**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil: uma
abordagem por fronteira estocástica de custos**

André Felipe Danelon

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2020**

André Felipe Danelon
Bacharel em Ciências Econômicas

**Eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil: uma abordagem por
fronteira estocástica de custos**

Orientador:

Prof. Dr. **HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Danelon, André Felipe

Eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil: uma abordagem por fronteira estocástica de custos / André Felipe Danelon. - - Piracicaba, 2020.

121 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Saneamento 2. Clima 3. Custos 4. Eficiência

DEDICATÓRIA

Dedico essa tese à Maria Sirlei Bellotti Danelon, minha mãe. Todo o carinho, incentivo e compreensão incondicionais dedicados a mim e seus filhos continuarão vivos e marcantes em minha memória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Pedro Luiz Danelon, pelo constante incentivo e apoio para que eu alcançasse meus objetivos pessoais e profissionais. Aos meus irmãos Kelly, Daniel e Lays e, também, à minha sobrinha Anik, pelas diferentes formas que me ensinaram a reconhecer o verdadeiro significado de força de vontade e determinação para superar adversidades, se adaptar e lutar pelos seus objetivos.

Dedico um agradecimento a todos meus familiares, especialmente aos meus avós, por todas as lições de simplicidade, apoio e carinho, sejam em memória ou as que ainda recebo.

Agradeço também à Fernanda Gaudio, por toda companhia, apoio, compreensão e empolgação que me ajudaram a superar diversos desafios ao longo dos anos. Deixo aqui um agradecimento especial para Sílvia e Wagmar pelo apoio e incentivo para que eu e Fernanda nos dedicássemos aos nossos planos acadêmicos e profissionais.

Sou muito grato ao professor Humberto pelo apoio e determinação em realizar bons trabalhos comigo e promover de forma consistente meu aprimoramento profissional. É um grande exemplo de profissional, desde a forma como conduz suas aulas, suas pesquisas, até como lida com as dúvidas mais simples de seus alunos.

E, naturalmente, agradeço também a todos os meus amigos, tanto os de longa data como as novas amizades que tive o prazer de criar no PPGEA. Agradeço também aos funcionários do PPGEA, que sempre estiveram dispostos a atender minhas demandas e contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão inicial da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Objetivos.....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1. Revisão histórica institucional dos recursos hídricos e saneamento no Brasil.....	17
2.2. Tratamento de água e esgoto, qualidade das águas e efeitos climáticos	21
2.3. Estimativas de eficiência e produtividade na literatura	23
3. METODOLOGIA.....	29
3.1. Fronteira de custo mínimo	29
3.2. Fronteira estocástica de custos para dados em painel.....	30
3.3. Especificações da função custo	33
3.4. Funções custo mínimo com tecnologia flexível	34
3.5. Modelo empírico	36
3.6. Seleção e análise das bases de dados.....	37
3.6.1. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento	38
3.6.2. Indicadores climáticos	45
3.6.3. População residente nos municípios.....	52
3.6.4. Dados selecionados para a análise empírica.....	54
3.7. Regionalização dos resultados.....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1. Estimativas e seleção do modelo para fronteira de custo	57
4.2. Ganhos de escala, ganhos de escopo e mudança tecnológica	59
4.3. Estimativa da eficiência técnica e seus determinantes	61
4.4. Análises de eficiência	62
4.5. Efeitos demográficos	68
4.6. Efeitos climáticos	69
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	77
ANEXOS	85

RESUMO

Eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil: Uma abordagem por fronteira estocástica de custos

Além gerar investimentos, emprego e renda, o saneamento básico contribui para a elevação do estoque de capital humano e, portanto, para o desenvolvimento socioeconômico. Apesar disso, a cobertura desses serviços ainda é insatisfatória nos municípios brasileiros. Os esforços para universalizar a cobertura do serviço sanitário empregados pelo PLANASA, bem como a liberalização do setor não foram suficientes para atender a uma parcela significativa da população. Em 2020, a Lei 14.026 estabeleceu que a Agência Nacional das Águas será reguladora dos serviços de tratamento de água e esgoto; a existência de uma agência reguladora é uma oportunidade para a avaliação comparada entre as empresas a partir de análises de *benchmarking*, com o objetivo de mitigar as assimetrias de informação presentes em ambientes regulados. Além disso, o tratamento de água e esgoto é sensível a mudanças climáticas e, somados a limitações institucionais, elevam os desafios de universalizar a prestação desse serviço. Assim, o objetivo desta pesquisa foi estimar a eficiência técnica das unidades de tratamento de água e esgoto do Brasil para o período 1995-2016, por meio de métodos de fronteira estocástica de custo mínimo, os quais contribuem para a elaboração de ferramentas para análise comparativa, além de identificar determinantes institucionais e ambientais associados ao tratamento de água e esgoto. Os resultados indicam a vulnerabilidade do saneamento básico frente as variações de precipitação e temperatura, bem como um nível de eficiência técnica de 84,7% em média. Ademais, as estimativas da produtividade total dos fatores são de -1,13% a.a. em média, indicando, sob as circunstâncias atuais, a não sustentabilidade do setor no longo prazo.

Palavras-chave: Saneamento, Clima, Custos, Eficiência

ABSTRACT

Economic efficiency of water and sewer treatment in Brazil: A stochastic cost frontier approach

The sanitation services supply generates investments, employment, income, contributes to increasing human capital stock and, therefore, to the socio-economic development. However, basic sanitation coverage is still unsatisfactory in Brazilian municipalities. The efforts employed by PLANASA, as well as its liberalization, were not enough to provide sanitation services universally distributed. In 2020, Law 14.026 established that the National Water Agency is the regulator of water and sewage treatment services. The existence of a regulatory agency is an opportunity for analyses aiming to mitigate the asymmetries of information present in regulated environments. Also, water and sewage treatment are sensitive to climate change and the quality of water sources, which, combined with institutional weaknesses, raise the challenges to universalize the provision of this service. Thus, the objective of this research is to estimate the technical efficiency of the water and sewage treatment units in Brazil at the municipality level for the period 1995-2016, through minimum costs stochastic frontier methods. The results must contribute to the elaboration of the comparative analysis framework and also identify the institutional and environmental determinants of each firm's performance. The results indicate the vulnerability of basic sanitation to precipitation and temperature variations, as well as the technical efficiency of 84.7% on average. Finally, total factor productivity growth estimates are -1.13% per year on average, indicating the non-sustainability of the sector in the long run.

