisadas. Também foi observada uma significativa resposta no desempenho no caso da CESAN e SANEAGO, que apresentaram um aumento de 14 p.p. e 10 p.p., respectivamente. A CORSAN continuou apresentando uma grande ineficiência no seu gerenciamento, mas com uma melhora de 10 p.p., passando a apresentar uma eficiência de 50%.

A análise de indicadores de desempenho foi realizada tendo como base 15 indicadores que abordavam características de produtividade, custos médios e perdas. Esta análise foi realizada para todas as 11 empresas selecionadas, porém focada apenas naquela tida como *benchmark*, na etapa anterior da metodologia. Os indicadores, contemplados para o ano de 2012, mostraram que a SANEPAR foi mais eficiente entre as demais empresas, comparativamente à média e mediana para a maioria dos indicadores, corroborando com os resultados obtidos na análise anterior.

Dessa forma, o presente estudo contribuiu para o avanço e conhecimento sobre eficiência do setor de saneamento do Brasil. As abordagens conceituais e metodológicas discutidas nos capítulos 2 a 4 fundamentaram o desenvolvimento e aplicação desta metodologia, contribuindo de forma significativa para que os objetivos específicos da dissertação fossem alcançados.

Em relação ao objetivo geral, o estudo conseguiu atingir o objetivo tornando possível avaliar o nível de eficiência das empresas em relação aos seus custos operacionais observando suas características territoriais. Além disso, em termos específicos, também foi atingido o objetivo dado que a metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo propiciou à seleção das variáveis mais significativas e a seleção dos melhores indicadores de desempenho. Portanto, pode-se concluir que o estudo foi realizado de forma satisfatória, tendo a SANEPAR como a empresa mais eficiente, relativamente aos seus custos operacionais e entre as demais empresas analisadas, bem como em vista às notificações históricas de desempenho destas no setor de saneamento do Brasil, para o ano de 2012. .

O Anexo III contém uma síntese de alguns estudos que avaliaram o nível de eficiência de diversos setores. A consideração desses estudos objetiva incentivar novas investigações de aplicação e aprofundamentos metodológicos relacionados

aos métodos de estimação de eficiência (*benchmarkings*), contribuindo, dessa forma, para a melhoria e aperfeiçoamento de gestão, não só para o setor de saneamento, mas também para diversos setores relacionados à utilidade pública.

Identificam-se ainda, alguns domínios no âmbito dos quais será interessante o desenvolvimento de estudos futuros, como a aplicação de técnicas mais recentes, como o DEA em 3 estágios abordado por Werneck (2011). De maneira resumida, esta técnica visa incorporar o uso de fronteira estocástica, separando as ineficiências estimadas no segundo estágio dos ruídos estatísticos. Ademais, ainda poderia ser incrementada uma metodologia de DEA com restrição dos pesos, conforme abordado por Gonçalves (2010), tendo em vista que em muitos casos, os pesos dos produtos considerados nesta simulação apresentam-se pouco significativos em contribuição aos insumos. Pessanha *et al* (2013), também apresentou uma proposta de aprimoramento de definição dos níveis eficientes dos custos operacionais no setor elétrico, cujo trabalho poderia ser implementado para o setor de saneamento. Este aprimoramento trata do uso da avaliação cruzada na definição dos níveis eficientes dos custos operacionais.

Por fim, no que concerne à análise metrológica, poderia ser feito uma Análise Fatorial, de modo a encontrar um fenômeno que resumisse melhor a eficiência das empresas. Essa análise poderia ser realizada a partir dos indicadores aqui apresentados adicionados a outros conjuntos de indicadores não explorados.

Referências Bibliográficas

ADERASA. Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas. - Grupo Regional de Trabajo Tarifas y Subsidios. Las Tarifas de Agua Potable y Alcantarillado En América Latina. 2007.

Afonso, A.; Aubyn, M. S. *Cross-country efficiency of secondary education provision: a semi-parametric analysis with non-discretionary inputs*. European Central Bank. Frankfurt, p.494. 2005.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Nota Técnica ANEEL n° 294, 2011. Metodologia de Cálculo dos Custos Operacionais.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Nota Técnica 394. Segundo Ciclo de Revisão Tarifária Periódica das Concessionárias de Transmissão de Energia Elétrica do Brasil. Brasília. 2009.

Aguas Andinas: www.aguasandinas.cl. Acesso em: jul/2014.

Aigner, D.; Lovell, K.; Schmidt, P. *Formulation and estimation of stochastic frontier production function models*. Journal of Econometrics, p. 21 - 37, 1977.

Alegre, H.; Baptista, J. M.; Cabrera, J. R., H.; Cubillo, F.; Duarte, P.; Hiner, W.; Merkel, W.; Parena, R. *Performance indicators for water supply services*. 2. Ed. Londres: IWA Publishing, 2006. 312 p.

Alegre, H.; Hiner, W.; Melo, B. J.; Parena, R. *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. Série Guias Técnicos. LNEC, Lisboa, 2004.

Alegre, H.; Hirner, W.; Baptista, J. M. Parena, R. *Performance indicators for water supply services*. Londres: IWA Publishing, 2000. 160 p.

Armstrong, M.; Cowan, S., Vickers, J. *Regulatory reform: Economic Analysis and British Experience*. MIT Press, 1994.

Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*. Science, 30(9), 1078-1092. 1984. (Banker *et al.* 1984).

Banker, R. D.; Charnes, A.; Cooper, W. W. *Some Models for Estimating technical and scale*. European Journal of Operation Research. n. 2, p.429-444. 1978.

Banker, R. D.; Gadh, V. M.; Gorr, W. L. *A Monte Carlo comparison of two production frontier estimation methods: Corrected ordinary least squares and data envelopment analysis*. European Journal of Operational Research, v. 67, p. 332 - 343, May 22 2003.

Banker, R. D.; Natarajan, R. *Evaluating contextual variables affecting productivity using Data Envelopment Analysis. Operations Research*. 56: 48 - 58 p. 2008.

Barros, E. S.; Costa, E. F.; Sampaio, Y. Análise de Eficiência Estimando Fronteiras Paramétricas Cobb-Douglas e Translog: o caso das empresas agrícolas do Pólo Petrolina-Juazeiro. *Revista Economica do Nordeste, Fortaleza*, v.35, 2004.

Barros, M. R.; Machado, P. C.; Fernandes, U. M. Custos Operacionais Eficientes para o Setor de Saneamento Básico. 2004.

Battese, G.; Coelli, T. *A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. Empirical Economics*, v. 20, p. 325 - 332, 1995.

Berg, S.; Lin, C. *Consistency in Performance Rankings: The Peru Water Sector. Applied Economics*, 2008.

Berg, G. S. *Conflict Resolution: Benchmarking Water Utility Performance. Public Admin. Dev.* 27, 1-11.2007.

Bifulco, R. Bretschneider, S.; *Estimating school efficiency A comparison of methods using simulated data. Economics of Education Review*, p. 417 - 429, February 29 2000.

Brunetta, R. Avaliação da Eficiência Técnica e de Produtividade Usando Análise por Envoltória de Dados: um Estudo de Caso Aplicado a Produtores de Leite. Curitiba, 2004.

Canal Isabel II: www.cyii.es. Acesso em: out/2014.

Canto, M. Mensuração e Análise da Eficiência Técnica de Produção do Setor Metal-Mecânico da Indústria de Caxias do Sul. Universidade federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Porto Alegre, p. 91, 2002.