Keywords: Sanitation, Climate, Costs, Efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação da renda per capita, cobertura de saneamento, em 2017, para países selecionados.	20
Figura 2: Distribuição temporal da amostra.....	39
Figura 3: Distribuição espacial da amostra por município sede das empresas de saneamento básico no Brasil entre 1995 e 2017.	40
Figura 4: Exemplo ilustrativo de cálculo de uma função distância para duas variáveis.....	44
Figura 5: Histograma da parcela de água tratada por simples desinfecção	45
Figura 6: Precipitação média diária (mm) nos municípios brasileiros entre os anos de 1980 e 2017.....	46
Figura 7: Temperatura média diária (°C) nos municípios brasileiros entre os anos de 1980 e 2017.....	47
Figura 8: Tendência de variação da temperatura entre os anos 1980 e 2016.....	51
Figura 9: Evolução da temperatura (A, B) e precipitação (C, D) entre 1980 e 2016 para os municípios brasileiros. Valores em médias móveis de 5 anos.	52
Figura 10: População média por município entre 2001 e 2019.	53
Figura 11: Histograma da população residente média dos municípios brasileiros entre 2001 e 2019. Valores por habitante, em ln.	54
Figura 12: Regiões hidrográficas do Brasil de acordo com a Agência Nacional das Águas... 56	
Figura 14: Ganhos de escala de acordo com o tipo de serviço prestado e abrangência.....	60
Figura 14: OTE estimada para as empresas de saneamento	63
Figura 15: Evolução quadrienal da OTE de acordo com o nível de abrangência das empresas de saneamento.	63
Figura 16: <i>Box-plot</i> dos valores de OTE para as unidades federativas.....	66
Figura 17: <i>Box-plot</i> dos valores de OTE para as bacias hidrográficas.	66
Figura 18: Distribuição espacial da OTE média por microrregião.	67
Figura 19: <i>Box-Plot</i> da OTE estimada de acordo com a natureza jurídica das empresas.....	68
Figura 20: <i>Box-Plot</i> dos efeitos climáticos estimados.	70
Figura 21: <i>Box-plot</i> dos valores de efeitos climáticos para as unidades federativas.	71
Figura 22: <i>Box-plot</i> dos valores de efeitos climáticos para as bacias hidrográficas.	71
Figura 23: Distribuição espacial do efeito climático médio por microrregião.	72
Figura 24: Distribuição espacial da participação de água tratada no <i>mix</i> de produção.	73
Figura 25: Projeção do custo climático médio por empresa	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Revisão dos resultados de eficiência e produtividade para trabalhos selecionados.	24
Tabela 2: Informações selecionadas no SNIS para elaboração do modelo empírico.....	41
Tabela 3: Correlação entre as variáveis climáticas.....	48
Tabela 4: Estimativa da taxa de crescimento da temperatura média entre 1980 e 2016.	50
Tabela 5: Estatística descritiva das variáveis da base de dados utilizadas no modelo empírico.	55
Tabela 6: Resultados da estimativa da função custo mínimo.....	57
Tabela 7: Estimativas dos coeficientes para os níveis de eficiência persistente e transitória. .	61
Tabela 8: Exemplo de <i>benchmarking</i> para empresas selecionadas no estado de São Paulo....	64
Tabela 9: Exemplo de <i>benchmarking</i> ponderado pela parcela da população atendida pelos serviços de saneamento para empresas selecionadas no estado de São Paulo.....	65
Tabela 10: Classificação das regiões hidrográficas e grupos de meta-fronteira.....	87
Tabela 11: Eficiência média para as empresas amostradas na pesquisa.....	101

1. INTRODUÇÃO

O setor de saneamento básico é fundamental para o crescimento da produtividade da economia brasileira. Além de gerar investimentos, emprego e renda, os produtos desse setor contribuem para a elevação do estoque de capital humano, por meio de efeitos diretos e indiretos associados à saúde (WEIL, 2007), e, portanto, para o desenvolvimento socioeconômico. Apesar disso, a cobertura de saneamento básico ainda é insatisfatória nos municípios brasileiros. A partir de dados referentes a 2017, estima-se que, embora 83,5% dos domicílios possuísem acesso a serviços de abastecimento de água, apenas 46% do esgoto gerado era tratado (SNIS, 2019). Hespanhol (2006) já destacava a cobertura de saneamento no Brasil era baixa mesmo em relação aos países da América Latina, com índices de cobertura nas áreas rurais inferiores aos obtidos, por exemplo, por Peru e Haiti¹. Os determinantes para o nível de cobertura dos serviços de saneamento básico são complexos e compreendê-los é essencial para fomentar o desenvolvimento econômico. Nesse sentido, estudar o caso brasileiro em detalhes promove evidências científicas importantes que contribuem para a elaboração de soluções não apenas em nível local, mas também para outros países em desenvolvimento.

Soares, Cordeiro Netto e Bernardes (2003) mencionaram que a criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) em 1971 proporcionou o aumento da oferta de saneamento básico nos domicílios brasileiros a partir do forte investimento estatal, sendo que o abastecimento de água e tratamento de esgoto em áreas urbanas passaram, respectivamente, de 51% para 77% e de 26% para 31% durante a década de 1970. Contudo, o modelo proposto pelo PLANASA se exauriu durante a crise econômica dos anos 1980 e foi extinto em 1986. A promulgação da Lei Nº 8.987, em 1995, autorizou a participação da iniciativa privada na prestação de serviços públicos. Contudo, os conflitos entre jurisdições municipais e estaduais na provisão dos serviços de saneamento, combinados com contratos tradicionais de taxas de retorno sobre o ativo investido, não promoveram um ambiente favorável para a prestação de serviços eficiente (TUPPER; RESENDE, 2004; SOUZA; FARIA; MOREIRA, 2007). Saiani e Azevedo (2018) argumentaram que a privatização não leva, necessariamente, à redução da qualidade dos serviços prestados na busca por aumento da eficiência.

A promulgação da Lei nº 11.445, em 2007, definiu regras e diretrizes que trouxeram perspectivas de um marco regulatório para o setor de saneamento básico no Brasil (SCRIPTORE; TONETO JÚNIOR, 2012), embora sua implementação apresentasse enormes

¹ Ver Hespanhol (2006), p.321.

desafios políticos e econômicos (GALVÃO JUNIOR; TUROLLA; PAGANINI, 2008). Mesmo assim, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), promulgado em 2013, tem como meta atender 99% dos domicílios brasileiros com água tratada e 92% com esgoto tratado até 2033 (BRASIL; 2013). Após a entrada em vigor da medida provisória MP 868 em 2018, a Agência Nacional das Águas (ANA) se tornou a agência reguladora da prestação de serviços de água e esgoto realizada por municípios, estados e iniciativa privada, embora ainda não desempenhe esse papel institucional. Em 2020, a Lei Nº 14026 atualizou o marco regulatório de 2000 e consolidou o papel da ANA como agente regulador dos serviços sanitários.

A existência de uma agência reguladora é uma oportunidade para a avaliação comparada entre as empresas do setor para estimular a competitividade e o progresso técnico. Nesse sentido, o marco regulatório de 2020 permite implementar uma *Yardstick Competition*² a partir de benchmarkings, conforme proposto inicialmente por Shleifer (1987), e discutido por Tupper e Resende (2004) especificamente para esse setor no Brasil. Tupper e Resende (2004) analisaram que a comparação dos níveis de eficiência para indução do progresso técnico foi sugerida por diversos autores (Sawkins, 1995; Powell; Szmanski, 1997; Corton, 2003) com o objetivo de mitigar as assimetrias de informação presentes em ambientes regulados (Laffont, Tirole, 2000). Os autores destacaram que o aumento da eficiência técnica induzida pela *Yardstick Competition* é factível para o setor de água e esgoto, por este ser composto de mercados regionalmente isolados, preços regulados e lenta inovação tecnológica

Diversos trabalhos estimaram *benchmarkings* para o setor de saneamento em vários países, tendo como principais métodos utilizados o *DEA (Data Envelopment Analysis)*³ e *SFA*⁴ (*Stochastic Frontier Analysis*). Walter *et al.* (2009) e Worthington (2014) apresentaram uma meta-análise sobre métodos de *benchmarking* para propósitos regulatórios no tratamento de água e esgoto. Os autores destacaram que os principais itens determinantes de eficiência nesse setor são economias de escopo e densidade, enquanto o tipo de propriedade (público ou privada) e ganhos de escala devem ser analisados em cada contexto institucional.

Além das características institucionais, as mudanças climáticas também estão relacionadas aos níveis de eficiência no tratamento de água e esgoto. Zouboulis e Tolkou (2015) destacaram os potenciais efeitos climáticos como secas, enchentes, elevação do nível do mar,

² A *Yardstick Competition* é empregada para simular o funcionamento de um mercado competitivo em setores regulados. No Brasil, esses modelos são aplicados no setor de energia elétrica pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ver Anexo ANEEL (2006).

³ Análise Envoltória dos Dados.

⁴ Análise de Fronteira Estocástica.

entre outros, e suas consequências para o tratamento sanitário. Price *et al.* (2017) estimaram a eficiência técnica para 944 empresas canadenses e identificaram que a qualidade da água, medida como turbidez, reduz a eficiência e eleva os custos de produção. Abbott, Cohen e Wang (2012), ao estudar os ganhos de produtividade nas empresas de saneamento na Austrália, afirmaram que o desempenho produtivo é afetado por variáveis exógenas, e citaram as mudanças climáticas nas últimas décadas e seus efeitos para o balanço hídrico na região.

As simulações conduzidas por Tiezzi *et al.* (2019) sugeriram que as mudanças climáticas podem levar a mudanças no balanço hidrológico, tornando os eventos de enchentes na região sul/sudeste do Brasil mais frequentes, o que levaria também a deterioração da qualidade das águas dos mananciais. Souza Júnior *et al.* (2016) argumentaram que as mudanças climáticas elevam a incerteza sobre as condições meteorológicas e exigem ação conjunta dos agentes econômicos para desenvolver políticas capazes de mitigar seus efeitos adversos. Contudo, Barbosa, Alam e Mushtaq (2016) discutiram sobre a dificuldade de convergência na decisão de diferentes agentes econômicos para gestão das águas no estado de São Paulo. Segundo os autores, os agentes apresentam diferentes níveis de envolvimento com políticas de recursos hídricos; razão pela qual sugerem mudanças institucionais para elevar os níveis de investimento.

No Brasil, Souza, Faria e Moreira (2007) estimaram uma fronteira estocástica utilizando uma função de custos *translog* com dados de 279 empresas de tratamento de água que operavam em 2002. Os resultados indicaram que não há diferenças significativas entre o nível de eficiência obtido por empresas públicas e privadas. Romano e Guerrini (2011) utilizaram o método *DEA* para obter o nível de eficiência para 43 empresas italianas que operavam em 2007, e não encontraram evidências de que as empresas com diferentes escalas, localização geográfica e natureza jurídica (público ou privada) apresentassem níveis diferentes de eficiência. Massaruto e Ermano (2013) argumentaram que a ausência ou regras mal definidas para a regulação foi determinante para a limitação do aumento da eficiência do setor sanitário italiano, e que essa característica institucional é mais importante que a natureza jurídica das empresas.

A regulação de empresas e a implementação de *Yardstick Competition* exigem a elaboração de metodologias capazes de comparar as empresas de maneira apropriada, isto é, que possam controlar os níveis de heterogeneidade latente entre as empresas. Cabrera *et al.* (2018) apresentaram resultados indicando que os *rankings* obtidos a partir de modelos *DEA* podem divergir com o uso de diferentes bases de dados; Molinos-Senante e Maziotis (2019) identificaram divergências também entre os resultados obtidos a partir de modelos *DEA* e *SFA*, indicando que a escolha do método também é determinante para os resultados obtidos. Essas

divergências de resultados são indesejadas para a correta implementação da *Yardstick Competition* e para que a regulação do setor seja efetiva, a fim de elevar a qualidade e extensão dos serviços de água e esgoto, é preciso que as autoridades públicas adotem métodos robustos para a comparação das empresas.

Além dos desafios impostos por aspectos institucionais e climáticos, os ganhos de eficiência e produtividade do saneamento estão também condicionados a questões demográficas. As estimativas de população elaboradas por IBGE (2020a) indicam que o grupo de municípios com até 20 mil habitantes em 2020 apresentou, proporcionalmente, o maior número de municípios com redução populacional em relação a 2019, enquanto que o grupo de municípios entre 100 mil e 1 milhão de habitantes foi aquele que apresentou o maior número de municípios com crescimento populacional, sendo que os municípios com mais de 1 milhão de habitantes cresceram entre 0% e 1% (IBGE, 2020b). Essa dinâmica populacional indica um aumento da concentração da população nos centros urbanos e, portanto, uma maior pressão sobre a infraestrutura instalada. Para o setor de saneamento, enquanto o aumento da população pode contribuir para a elevação da densidade de ligações e, assim, promover ganhos de produtividade em centros urbanos (TUPPER; RESENDE, 2004; ABBOTT; COHEN; WANG, 2012), as empresas de saneamento podem enfrentar deseconomias de escala para aumentos excessivos de tamanho (FILIPPINI; HROVATIN; ZORIC, 2008). Por outro lado, as cidades que enfrentam redução da população podem enfrentar a redução da produtividade nos serviços de saneamento a partir da redução da escala de produção.

Nesse sentido, o Brasil inicia a década de 2020 com tratamento de água e esgoto deficitários, ausência de uma agência reguladora e regras institucionais que promovam a competitividade entre as empresas de saneamento, alterações nos regimes de chuva e padrões de temperatura, além de uma dinâmica populacional indicando a concentração demográfica nas cidades de médio e grande porte. Compreender os efeitos associados à essas dinâmicas e avançar com reformas institucionais que promovam a competitividade no setor é essencial para que o Brasil universalize os serviços sanitários e impulsione seu desenvolvimento socioeconômico. Nesse sentido, a contribuição deste trabalho consiste em adotar um modelo empírico inédito, ao nosso melhor conhecimento, para este setor no Brasil ao nível de empresas, e cujos resultados fornecem informações sobre alguns dos entraves para o aumento da eficiência do setor, permitindo uma reflexão mais aprofundada a respeito de políticas públicas que possam impulsionar a oferta de serviços de tratamento de água e esgoto no país, o que *per se* contribui para a elevação dos níveis de saúde, formação de capital humano, e promoção do desenvolvimento econômico do país.

1.1. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é estimar a eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil a partir de modelos econométricos e, então, mensurar qual a magnitude dos efeitos institucionais, climáticos e demográficos na determinação dos níveis de eficiência. Com este modelo, visa-se contribuir para a elaboração de uma ferramenta analítica para agências reguladoras implementarem a *Yardstick Competition*, bem como investigar as características produtivas do setor, mensurando oportunidades promovidas por ganhos de escala e escopo, além de potenciais determinantes do nível de eficiência.

Para esta pesquisa, foram escolhidos dois componentes exógenos para avaliar os níveis de eficiência: (i) efeitos demográficos e (ii) efeitos climáticos. Destaca-se que a avaliação dos efeitos climáticos ainda é incipiente e, portanto, a principal contribuição desse trabalho para a literatura.

Para tanto, foram estimadas fronteiras de custo de produção a partir de métodos de fronteira estocástica propostos em Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015). Por serem firmas tomadoras de preços que devem atender à demanda da população por serviços de água e esgoto, os agentes econômicos visam minimizar seus custos para obter máximo lucro. Portanto, estimar a função de mínimo custo é apropriada para o escopo desta pesquisa.

Identificar um modelo consistente para análises de eficiência comparada, e encontrar os determinantes da produtividade e eficiência do setor de saneamento é indispensável para que as metas do BRASIL (2013) sejam verossímeis e, a partir disso, promover a elevação do capital humano e consequente desenvolvimento econômico no Brasil.