Carrasqueira, H; Teotónio, I.; Carrasco, P.; Rebelo, S. Aplicação da Metodologia DEA na Análise do Desempenho de Núcleos Científicos Numa Instituição de Ensino. *Revista da ESGHT-UAIG*. 2010.

Chang, S.Y.; Chen, T. H. *Simple Approach to Adjust Factor Weights in Data Envelopment Analysis. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, v. 24, p. 120-127, 2007.

Charnes, A.; Cooper, N.W.; Rhodes, E. *Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operations Research*, v. 2, p. 429 - 444, 1978. ISSN 6.

CNI, C.N.D.I. - Saneamento Básico: Experiência Internacional e Avaliação de Proposta para o Brasil. Brasília: CNI, 2006.

Coelli, T.; Rao, P.; Battese, G. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Kluwer Academic Publishers, Bóston/Dordrecht/Londres, 1998.

Coelli, T.; Walding, S. *Performance Measurement in the Australian Water Supply Industry: A preliminary analysis*. Australian: Edward Elgar Publishing Limited, 2006.

Conforto, G. Descentralização e Regulação da Gestão de Serviços Públicos. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 32, n. 1, p. 27-40, Jan./Fev. 1998.

Conforto, G. A Regulação e a Titularidade dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário no Brasil. *RAP*, Rio de Janeiro: FGV, v. 34, n. 5, set./out. 2000.

Cordeiro, S. A. *Desempenho do Fomento do Órgão Florestal de Minas Gerais*. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

Corrar, J. L.; Macedo, S. M.; Diniz, J. A. Mensuração da Eficiência Financeira Municipal no Brasil e sua Relação com os Gastos nas Funções de Governo. *Measuring Financial Efficiency of Brazilian Municipalities and its Relation to the Functions of Government Spending*. *Revista: Gestão & Regionalidade - Vol. 28 - Nº 83 - mai-ago/2012*.

Correa, P. *et al. Regulatory governance in infrastructure industries – assessment and measurement of Brazilian regulators*. Washington, DC: World Bank, 2006.

Correia, T. *Eficiência dos Serviços de Água e de Águas Residuais em Portugal*. Lisboa, Portugal: 2008.

Couzi, D. O. *Entraves na Busca da Universalização do Saneamento Básico*. Vitória, 2012.

Comission de regulacion de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA: www.cra.gov.co. Acesso em: ago/2014.

Departamento Nacional de Transito - DENATRAN: www.denatran.gov.br/frota.htm. Acesso em: jul/2014.

Department Environmental Protection: www.nyc.gov/DEP. Acesso em: ago/2014.

Diniz, J. A.; Macedo, M. A. S.; Corrar, L. J. M. Mensuração da Eficiência Financeira Municipal no Brasil e sua Relação com os Gastos nas Funções de Governo. *Gestão & Regionalidade*, v. 28, p. 20, Agosto 13 2012. ISSN 83.

Dyson, R.G.; Thanassoulis, E. *Reducing Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis*. *Journal of the Operational Research Society*, v. 39, p. 563-576, 1988.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB: www.acueducto.com.co. Acesso em: ago/2014.

Encinas, R. Oportunidades de aplicação da análise envoltória de dados em auditorias operacionais do Fórum de Contas da União. 2010. disponível em . Acesso em: 20 mar. 2014.

Endre Bjørndal, M. B.; Camanho, A.; *Weight Restrictions in the DEA Benchmarking Model for Norwegian Electricity Distribution Companies – Size and Structural Variables*. 2008.

Farrel, J. M. *The Measurement of productive efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society, v. 120, p. 253 - 290, 1957.

Ferro, G.; Romero, C. A. *Setting performance standards for regulation of water services: Benchmarking Latin American utilities*. Water Policy, v. 13, n. 5, p. 607-623, 2011. ISSN 1366-7017. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000293823600002 >.

Franco, F. Fortuna, M.; O método de Fronteira Estocástica na Medição da Eficiência dos Serviços Hospitalares: Uma Revisão Bibliográfica. 2003. Associação Portuguesa de Economia da Saúde.

Galvão, A. C. Paganini, W. S.; Aspectos Conceituais da Regulação dos Serviços de Água e Esgoto no Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: Revista do BNDES. 14: 79-88 p. 2009.

Gonçalves, A. Definição das Restrições aos Pesos em Análises Envoltória de Dados (AED) por Correlação Canônica e Regressão Linear. Tese de Doutorado – COOPE/UFRJ. 2010.

Grigolin, R. Setor de água e saneamento no Brasil: Regulamentação e Eficiência. Fundação Getúlio Vargas - Escola de Administração de Empresas de São Paulo 2007.

ISO 24512:2007. *Service activities relating to drinking water and wastewater: Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services*.

Krivonozhko, V. E.; Forsund, F. R.; Lychev, A.V. *Measurement of returns to scale using non-radial DEA models*. European Journal of Operational Research, v. 232, n. 3, p. 664-670, Feb 2014. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000325598800024 >.

La empresa L'eau à Paris: www.eaudeparis.fr. Acesso em : ago/ 2014.

La empresa Metropolitana Milanese: www.metropolitanamilanese.it. Acesso em: ago/ 2014.

Lapa, J. S. ; Freitas, S. F. T.; Wolff, L. D. G. ; Calvo, M. C. M. Avaliação do desempenho dos programas e serviços assistenciais do Sistema Único de Saúde no Mato Grosso / Relatório : avaliação Clássica da Rede Hospitalar de Mato Grosso. 2000.

Los Angeles Department of Water and Power: www.ladwp.com. Acesso em: ago/2014.

Loures, A. Eficiência Econômica da Agropecuária nos Municípios Mieniros , 1996 a 2006, Medida pela Análise da Fronteira Estocástica (SFA) e pela Análise Envoltória de Dados (DEA). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Administração , Contabilidade e Economia, Porto Alegre, p. 218, 2013.

Lovell, C. K. A. *Production Frontier and Productive Efficiency*. New York: Oxford University Press., 1993.

Madeira, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso, 2010. Revista do BNDES 33, junho 2010. Pags.:123-154.

Malheiros, F. T.; Guimarães, F. E.; Temóteo, T. G. *Benchmarking* aplicado às Revisões Tarifárias do Saneamento. *Benchmarking applied to Tariff Revisions of Water and Wastewater Services*. 2012. Artigo Técnico. Revista DAE. Nº 192.

Malheiros, T. F.; Philippi, J. R. A.; Coutinho, S. M. V. Interfaces dos serviços de água e esgoto. In: GALVÃO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. C. *Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda. ARCE, 2006. p.91-122.

Marinho, M. S. J. Regulação dos serviços de saneamento no Brasil (água e esgoto). 2006. 216 p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais Aplicadas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Meadows, D. *Indicators and information systems for sustainable development*. Sustainability Institute, Hartland Four Corners VT, 1998. 95 p.

Meeusen, W.; Broeck, J. *Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error*. International Economic Review, v. 18, p. 435 - 444, 1977.

Meeusen, W.; Van Den Broeck, J. *Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error*. International Economic Review, v. 18, n. 2, p.435-444, June, 1977.

Mello, J. C. B. S. *et. al.* Curso de análise de Envoltória de Dados. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Gramado, Anais, 2005.

Menezes, A.; Rendeiro, M. F.; Vieira, J. C. Eficiência Técnica dos Hospitais Portugueses 1997-2004: Uma Análise (Regional) com base num Modelo de Fronteira Estocástica. CEEApLA Working Paper nº 8, Açores - PT, Junho 2006.

Molinari, A. Panorama mundial. In: Galvão, J. A. C.; Silva, A. C. *Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda. ARCE, 2006. p. 54-74.

Montebello, A. E. S.; Bacha, C. Impactos da reestruturação do setor de celulose e papel no Brasil sobre o desempenho de suas indústrias. La Referencia - Red

Federada de Repositorios institucionales de Publicaciones científicas, São Paulo, 2013.

Nozaki, V. T. *Análise do Setor de Saneamento Básico no Brasil*. São Paulo. 2007.

Obras Sanitarias del Estado - OSE: www.ose.com.uy. Acesso em: ago/2014.

Ohira, T. *Fronteira de Eficiência em Serviços de Saneamento no Estado de São Paulo*. Piracicaba, São Paulo, Brasil: 2005.

Ontario Clean Water Agency: www.ocwa.com/ Acesso em: ago/2014.

Picazo-Tadeo, A.; Sáez-fernandez, F.; González-Gómez, F. *Does Service Quality Matter in Measuring the performance of Water Utilities?* Espanha: Utilities Policy, 2008.

Pinilla, A. A. *La Medición de la eficiencia y la productividad*. Madrid: Pirámide, 2001.

Podinovski, V. V. *Production Trade-offs and weight restrictions in data envelopment analysis*. Journal of the Operational Research Society. 55: 1311 - 1322 p. 2004.

Rees, R.; Vickers, J. *RPI - X price-cap regulation*. In: BISHOP, M., KAY, J., MAYER, C. (orgs.). *The regulatory challenge*. Oxford University Press, 1995.

Sistemas de Aguas de la Ciudad de México - SACMEX: www.sacmex.df.gob.mx Acesso em: ago/2014.

Santos, E. S.; Alves, P. M. A. Indicadores de desempenho em saneamento - Algumas limitações e alcance. In: XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2000. Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: AIDIS.2000.

Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL: www.sedapal.com.pe. Acesso em: out/2014.

Silva, C. *Análise de Desempenho das Entidades Gestoras Concessionárias dos Serviços de Águas em Portugal Continental*. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Outubro 2011.

Silva, T. L. *Análise da Eficiência do Sistema Bancário Brasileiro - 1994/1999 : Abordagem de Fronteira Estocástica de Custo*. Fortaleza, Brasil: Universidade Federal do Ceará, 2001.

Simar, L.; Wilson, P. W. *Estimation and Inference in Two-Stage, semi-parametric models of production*. Journal of Econometrics. 136: 31 - 64 p. 2007.

Superintendencia de servicios de Saneamento - SISS: www.siss.cl. Acesso em: out/2014.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: www.snis.gov.br Acesso em: out/2014.

Souza, P. C. ; Wilhelm, V. Uma Introdução aos Modelos DEA de Eficiência Técnica. Tuiuti: Ciência e Cultura, n. 42, p. 121-139, Curitiba, 2009.

Spiller, P. T.; Savedoff, W. D. *Agua perdida: compromisos institucionales para el suministro de servicios públicos sanitarios*. Washington: BID, 2000, 276 p.

Superintendencia de Servicios Públicos - SSP: www.superservicios.gov.co/
Acesso em: out/2014.

Steffanello, M. Eficiência Produtiva de Unidades Agropecuárias: Uma Aplicação do Método Não Paramétrico Análise Envoltória de dados (DEA). Organizações Rurais & Agroindustriais, Lavras, v. 11, 2009. ISSN 1.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saniamento - SUNASS: www.sunass.gob.pe . Acesso em: out/2014.

Surco, D. F. Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para avaliação da eficiência técnica baseada em DEA. Curitiba, Brasil: 2004.

Syrjanen, M.; Bogetoft, P.; Agrell, P. *Efficiency benchmarking project B: Analogous efficiency measurement model based on stochastic frontier analysis*. Finlândia: Gaia Group Oy, 2006.

Thames Water: www.thameswater.co.uk. Acesso em: out/2014.

Thompson, R. G. *et al.* Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*, v. 16, p. 35 - 49, December 1 1986.

Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua -URSEA: www.ursea.gub.uy
Acesso em: out/2014.

Von Sperling, T. Estudo da Utilização de Indicadores de Desempenho para Avaliação da Qualidade dos Serviços de Esgotamento Sanitário. Minas Gerais: Escola de Engenharia da UFMG, 2010.

Wang, Y.M.; Luo, Y.; Liang, L. *Ranking Decision Making Units by Imposing a Minimum Weight Restriction in the Data Envelopment Analysis*. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, v. 223, p. 469-484, January 1 2009.

Water Service Regulation Authority: www.ofwat.gov.uk. Acesso em: out/2014.

Werneck, M. Determinantes da Eficiência de Escala na Indústria de Operadores Logísticos no Brasil: Um estudo Longitudinal com Análise Envoltória de Dados (AED). Tese de Mestrado. COPPEAD/UFRJ. 2011.

Wolff *et al.* Análise Econométrica de Fronteira de Eficiência Técnica Aplicada a Hospitais Integrantes do Sistema Único de Saúde no Estado de Mato Grosso. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - XXXIV SBPO, 2002.

Woodbury, K.; Dollery, B. *Efficiency measurement in Australian Local Government: The Case of NSW Minicipal Water Services*. Australian: Review of Policy Research, 2004.

Zimmermann , D. O Uso de Indicadores de Desempenho para Planejamento e Regulação dos Serviços de Abastecimento de Água: SAA CAPINZAL/OURO. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Zouric, J. *Cost efficiency and regulation of Slovenian water distribution utilities: An application of stochastic frontier methods*. Tese Doutorado, Universidade de Lugano, Suíça, 2006.

Anexo I: Resultado Regressão *TOBIT*

A seleção do melhor modelo de regressão *TOBIT*, foi tomada com base nos critérios da significância das variáveis explicativas, na coerência dos sinais esperados dos coeficientes estimados e no critério de seleção de Akaike (AIC), entre os demais modelos estimados. O quadro abaixo apresenta o modelo selecionado.

Método: Censored Normal (TOBIT)		
Variável Dependente : Eficiência Média		
Variáveis Explicativas	Coeficiente	p-valor
Constante	6.53E-01	0.000
Precipitação	1.29E-05	0.012
Dispersão	-6.59E-03	0.012
Salário	-2.69E-04	0.002
Schwarz criterion: -1.0959	Akaike info criterion: -1.2618	
Teste de Robustez : QML (Huber/White) standard errors & covariance		
Teste de Jarque Bera: 0.635 (p-valor)		

Fonte: Elaboração Própria

Anexo II: Análise Gráfica dos Indicadores de Desempenho

Indicadores de Produtividade por Empregado Próprio

Os seguintes gráficos mostram a comparação dos indicadores verificados pela SANEPAR e as demais empresas da amostra, para o ano de 2012.