O presente trabalho está dividido em mais 4 seções além desta introdução. A seção 2 apresenta um panorama histórico do setor de saneamento do Brasil, bem como a contextualização da importância dos indicadores climáticos e ambientais no tratamento de água e esgoto. A seção 3 descreve a metodologia utilizada nas estimações ao longo do trabalho, e as bases de dados utilizadas para calibrar os modelos de custos. A seção 4 apresenta os resultados e discussão da pesquisa. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Revisão histórica institucional dos recursos hídricos e saneamento no Brasil

Murtha, Castro e Heller (2015) apresentaram uma revisão historiográfica sobre as ações conjunturais e estruturais observadas no Brasil no âmbito de recursos hídricos e saneamento desde o período colonial até a década de 1930. Os autores destacaram as primeiras ações na área de saneamento ainda no século XVII, com a canalização do rio Carioca para o abastecimento da cidade do Rio de Janeiro a partir de fontes e, posteriormente, o Aqueduto da Carioca, inaugurado em 1750. A urbanização das cidades coloniais durante os séculos XVIII e XIX impulsionou a instalação de chafarizes e outras fontes públicas para facilitar o acesso à água. Já a destinação do esgoto era feita por despejo individual em valas ou mar, o que foi comum mesmo no Rio de Janeiro do século XIX⁵.

Conforme apresentado por Braga et al. (2006), a preocupação institucional do Brasil com os recursos hídricos e naturais começou apenas em 1906 com a proposta de criação de um Código das Águas. Desde a independência, em 1822, as leis brasileiras foram omissas quanto à regulação e proteção ambiental. Os autores citaram a construção do Açude do Cedro, entre 1888 e 1906, em resposta à grande seca de 1886 a 1889, como a principal ação institucional do período. Em relação ao saneamento, Murtha, Castro e Heller (2015) argumentaram que a crescente conscientização nas nações europeias e Estados Unidos sobre a eficácia do saneamento para redução de epidemias levou a investimentos estruturais em modelos de coleta de esgoto por tubulações, padrão que foi implementado no Rio de Janeiro a partir de 1857, ainda que não houvesse água encanada nas residências. Nesse período, outras regiões urbanas brasileiras contavam com a implementação de serviços sanitários a partir da iniciativa privada, financiada principalmente por capital estrangeiro.

A primeira constituição republicana em 1891 atribuiu aos estados a competência de legislar sobre a navegação dos rios, e o código penal de 1890, que previa punição a quem tornasse fontes hídricas públicas ou privadas impossibilitadas de beber ou nocivas à saúde, não foram suficientes para disciplinar o uso dos recursos hídricos, uma vez que o direito de propriedade foi plenamente mantido sob corpos hídricos inseridos em propriedades privadas (BRAGA et al., 2006). No fim do século XIX e início do século XX, o Brasil passou por uma higienização de suas principais cidades, embora a fizesse deslocando a população mais pobre

⁵ Ver Murtha, Castro e Heller (2015), p.196.

para as regiões periféricas, segregando geograficamente as populações ricas e pobres, sem expandir o serviço sanitário, que se concentrou apenas nos centros urbanos (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015).

Em 1906, destacaram Braga et al. (2006), foi apresentado um projeto para o Código das Águas, embora tenha sido implementado somente em 1934, em uma versão remodelada que focou principalmente na demanda crescente por energia elétrica e potencial hidrelétrico. Nesse ínterim, o governo federal criou a Inspetoria de Obras Contra a Seca (IOCS) em 1909, com o objetivo de promover soluções para as secas recorrentes do Nordeste, e a Diretoria de Águas em 1933, pertencente ao então Ministério da Agricultura. Entre 1900 e 1930, a urbanização acelerada tornou evidente a ausência de planejamento institucional, levando a conflitos econômicos e políticos (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015). Até 1930, a prestação de serviços públicos ocorria por meio de concessões a empresas estrangeiras, que atuavam em diversos setores como transportes, energia elétrica e abastecimento de água (HESPANHOL; 2006). Contudo, a Primeira Guerra Mundial e a Crise de 1929 reduziram a disponibilidade de capital estrangeiro, elevando assim a pressão para que o governo federal assumisse a liderança dos investimentos em infraestrutura na economia.

Com a aprovação do Código de Águas de 1934, a intervenção do estado cresceu progressivamente, e as concessionárias passaram a ser nacionalizadas (HESPANHOL; 2006). Nesse período, o Código das Águas foi aprovado em um contexto político-econômico focado na geração de energia elétrica com base em recursos hídricos e, nesse sentido, se concentrou principalmente na legislação voltada para esse objetivo (BRAGA et al.; 2006). O Código de Águas estabeleceu uma legislação moderna, considerada modelo para a gestão de recursos hídricos, mas que, embora previsse medidas sobre recuperação, preservação e conservação dos recursos, as medidas foram aplicadas de forma incipiente e adotadas de maneira efetiva apenas por legislações posteriores. Entre as décadas de 1920 e 1980, a produção hidrelétrica concentrou as ações de regulação dos recursos hídricos (BRAGA et al., 2006). Nos anos 1960, o Plano Trienal de Desenvolvimento, entre 1963 e 1965, previa elevar os investimentos públicos no setor de saneamento básico, mas foi pouco efetivo (HESPANHOL; 2006). A partir da década de 1970, o Brasil implementou o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), liderado pelo governo federal e com o objetivo de expandir a cobertura sanitária no Brasil (SAIANI; TONETO JÚNIOR, 2010).

Ao longo dos anos 1980, o governo federal enfrentou dificuldades para manter o financiamento de seus investimentos, e o PLANASA não atingiu seus objetivos durante os anos 1980, levando-o a ser extinto em 1992 (BRAGA et al.; 2006, HESPANHOL; 2006). Hespagnol

(2006) argumentou que o PLANASA se reduziu significativamente partir de 1983, devido principalmente às medidas de controle inflacionário, que levaram à contenção das tarifas dos serviços públicos, e tornaram os investimentos pouco atrativos, pois a correção das tarifas a preços competitivos não era compatível com o poder de compra da população de baixa renda. A partir de 1985, Braga et al. (2006) destacaram o aumento da demanda por ampliação do escopo da gestão dos recursos hídricos, evidenciando a inadequação do PLANASA para atender às heterogeneidades regionais (HESPANHOL; 2006). O início da Nova República, a partir de 1985, foi acompanhado da reforma e extinção de diversos órgãos ligados a questões urbanas e ao saneamento, o que levou à extinção do PLANASA em 1992 (HESPANHOL; 2006).

Nos anos 1990, o setor de saneamento, assim como outros serviços públicos, enfrentou dificuldades para financiar seus investimentos a partir da iniciativa pública, devido à inadimplência dos estados e baixo retorno financeiro das companhias de abastecimento, o que exigiu uma ampla reformulação das políticas de saneamento, o que levou à sanção da Lei das Concessões de 1995⁶ e, em seguida, da Lei das Águas de 1997⁷, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) em 1997 (BRAGA et al; 2006, HESPANHOL; 2006).

Em 2000, o governo federal criou a Agência Nacional das Águas (ANA)⁸, que possui a missão de regular os recursos hídricos, implementando o SINGREH com objetivo de assegurar disponibilidade hídrica para múltiplos usos na economia. Por outro lado, Hespanhol (2006) destacou que o setor de saneamento brasileiro é ineficiente, devido a razões técnicas e institucionais que reduzem seu nível de eficiência e produtividade. Nesse sentido, a expansão das concessões na década de 2000 exigem que o Estado aprimore suas funções de organismo regulador, tanto na fase de início, vigência e fiscalização da concessão (HESPANHOL; 2006). Vale destacar que o setor de saneamento no Brasil não institucionalizou uma agência reguladora, e a Lei nº 11.445/2007 define que os municípios e unidades da federação são responsáveis pelas atividades de saneamento. Em 2018, o governo federal definiu, a partir de uma Medida Provisória⁹, que a ANA deve assumir o papel regulador do setor.