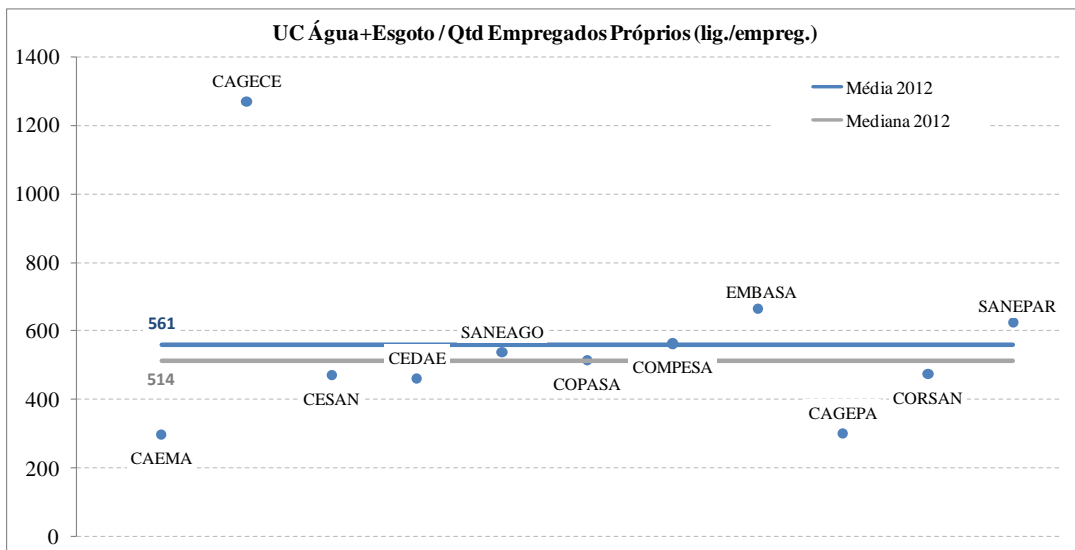


Gráfico 9.1: Unidade Consumidora de Água e Esgoto por Quantidade de Empregados Próprios

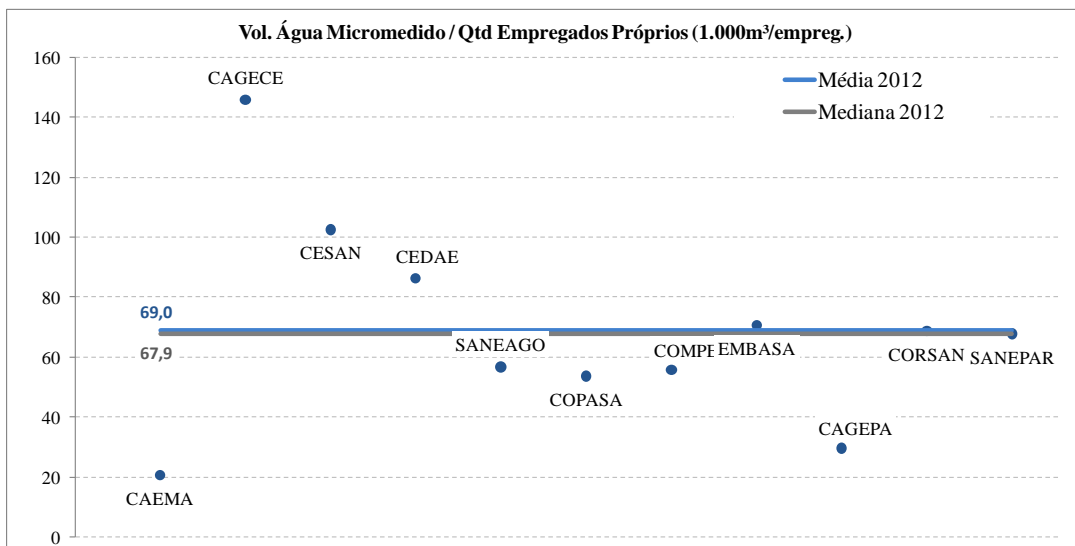


Gráfico 9.2: Volume de. Água Micromedido por Quantidade de Empregados Próprios

Indicadores de Custos Médios

Os seguintes gráficos mostram a comparação dos indicadores verificados pela SANEPAR e as demais empresas da amostra, para o ano de 2012.