⁶ Lei Nº 8.987/95.

⁷ Lei nº 9.433/97.

⁸ A partir da Lei Federal nº 9.984/00.

⁹ MP 868/18.

A partir de dados do World Bank (2020), observa-se que o Brasil apresentava, em 2017, níveis de sanitização¹⁰ abaixo do observado para países com renda comparável (Figura 1). Esse mesmo fenômeno parece ser verdadeiro para o México, que apresenta indicadores bastante similares aos valores brasileiros, mas que são incompatíveis com os valores observados para o Chile, Paraguai, China e Rússia por exemplo.

Conforme Saiani e Toneto Júnior (2010), o Brasil não apresentou uma política de estado em substituição ao PLANASA até o final de 2013, quando governo federal instituiu o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). No PLANSAB, as metas de expansão do saneamento básico no Brasil entre 2014 e 2033, para atendimento de domicílios urbanos e rurais, são: 99% para serviços de água e 92% para serviços de esgoto (BRASIL; 2013).

Figura 1: Comparação da renda per capita, cobertura de saneamento, em 2017, para países selecionados.

Fonte: elaboração própria a partir dos dados disponibilizados por World Bank (2020)

Nota: BOL - Bolívia, BRA - Brasil, CHL - Chile, CHN - China, COL - Colômbia, DEU - Alemanha, ECU - Equador, ESP - Espanha, GBR - Reino Unido, MEX - México, NGA - Nigéria, PER - Peru, PRY - Paraguai, RUS - Rússia, USA - Estados Unidos.

De acordo com SNIS (2019), a cobertura dos serviços de água e esgoto em 2017 foram, respectivamente, 83,5% e 52,4%. Considerando os dados apresentados por Saiani e Toneto Júnior (2010), que apresentaram a cobertura de serviços de água e esgoto por rede para os domicílios brasileiros entre 1990 e 2004, mais os dados consolidados para 2017 de SNIS (2019),

¹⁰ O indicador selecionado em World Bank (2020) foi: “*People using safely managed sanitation services (% of population)*”, que, de maneira geral, considera a parcela de famílias que possui acesso à banheiros individuais, com encanamento para disposição de esgoto ou fossa séptica propriamente elaboradas.

estima-se que a taxa de crescimento dos serviços de água e esgoto seja, respectivamente, 0,65% a.a. e 1,4% a.a. Nessa taxa de crescimento, os valores a serem alcançados em 2033 seriam respectivamente, 93% e 66%. Em outras palavras, a menos que o setor de saneamento passe por uma mudança estrutural significativa durante a década de 2020, a tendência é que o Brasil não atinja as metas estabelecidas pelo PLANSAB para 2033. No ritmo atual, as metas do PLANSAB para atendimento de água seriam atingidas com dez anos de atraso, em 2043, enquanto as metas para atendimento de esgoto seriam atingidas apenas em 2058.

2.2. Tratamento de água e esgoto, qualidade das águas e efeitos climáticos

De acordo com Zouboulis e Tolkou (2015), cada estação de tratamento de água e esgoto está sujeita a características particulares, as quais incluem a qualidade dos mananciais, do esgoto a ser tratado, das instruções locais que definem os níveis de desejáveis de tratamento. Tundisi e Tundisi (2011) demonstraram que as propriedades físico-químicas das águas do manancial dependem, entre diversos fatores, das características físicas da circulação da água em diferentes fontes hídricas. A turbulência resultante da intensidade da vazão dos corpos hídricos auxilia na dispersão dos poluentes. Nesse sentido, corpos hídricos com preservação de mata ripária e maior vazão apresentam maior capacidade de autodepuração, acelerando o processo de decomposição de matéria orgânica e de dispersão de outros poluentes.

Tanto o tratamento de água quanto o de esgoto podem ser realizados a partir de diferentes tecnologias, que resultam em diferentes níveis de tratamento. Conforme apresentado por AWWA (2011), o tratamento de água convencional consiste, de maneira geral, em: (i) captação da água; (ii) controle de acidez/basicidade; (iii) floculação/flotação; (iv) filtração; (v) cloração e (vi) distribuição. Já o tratamento de esgoto, conforme apresentado por Zouboulis e Tolkou (2015), pode apresentar até quatro etapas: (i) Pré-tratamento, que consiste na remoção de sólidos suspensos maiores que 1 milímetro; (ii) Tratamento Primário, a remoção de sólidos facilmente decantados; (iii) Tratamento Secundário, que remove substâncias orgânicas biodegradáveis por processos biológicos e (iv) Tratamento Terciário, que consiste na remoção de sólidos inorgânicos (nitrogênio e fósforo) e destruição de patógenos.

A qualidade dos mananciais e a eficiência produtiva das estações de tratamento são correlacionadas e ambas são afetadas por mudanças climáticas. As alterações de pluviometria, secas ou tempestades, e elevação dos níveis do mar, por exemplo, geram inundações, transbordamento de esgoto não tratado, deslizamentos de terra. Por outro lado, as estações de tratamento emitem gases estufa durante suas atividades, tais como dióxido de carbono, metano

e compostos nitrogenados (ZOUBOULIS; TOLKOU, 2015). Marengo e Dias (2006) descreveram as relações entre alterações da temperatura atmosférica e precipitação nas regiões brasileiras, que comprometem a disponibilidade hídrica e dificultam as atividades de saneamento. Zouboulis e Tolkou (2015) apresentaram algumas consequências das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos em todo o mundo, dos quais se adequam à realidade brasileira: (i) alteração na frequência e intensidade da chuva; (ii) elevação do nível do mar; (iii) tempestades; (iv) temperaturas extremas; (v) secas; (vi) velocidade dos ventos.

Conforme apresentado por ANA (2005) a qualidade das águas pode ser medida a partir de um índice composto por nove parâmetros: (i) oxigênio dissolvido (OD); (ii) coliformes fecais; (iii) potencial hidrogeniônico (pH); (iv) demanda bioquímica de oxigênio (DBO); (v) temperatura; (vi) nitrogênio total; (vii) fósforo total; (viii) turbidez; (ix) resíduo total. Esteves (2011) descreveu como esses parâmetros são distintos em diferentes regiões, sendo afetados por: (i) níveis de urbanização; (ii) cobertura florestal; (iii) emissão de efluentes urbanos, rurais e industriais; (iv) características dos corpos hídricos, ou seja, lóticos ou lênticos, portanto; (v) os próprios níveis dos parâmetros físico-químicos da água. Dada a endogeneidade dos valores, ANA (2005) propôs ponderadores exógenos para cada um dos nove parâmetros no computo do Índice de Qualidade das Águas (IQA).

De fato, a realidade brasileira é bastante heterogênea: segundo dados da ANA (2017)¹¹, 45% da população não possui acesso à tratamento de esgoto, 76,48% dos 5570 municípios brasileiros realizam o tratamento secundário de esgoto, enquanto 77,85% dos municípios não apresentam cuidados especiais para fósforo, e 85,28% para nitrogênio; ademais, ANA (2017) descreve que 86,19% dos municípios brasileiros não atendem à resolução CONAMA nº 430/2011¹², a qual define a remoção de 60% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)¹³ da carga de efluentes gerada. Nessa perspectiva, para compreender o desempenho técnico-econômico das empresas de tratamento de água e esgoto no Brasil, é importante considerar o papel exercido por efeitos climáticos e de qualidade das águas dos mananciais para uma mensuração mais acurada dos níveis de eficiência e produtividade, como feito em outros estudos como Byrnes et al. (2010) e Price et al. (2017). Devido à disponibilidade de dados, o

¹¹ Referentes ao “Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas”.