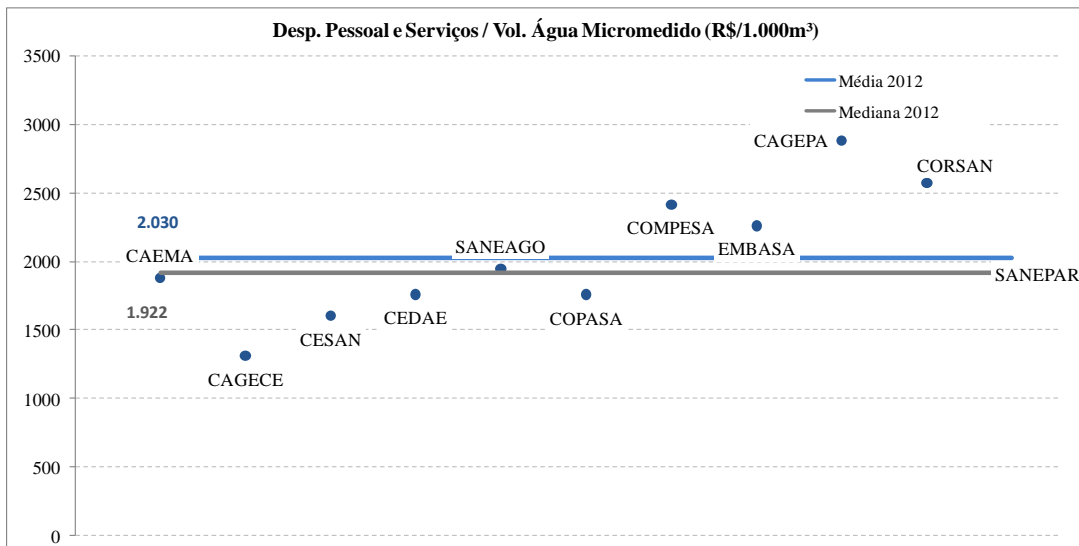


Gráfico 9.3: Despesa com Pessoal e Serviços por Volume de Água Micromedido

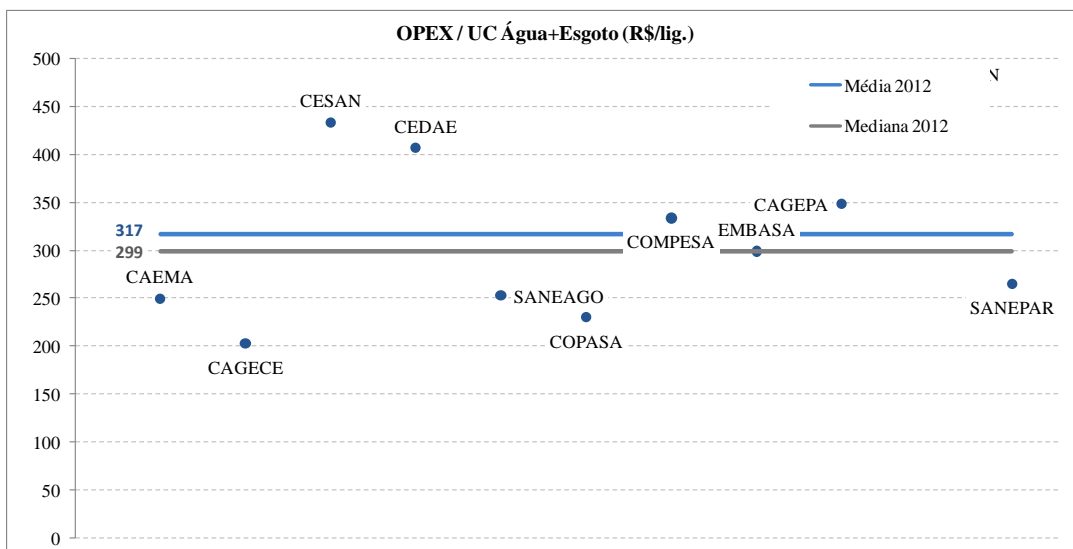


Gráfico 9.4: OPEX por Unidade Consumidora de Água e Esgoto

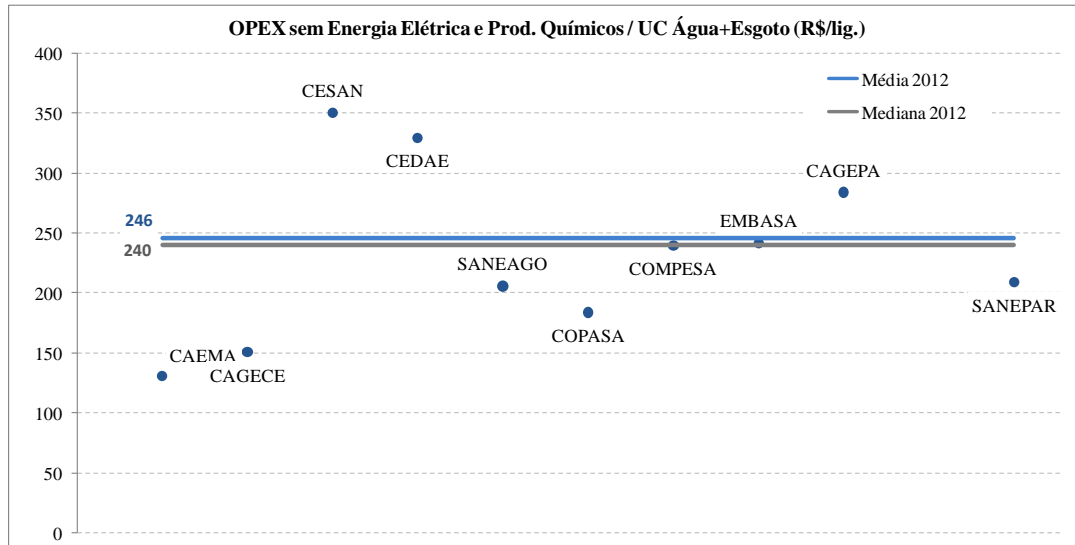


Gráfico 9.5: OPEX sem Energia e Químicos por Unidade Consumidora de Água e Esgoto

Indicadores de Produtividade por Total de Empregados

Os seguintes gráficos mostram a comparação dos indicadores verificados pela SANEPAR e as demais empresas da amostra, para o ano de 2012.