¹² Resolução em complemento à resolução CONAMA nº 357/2005, que definia os parâmetros para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

¹³ A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mede o metabolismo de microrganismos presentes na água e, portanto, tende a crescer dada uma elevação do nível de compostos orgânicos, bem como com a concentração de fósforo e nitrogênio. Ver Esteves (2011).

presente estudo é focado no papel das variáveis climáticas para explicar o nível de eficiência das empresas.

2.3. Estimativas de eficiência e produtividade na literatura

Essa seção tem como objetivo apresentar uma tabela resumo dos trabalhos selecionados na literatura para direcionar a presente pesquisa embora, obviamente, não esgote toda a literatura econômica disponível sobre o tema. Baseado nos trabalhos de revisão realizados por Walter et al. (2009) e Worthington (2014), foram selecionados entre os artigos apresentados por esses autores aqueles que contribuem diretamente com o escopo desta pesquisa e, além desses, foram incluídos trabalhos mais recentes, e outros que não haviam sido considerados pelos autores em questão. Assim, a Tabela 1 apresenta um breve resumo dos principais trabalhos, destacando o método utilizado, a base de dados, e os principais resultados.

Tabela 1: Revisão dos resultados de eficiência e produtividade para trabalhos selecionados.

(Continua)

Autores	Metodologia	Amostra	Resultados
Lambert, Dichev e Raffie (1993)	DEA	238 empresas públicas e 33 empresas privadas, Estados Unidos, 1989	Não há diferença de ganhos de escala entre empresas públicas e privadas. Ineficiência como resultado de superdimensionamento de capital
Bhattacharyya, Harris, Narayanan e Raffiee (1995)	SFA	190 empresas públicas e 31 empresas privadas, Estados Unidos, 1992.	Empresas privadas são menos eficientes
Cubbin e Tzanidakis (1998)	DEA	29 empresas, Inglaterra e País de Gales, 1992/93	Análise de regressão e DEA são adequados para estimar eficiência.
Fabbri e Fraquelli (2000)	AR	173 empresas, Itália, 1991	Setor apresenta economias de escala e densidade
Garcia e Thomas (2001)	AR	55 empresas, França, 1995 - 1997	Setor apresenta economias de escala e densidade
Mizutani e Urakami (2001)	AR	112 empresas, Japão, 1994	Setor apresenta economias de escala e densidade
Anwandter e Ozuna (2002)	DEA	110 empresas, México, 1995	Regulação autônoma não teve influência no nível de eficiência na ausência de reforma competitiva
Estache e Kouassi (2002)	AR	21 empresas, África, 1995-1997	Empresas privadas são mais eficientes
Estache e Rossi (2002)	SFA	50 empresas, Ásia, 1995	Não há diferenças entre a eficiência de empresas públicas e privadas
Bottasso e Conti (2003)	SFA	10 empresas BO, 12 empresas WA, Inglaterra e País de Gales, 1995–2001	Ineficiência tem reduzido e a diferença entre empresas tem diminuído. Necessidades técnicas e estruturais afetam o nível de eficiência

(Continua)

Autores	Metodologia	Amostra	Resultados
Estache e Trujillo (2003)	IT	4 províncias, Argentina, 1992-2001	PTF crescente após privatização
Tupper e Resende (2004)	DEA	20 empresas, Brasil, 1996–2000	Empresas apresentam economias de densidade (ligações em relação ao tamanho da rede sanitária)
Woodbury e Dollery (2004)	DEA e IM	73 empresas, Austrália, 1999–2000	Ineficiência técnica é mais substancial que ineficiência de escala. Necessidade de incluir dados sobre qualidade dos produtos.
Aubert e Reynaud (2005)	SFA	211 empresas, Estados Unidos, 1998–2000.	Nível de eficiência é parcialmente explicada pela estrutura regulatória.
Fraquelli e Moiso (2005)	SFA	18 regiões, Itália, 1975–2005	Ineficiência é parcialmente explicada por heterogeneidade das redes de saneamento.
Erbetta e Cave (2006)	DEA	10 empresas, Inglaterra e País de Gales, 1993–2005	Mudanças no marco regulatório aumentaram o nível de eficiência. Variáveis ambientais afetam o nível de eficiência estimado.
García-Sánchez (2006)	DEA	24 empresas, Espanha, 1999.	Densidade populacional e de ligações influenciam a eficiência, enquanto não há diferenças no nível de eficiência de acordo com a natureza jurídica das empresas
Motta e Moreira (2006)	DEA	104 empresas BO (das quais, 25 empresas WA), Brasil, 1998-2002	Natureza jurídica não afeta ganhos de produtividade. Empresas regionais se beneficiam de maiores ganhos de escala.
Souza, Faria e Moreira (2007)	SFA	149 empresas públicas e 15 empresas privadas, Brasil, 2002.	Não há diferença de eficiência entre empresas públicas e privadas. Variáveis ambientais afetam o nível de eficiência.
García, Moreaux, Reynaud (2007)	AR	233 empresas, Estados Unidos, 1997-2000	Setor apresenta economias de escala e densidade

(Continua)

Autores	Metodologia	Amostra	Resultados
Saal, Parker e Weyman-Jones (2007)	SFA	10 empresas, Inglaterra e País de Gales, 1985–2000	Mudança tecnológica aumentou após privatização. Tamanho excessivo das empresas pode gerar deseconomias de escala (redução da produtividade).
Filippini, Hrovatin e Zoric (2008)	SFA	52 empresas, Eslovênia, 1997–2003	Medidas de eficiência são afetadas pela metodologia utilizada. Deseconomias de escala em empresas muito grandes.
Picazo-Tadeo, Sáez-Fernández e González-Gómez (2008)	DEA	40 empresas, Espanha, 2001	Qualidade da água afeta o nível de eficiência estimado
Sabbioni (2008)	SFA	1163 observações, Brasil, 2000-2004	Economias de escala como principal fonte para redução dos custos.
Reznetti e Dupont (2009)	DEA	64 Empresas, Canadá, 1996	Diferenças de elevação, densidade populacional e domicílios com acesso à água para uso privado afetam nível de eficiência
Byrnes, Crase, Dollery e Villano (2010)	IM	52 empresas, Austrália, 2000–2004.	Escassez hídrica reduz eficiência e empresas maiores são mais eficientes
Carvalho, Marques (2011)	DEA	66 empresas, Portugal, 2002–2008	Diferença entre empresas públicas e privadas é inconclusiva. Variáveis como consumidores residenciais, fonte hídrica, pico de demanda e densidade de consumidores tiveram efeitos mistos no nível de eficiência.
Romano, Guerrini (2011)	DEA	43 empresas, Itália, 2007	Propriedade, tamanho e localização geográfica afetam o nível de eficiência das empresas
Abbott, Cohen e Wang (2012)	DEA Malmquist	6 municípios, Austrália, 1995/96 - 2007/08	Ganhos de produtividade em grandes centros urbanos

(Conclusão)

Autores	Metodologia	Amostra	Resultados
Ferro et al. (2014)	SFA	127 empresas, Brasil, 2003-2010	Empresas Regionais e microrregionais apresentam menores custos que as municipais. Empresas privadas são mais eficientes. Não há diferença da estrutura de custos entre as regiões. Tendência de crescimento de custos.
Marques, Berg, Yane (2014)	DEA	1.144 empresas, Japão, 2004-2007	Evidências de eficiência técnica estagnada ao longo do tempo.
Price et al. (2017)	SFA	944 empresas, Canadá, 2011	Qualidade das águas nos mananciais, medida como turbidez, afeta positivamente o nível de eficiência.
Molinos-Senante e Maziotis (2019)	DEA, SFA	23 empresas, Chile, 2007-2015	Diferenças nas magnitudes de eficiência e produtividade estimadas por SFA e DEA

Fonte: Elaboração própria com base em Walter et al (2009) e Worthington (2014). AR – Análise de Regressão; DEA – *Data Envelopment Analysis*; IM – Índice de Malmquist; IT – Índice de Tornqvist; SFA – *Stochastic Frontier Analysis*.

3. METODOLOGIA

3.1. Fronteira de custo mínimo

Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) apresentaram um modelo de fronteira de custos, originalmente desenvolvido por Kumbhakar e Lovell (2000), em que as firmas buscam minimizar custo sujeitas a uma produção com ineficiência técnica. Admitindo que a eficiência alocativa é perfeita, uma firma minimiza custos conforme:

$$\text{mín } C = \sum p_j x_j, \quad \text{sujeito à } y = f(x_j e^{-\eta_i}) \quad (1)$$

onde C é o custo total de produção, p_j é o preço de cada fator de produção x_j e y é um nível dado de produção realizada a partir de uma função de produção $f(x)$ com um componente de ineficiência $e^{-\eta_i}$.

Sob alocação perfeita, $\eta_i \geq 0$ indica o percentual pelo qual todos os insumos de produção estão superdimensionados. Como o termo de ineficiência e^{η_i} aparece em todas as condições de primeira ordem, as funções de demanda pelos fatores de produção (ψ_j) são análogas às obtidas pelos modelos tradicionais, ponderadas pelo termo de ineficiência. Ou seja, pelo Lema de Shephard obtém-se que $\frac{dC^*}{dp_j} = \psi_j(p, y) = x_j e^{-\eta_i}$. Então, a função de custo mínimo na presença de ineficiência pode ser escrita como:

$$C^* = \sum p_j x_j e^{-\eta} \quad (2)$$

Logo, o custo minimizado na presença de ineficiência produtiva é menor que o custo mínimo real, determinado por $C_{real}^* = \sum p_j x_j$. Portanto, a verdadeira fronteira de custo mínimo é:

$$\ln C_{real}^* = \ln C^* + \eta \quad (3)$$

Dessa forma, o logaritmo da função custo mínimo $C(p, y, \beta)$ a ser estimada é superdimensionada em η , referente ao uso excessivo dos insumos. O índice de eficiência para

cada produtor pode ser escrito como $e^{-\eta} = \frac{c^*}{c_{real}^*}$ que, por definição, está restrito ao intervalo entre 0 e 1, sendo que 0 representa total ineficiência, e 1 a total eficiência. Ainda, η pode ser interpretado como o valor percentual de aumento nos custos devido à ineficiência técnica, pois $\frac{c^*}{c_{real}^*} - 1 = e^{-\eta} - 1 \approx \eta$.

3.2. Fronteira estocástica de custos para dados em painel

A partir do trabalho de Colombi, Martini e Vittadini (2011), Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) propuseram um modelo de fronteira estocástica de produção que, ao trabalhar com dados em painel, permite controlar heterogeneidades latentes das unidades produtivas, e também desagregar o nível de eficiência técnica em dois componentes: (i) um componente estrutural, que não varia ao longo do tempo, e (ii) um componente transitório, que varia ao longo do tempo. Conforme descrito por Kumbhakar e Heshmati (1995), é improvável que o componente estrutural da eficiência técnica sofra alterações sem que ocorram mudanças institucionais, enquanto o componente transitório capta mudanças relacionadas a ciclos climáticos, ciclos de mercado e outros tipos de choques aleatórios.

Apesar dos procedimentos serem inicialmente propostos para uma fronteira estocástica de produção, o raciocínio pode ser analogamente aplicado para uma fronteira de custos. Kumbhakar e Lovell (2000) demonstraram que os métodos de fronteira estocástica são válidos para funções de custo, desde que não sejam violadas as propriedades de homogeneidade da função custo nos preços e produção¹⁴. Ademais, os autores destacaram que ao considerar que as firmas apresentam eficiência alocativa perfeita, a solução dos modelos de custos é idêntica aos modelos de produção. O custo de adotar essa hipótese é superestimar o custo mínimo real, visto que não são consideradas potenciais reduções de custos advindas da alocação eficiente dos fatores de produção.

O modelo apresentado, contudo, não controla diretamente os problemas de endogeneidade, caso sejam incluídas variáveis exógenas como determinantes do nível de eficiência. Para superar essa limitação, Badunenko e Kumbhakar (2017) apresentaram uma proposta de estimação para uma função custo em uma única etapa. Lien, Kumbhakar e Alem

¹⁴ Ver Kumbhakar e Lovell (2000), p. 138 e 139. Como destacaram Silberberg, Suen (2001, p.238), a dualidade entre as funções custo e produção são asseguradas se as hipóteses de homogeneidade linear e concavidade nos preços não forem violadas na função de custo.

(2018), por sua vez, apresentaram uma proposta para a estimativa em três etapas, com um ajuste na etapa inicial. A vantagem de utilizar a metodologia proposta por Lien, Kumbhakar e Alem (2018) é que não são impostas premissas distributivas nos coeficientes da fronteira de custo mínimo, sendo esses pressupostos necessários apenas para a estimativa dos níveis de eficiência.

Assim, considerando os avanços propostos por Lien, Kumbhakar e Alem (2018), a função custo-mínimo pode ser representada como:

$$\ln C_{it} = \alpha_0 + \ln C_{it}^*(p_{it}, \beta, y_{it}) + \mu_i + v_{it} + \eta_i(Z_i^P) + u_{it}(Z_{it}^R) + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

onde,

C_{it} é o custo de produção da firma i no período t ;

$\ln C^*(p_{it}, \beta, y_{it})$ representa a forma funcional adotada na estimativa, em que p_{it} são as remunerações dos fatores de produção, y_{it} e β são os coeficientes a serem estimados;

η_i e u_{it} são os respectivos componentes de ineficiência estrutural e transitório;

Z_i^P, Z_{it}^R são, respectivamente, as variáveis exógenas determinantes do nível persistente e transitório de eficiência.

$$\eta_i \sim N^+(0, \sigma_\eta^2(Z_i^P)) \text{ e } u_{it} \sim N^+(0, \sigma_u^2(Z_{it}^R))$$

Uma vez que existem variáveis exógenas como determinantes de ambos os termos de ineficiência, a esperança de cada componente é expressa por funções tais que: $E(\eta_i(Z_i^P)) = g^P(Z_i^P) \geq 0$ e $E(u_{it}(Z_{it}^R)) = g^R(Z_{it}^R) \geq 0$. Assim, seguindo Lien, Kumbhakar e Alem (2018), pode-se reescrever a expressão (4) como:

$$\ln C_{it} = h(Z_i) + \ln C_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

onde,

$$h(Z_i) = [\alpha_0 - g^P(Z_i^P) - g^R(Z_{it}^R)];$$

$$\alpha_i = [\mu_i - (\eta_i(Z_i^P) - g^P(Z_i^P))];$$

$$\varepsilon_{it} = [v_{it} - (u_{it} - g^R(Z_{it}^R))].$$

Com essa reformulação, $E(\alpha_i) = 0$, $E(\varepsilon_{it}) = 0$. Dessa forma, Lien, Kumbhakar e Alem (2018) propuseram que a esperança condicional das variáveis do modelo em relação às variáveis exógenas seja estimada e subtraída das variáveis originais. A estimação da esperança condicional pode ser obtida a partir de regressões não paramétricas¹⁵. Esse procedimento garante que a inclusão de variáveis exógenas não gere problemas de endogeneidade. Ou seja:

$$\ln \bar{C}_{it} = \ln C_{it} - E(\ln C_{it} | Z) \quad (6)$$

$$\ln \bar{C}_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) = \ln C_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) - E(\ln C_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) | Z) \quad (7)$$

E, então, o modelo ajustado a ser estimado pode ser representado por:

$$\ln \bar{C}_{it} = \ln \bar{C}_{it}^*(p, \beta_i, y_{it}) + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Para a estimação econométrica, Lien, Kumbhakar e Alem (2018) propuseram utilizar o procedimento apresentado por Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), ou seja, a estimação em três etapas.