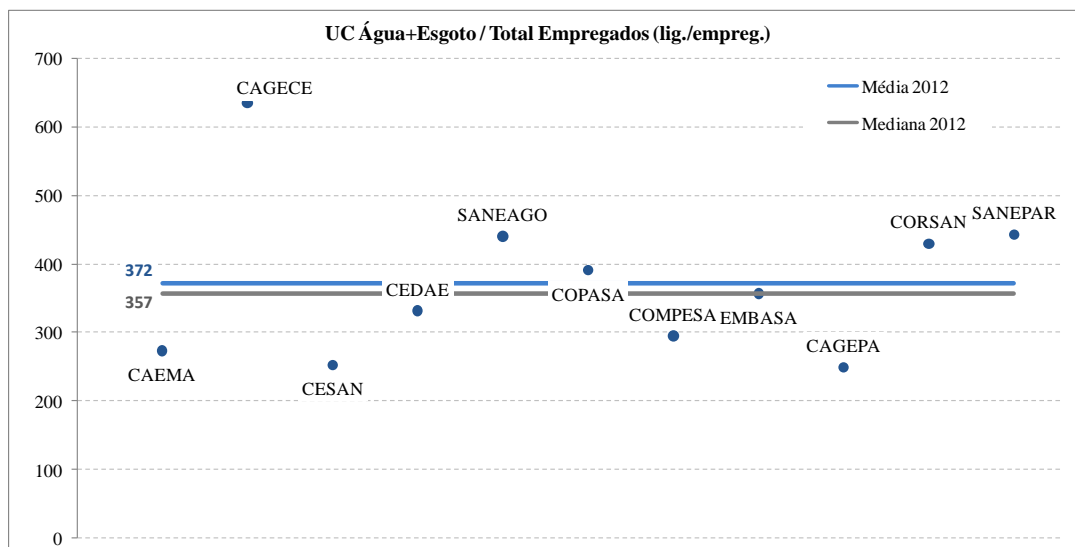


Gráfico 9.6: Unidade Consumidora de Água e Esgoto por Total de Empregados

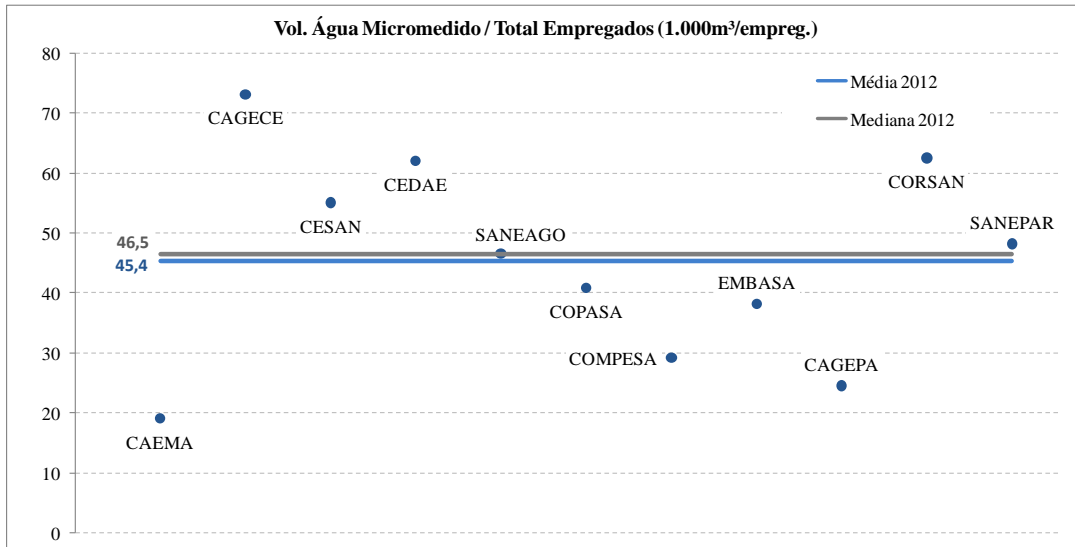


Gráfico 9.7: Volume de Água Micromedido por Total de Empregados

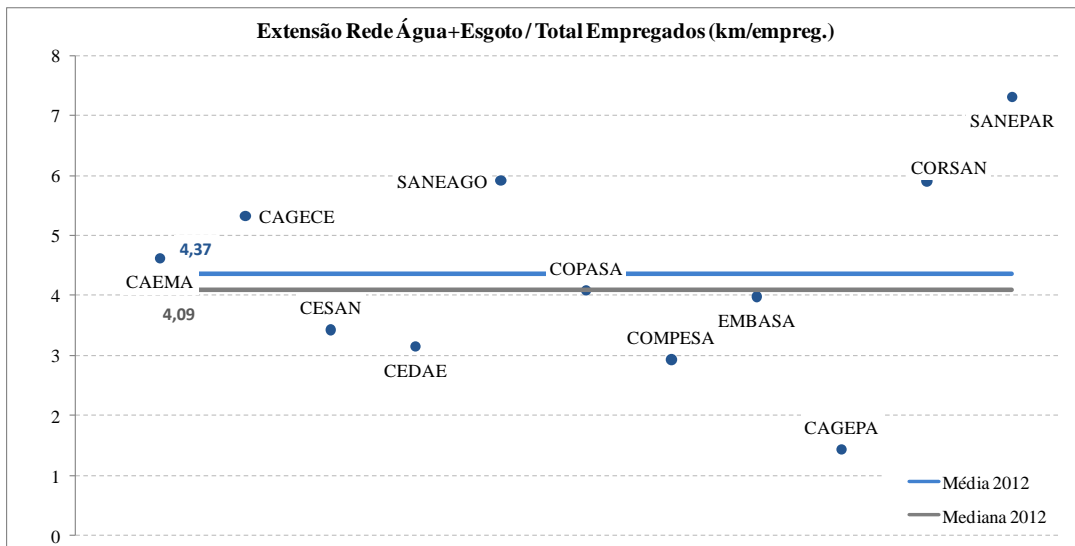


Gráfico 9.8: Extensão de Rede de Água e Esgoto por Total de Empregados

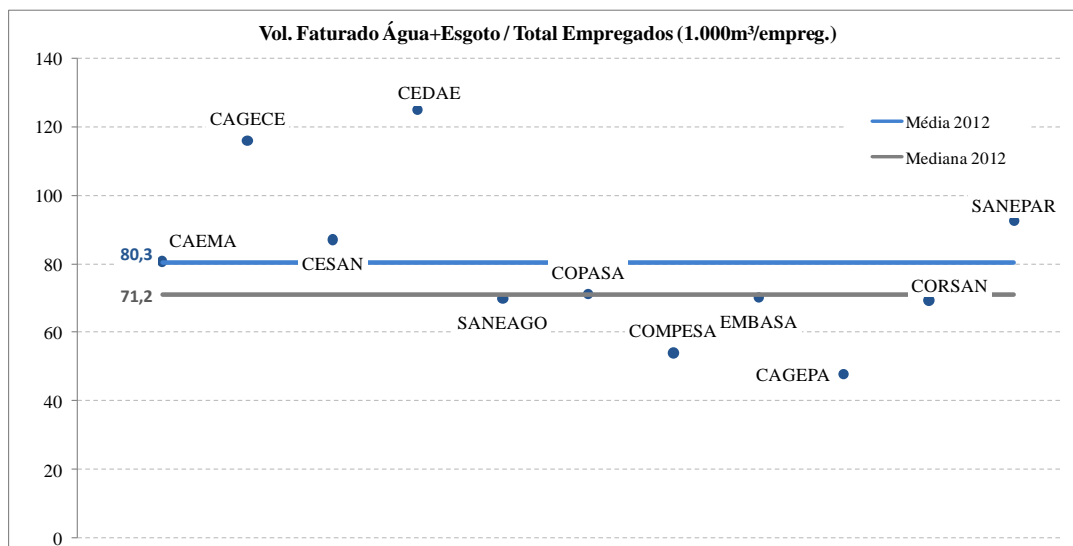


Gráfico 9.9: Volume Faturado de Água e Esgoto por Total de Empregados

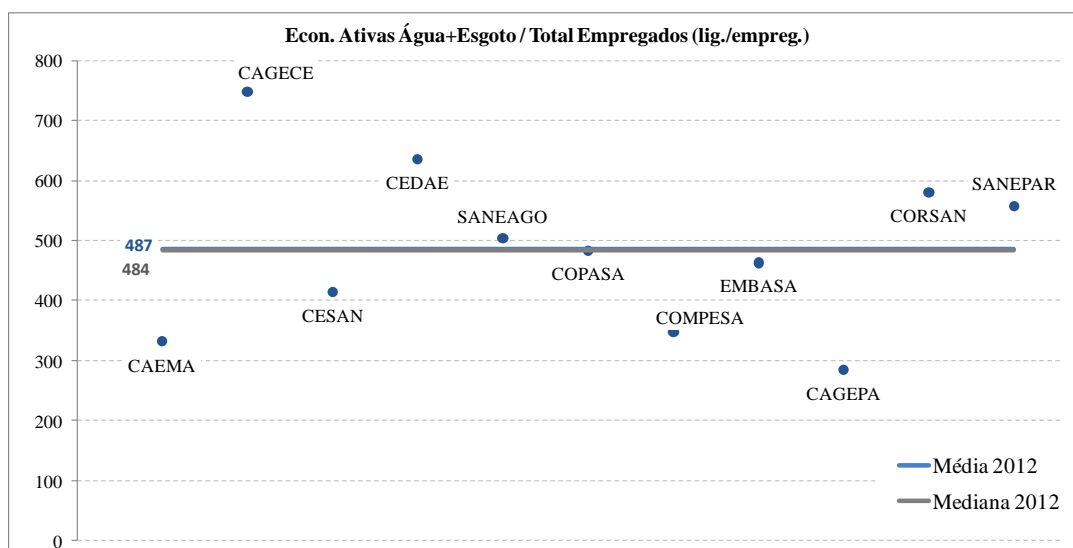


Gráfico 9.10: Economias ativas de Água e Esgoto por Total de Empregados.

Indicadores de Custos Médios Ajustados

Os seguintes gráficos mostram a comparação dos indicadores verificados pela SANEPAR e as demais empresas da amostra, para o ano de 2012.

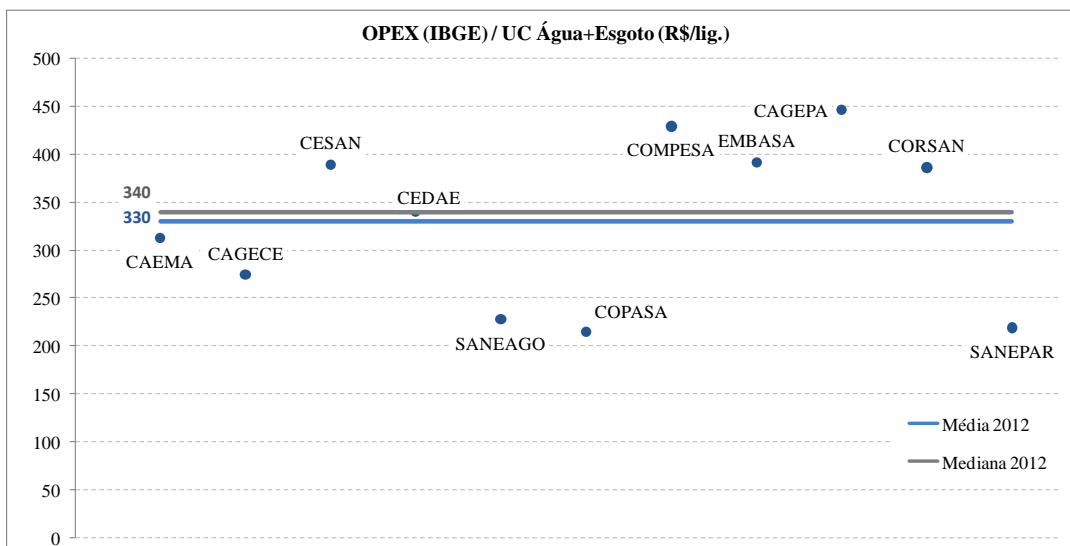


Gráfico 9.11: OPEX(IBGE) por Unidade Consumidora de Água e Esgoto

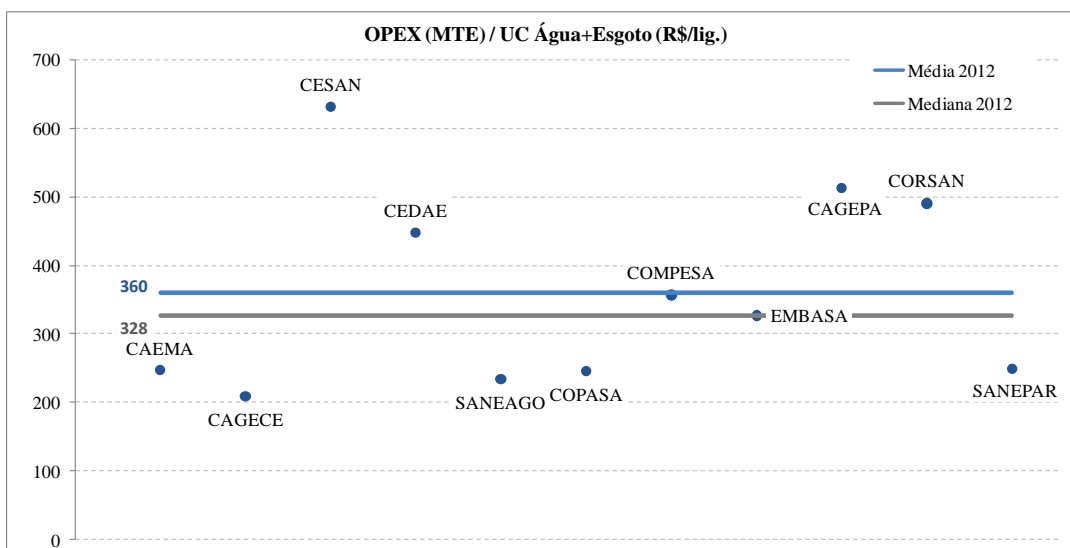


Gráfico 9.12: OPEX (MTE) por Unidade Consumidora de Água e Esgoto

Indicadores de Perdas

Os seguintes gráficos mostram a comparação dos indicadores verificados pela SANEPAR e as demais empresas da amostra, para o ano de 2012.

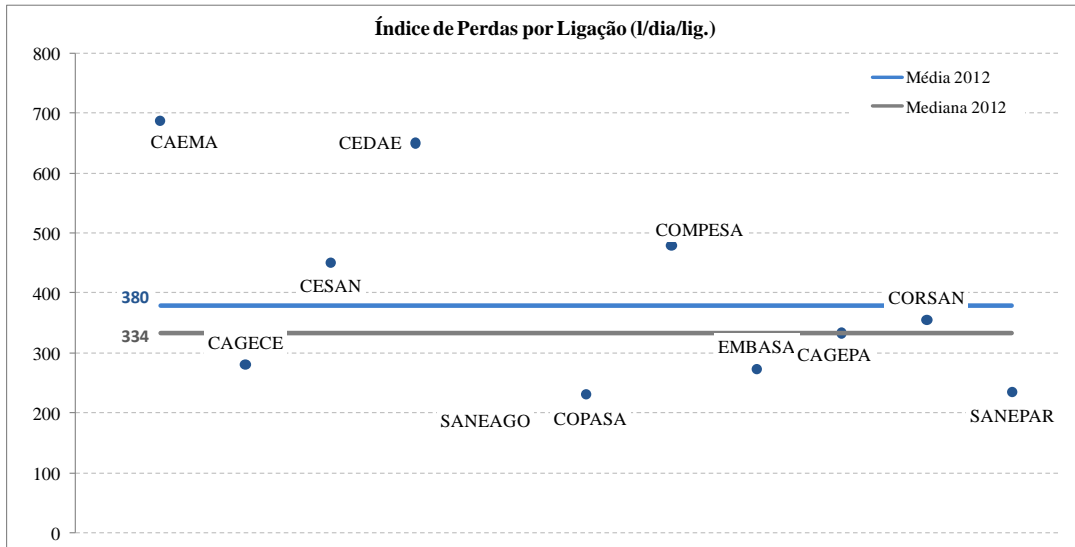


Gráfico 9.13: Índice de Perdas por Ligação de Água

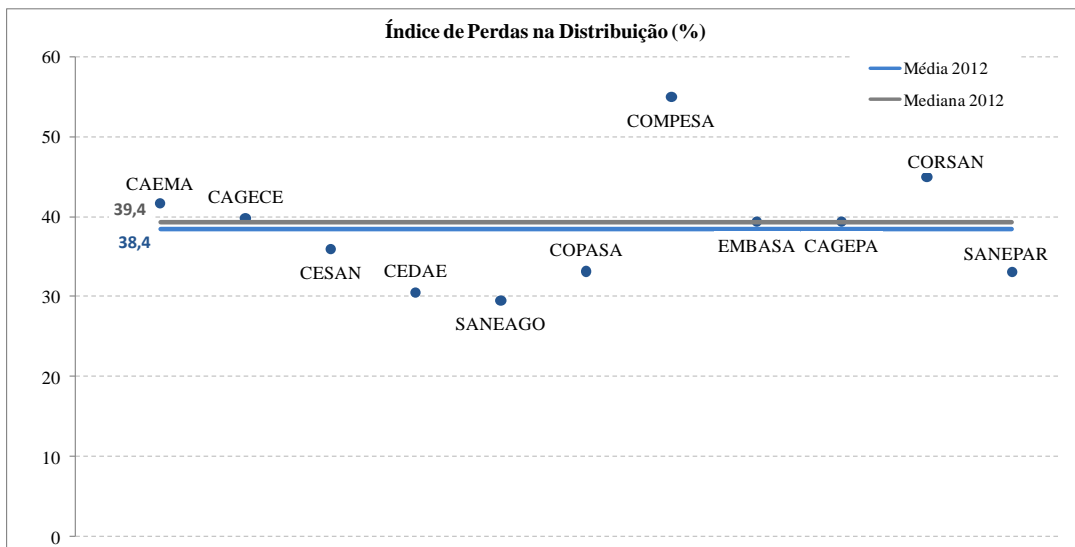


Gráfico 9.14: Índice de Perdas na Distribuição de Água

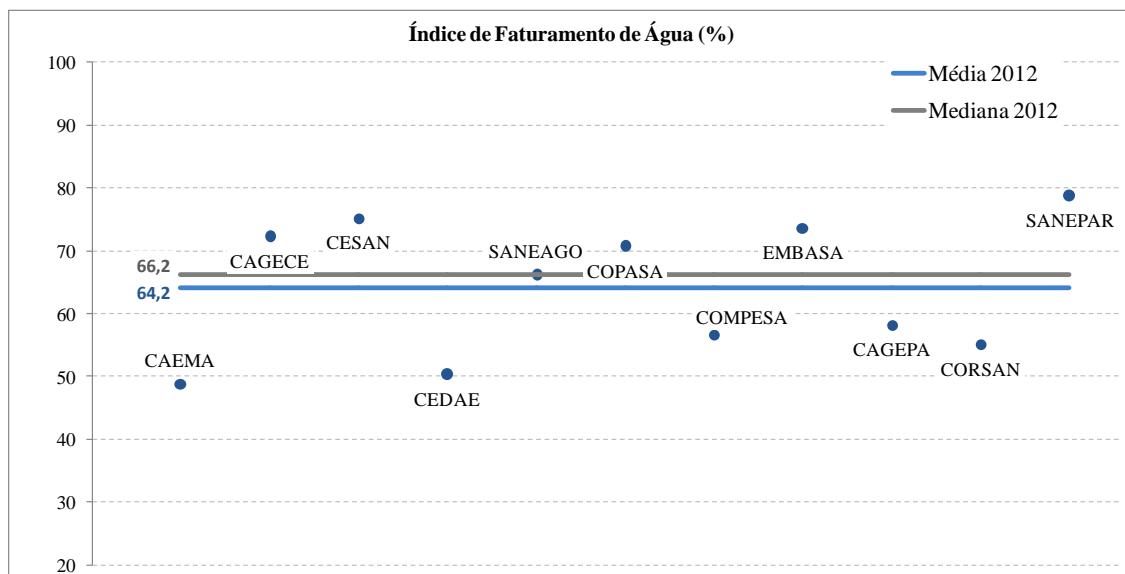


Gráfico 9.15: Índice de Faturamento de Água

10

Anexo III: Síntese de alguns trabalhos que avaliaram o nível de eficiência de diversos setores

Autores	Motivação	Países	Amostra	Técnica Utilizada	Principais resultados
Woodbury e Dollery (2004)	Incorporar medidas de eficiência dos serviços locais	Austrália	73	DEA	O ajuste do produto multiplicando por um índice de quantidade agregado do serviço faz com que as diferenças de eficiência sejam menores.
Munisamy (2009)	Testar se os distintos tipos de propriedade das empresas (pública ou privada) têm efeitos sobre a eficiência	Malásia	17	DEA	As entidades privadas superam em eficiência técnica as públicas. A ineficiência no setor privado é devida a problemas de escala. Os resultados não são conclusivos já que há entidades públicas eficientes.
Mugisha (2006)	Incorporar medidas de <i>benchmarking</i> e enfoques de monitoramento de desempenho	Uganda	8 e 14	SFA	Demonstram que organizações públicas podem ter boas performances de eficiência se bem gerenciadas. Encontraram a necessidade de implementar um bom gerenciamento para derivar o valor ótimo de inversões na infraestrutura.
Revollo Fernández e Londoño (2008)	Estudar as economias de escala e de escopo para distribuir os benefícios das melhoras de eficiência entre os consumidores	Colômbia	77	SFA	Implementar funções de Custo Variáveis com uma forma funcional translogaritmica para proporcionar evidências de economias de escala.
Berg e Lin (2008)	Demonstrar os benefícios de utilizar as metodologias alternativas para realizar comparações de desempenho	Peru	44	DEA e SFA	O DEA não requer especificação de forma funcional e também serve para avaliar retornos em escala, mas o resultado é sensível às variáveis selecionadas. O SFA leva em conta os efeitos de estoques aleatórios. Sempre necessita utilizar alguma prova de consistência dos métodos.

Autores	Motivação	Países	Amostra	Técnica Utilizada	Principais resultados
Botasso e Conti (2003)	Fornecer uma leitura geral das ineficiências nos custos das indústrias em setores de água e saneamento.	Inglaterra / Gales	177	SFA	Ao aplicar fronteiras estocásticas, permite controlar tanto pela heterocedasticidade e por possíveis efeitos de variáveis exógenas de ineficiências da firma.
Coelli e Walding (2006)	Realizar uma análise sobre a performance da industria de água urbana na Austrália	Austrália	18	DEA	O método DEA tem vantagens na estimação de medidas de produtividade parcial, já que realiza ajustes por escala de operação, tamanho médio por cliente e densidade.
Dijgraaf, Van Der Geest e Varkevisser (2006)	Mostrar que a introdução de <i>yardstick competition</i> no setor de águas Holandes incrementou significativamente a eficiência.	Holanda	17	SFA	Para estimar o modelo estocástico se utiliza MQOC. A inclusão das variáveis exógenas não tem influência sobre os resultados. O sistema voluntário de <i>benchmark</i> introduzido melhorou significativamente a eficiência.
Horn e Saito (2011)	Estimar a eficiência dos custos e as economias de escala do setor de águas Japonês.	Japão	831	SFA	Após estimar o tamanho ótimo da população atendida para minimizar os custos, as empresas menores tiveram maior densidade de produto e maiores economias de escala que as empresas maiores.
Estache e Rossi (2002)	Estimar as fronteiras de custos estocásticos para a região	Ásia	50	SFA	Não se rejeita a forma funcional Cobb-Douglas. O modelo que mais se ajusta é o de MQO. Não se encontram evidências de que as empresas privadas sejam mais eficientes.
Filippini, Hrovatin e Zoric (2008)	Estimar as ineficiências dos custos operacionais e as economias de escala das empresas de água Eslovenas	Eslovênia	52	SFA	Os resultados de ineficiência não parecem ser robustos devido a problemas de heterogeneidade. O método convencional de Efeitos Aleatórios superestima a ineficiência em custos. O modelo de Efeitos Fixos parece distinguir entre a heterogeneidade não observada e a ineficiência, mas subestima a ineficiência. Nos resultados de escala, a empresa média se encontra na escala ótima, enquanto as grandes operam com deseconomias de escala.

Autores	Motivação	Países	Amostra	Técnica Utilizada	Principais resultados
Gupta, Kumar e Sarangi (2006)	Avaliar a eficiência do serviço de água em 27 cidades selecionadas da Índia	Índia	27	DEA	Se encontra uma relação inversa entre custo <i>per capita</i> e eficiência técnica. A maior parte das empresas opera com rendimentos decrescentes a escala. As empresas paraestatais operam mais eficientemente que as públicas.
Zschille e Walter (2011)	Identificar as diferenças estruturais, ineficiências e determinar se as diferenças de preços entre empresas são justificadas.	Alemanha	373	DEA e SFA	Para evitar distorções, foram eliminadas os <i>outliers</i> . Ao utilizar rendimentos variáveis a escala no DEA se mitigaram as ineficiências que não se dão devido à escala. Os resultados de DEA e SFA não são comparáveis, possivelmente há um erro estatístico e um erro de medição no SFA.
Feigenbaum e Teeple (1983)	Estimar se existem diferenças entre o serviço de empresas públicas e privadas de água.	EUA	319	SFA	A função de custos hedônicos mostra significativas economias de escala, enquanto a função de custos não hedônicos, não. A função de produção Cobb Douglas é apropriada para a forma hedônica de custos, enquanto não é para a forma não hedônica. Não se encontram diferenças significativas entre a eficiência nas empresas públicas e privadas.
Estache e Rossi (1999)	Comparar distintas metodologias de análise de eficiência.	Ásia	50	SFA	As metodologias que utilizam fronteiras estocásticas são mais robustas que as de produtividade parcial para classificar. Deve-se obedecer determinadas condições de consistência (desvios padrão similares para os distintos métodos, <i>rankings</i> similares, mesmas firmas como melhores e piores). Observa que as firmas privadas são mais eficientes.
Erbetta e Cave (2007)	Avaliar o impacto da regulação por incentivos da OFWAT em 1999	Inglaterra / Gales	10	DEA e SFA	Utilizando o método de DEA em duas partes, leva-se em conta os efeitos ambientais, como o ruído estatístico, contrariando os maiores inconvenientes do modelo e permitindo construir uma medida de eficiência baseada em insumos. A regulação de <i>price-cap</i> reduziu a tarifa real pela primeira vez.
Estache e Rossi (2002)	Averiguar desempenho das entidades públicas	Ásia e Pacífico	50	OLS, COLS e SFA	Não é significativa a diferença entre o desempenho das entidades públicas e das entidades privadas.

Fonte: Adaptado da Nota Técnica 2º Ciclo Tarifário da Sabesp, 2013, Silva, 2011 e Correia, 2008.