Etapa I - Estimar um modelo com dados em painel:

$$\ln \bar{C}_{it} = \ln \bar{C}_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

em que são obtidos os componentes que variam ao longo do tempo (ε_{it}), e os componentes que não variam (α_i).

Etapa II - Estimar v_{it} e u_{it} a partir dos valores estimados de ε_{it} considerando:

$$\varepsilon_{it} = v_{it} + u_{it}(Z_{it}^R) - E(u_{it}) \quad (10)$$

¹⁵ Conforme apontado por Lien, Kumbhakar e Alem (2018), as regressões não paramétricas podem ser conduzidas no software STATA a partir da versão 15. Nessa pesquisa, utilizou-se o comando “npregress” para obtenção das esperanças condicionais.

Etapa III - Estimar μ_i e η_i a partir dos valores estimados de α_i :

$$\alpha_i = \mu_i + \eta_i(Z_i^P) - E(\eta_i) \quad (11)$$

Assim, os *scores* de eficiência transitória (RTE) são obtidos por $RTE = \exp(-u_{it})$ e os *scores* de eficiência estrutural (PTE) são obtidos por $PTE = \exp(-\eta_i)$. Tanto RTE quando PTE assumem, por definição, valores entre 0 e 1. Assim, o nível geral de eficiência (OTE) pode ser calculado como:

$$OTE = PTE * RTE \quad (12)$$

Os *scores* calculados de OTE são os indicadores comparáveis com os trabalhos prévios que não tenham utilizado dados em painel. Todas as etapas econométricas apresentadas foram estimadas no *software* STATA.

3.3. Especificações da função custo

Duas formas funcionais são comumente utilizadas na literatura para estimar funções custo: (i) *Cobb-Douglas* e (ii) *translog*. As propriedades de cada forma funcional estão descritas em Silberberg e Suen (2001) e Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015). Essas funções também foram utilizadas por Souza, Faria, Moreira (2007) e Price *et al.* (2017) para estimativa da eficiência técnica no tratamento de água.

A função *Cobb-Douglas* é apresentada na forma logarítmica na expressão (13) e a *translog*, na expressão (14). A variável C_i representa o Custo total C de uma firma i , o vetor w_{ij} representa a remuneração p de cada um dos j fatores de produção e y_i representa o nível de produção y de uma firma i . A função *Cobb-Douglas* é uma forma reduzida da *Translog* e apresenta propriedades mais restritivas em relação aos pressupostos microeconômicos (Silberberg e Suen, 2001). Como apresentado em Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015):

$$\ln C_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \ln p_{ij} + \beta_y \ln y \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
\ln C_i = & \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \ln p_{ij} + \beta_y \ln y_i + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_{jk} \ln X_{ji} \ln X_{ki} + \frac{1}{2} \beta_{yy} \ln y_i \ln y_i \\
& + \sum_{j=1}^m \beta_{jy} \ln p_{ij} \ln y_i
\end{aligned} \tag{14}$$

Conforme apontaram Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), para que a homogeneidade nos preços seja verificada, é necessário que $\sum_{j=1}^m \beta_j = 1$, $\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_{jk} = 0$ e $\sum_{j=1}^m \beta_{jy} = 0$. Essas condições podem ser construídas no modelo ao se normalizar todos os preços p_i em relação a qualquer preço w de interesse¹⁶. A partir dessa abordagem, os coeficientes estimados oferecem indiretamente o valor dos demais coeficientes associados ao fator de produção escolhido para normalizar a expressão, e podem ser recuperados considerando as condições de homogeneidade de preços descritas.

Dessa maneira, combinando as propostas de Triebs et al. (2016) e Lien, Kumbhakar e Alem (2018), o modelo a ser testado nessa pesquisa é o *Generalized True Random Effects* (GTRE), considerando uma forma *translog* e tecnologia flexível ao escopo das empresas de saneamento.

3.4. Funções custo mínimo com tecnologia flexível

Para a correta estimativa do nível de eficiência é necessário assegurar que as empresas comparadas possuem um mesmo conjunto tecnológico. No setor de saneamento, as empresas estão inseridas em regiões com características hidrológicas distintas, que alteram a qualidade dos mananciais e naturalmente alteram o tratamento necessário para a disponibilização dos recursos à população, e também para a emissão de esgoto.

A heterogeneidade tecnológica pode ser abordada com o uso de meta-fronteira, como sugerido por Battese, Rao e O'Donnell (2004); ao segmentar a amostra em diferentes subgrupos, é possível comparar os resultados a partir da análise de meta-fronteira e, assim, obter estimativas do *gap* tecnológico entre as empresas. A análise de meta-fronteira com a abordagem proposta por Huang, Huang e Liu (2014), e recentemente aplicada por Mello-Becerra e Orozco-

¹⁶ Ver Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) seção 4.2.1. O Anexo A apresenta um exemplo para uma função translog com dois fatores de produção e um produto.

Gallo (2016), propõe que a meta-fronteira seja estimada a partir da estimativa prévia do produto potencial de cada subgrupo, considerando os coeficientes estimados da função de fronteira para cada subgrupo. Essa metodologia, contudo, segmenta a amostra arbitrariamente, e exclui das estimativas as informações incluídas em grupos distintos.

Nesse sentido, a proposta de Triebs et al. (2016) permite controlar a heterogeneidade tecnológica para cada tipo de empresa de saneamento a partir de variáveis binárias. O SNIS identifica três diferentes tipos de empresas: (i) as que tratam apenas água; (ii) as que tratam apenas esgoto; (iii) as que tratam água e esgoto. Assim, o modelo a ser estimado deve considerar a composição de três funções translog, as quais devem explicitar os coeficientes estimados para cada uma das três tecnologias, conforme representado pela expressão (15):

$$\ln \bar{C}_{it} = WA * \ln \bar{C}_{it}^*(p_{it}, \beta_i, y_{it}) + SE * \ln \bar{C}_{it}^*(p_{it}, \gamma_i, y_{it}) + BO * \ln \bar{C}_{it}^*(p_{it}, \delta_i, y_{it}) \quad (15)$$

onde,

$\ln \bar{C}_{it}^*$ representa uma função translog de custo mínimo;

WA é uma variável binária que indica empresas que tratam apenas água ($WA = 1$ se trata apenas água, caso contrário, $WA = 0$);

SE é uma variável binária que indica empresas que tratam apenas esgoto ($SE = 1$ se trata apenas esgoto, caso contrário, $SE = 0$);

BO é uma variável binária que indica empresas que tratam água e esgoto ($BO = 1$ se trata ambos água e esgoto, caso contrário, $BO = 0$)

Ao considerar tecnologias flexíveis, o modelo proposto por Triebs et al. (2016) permite criar testes de verossimilhança para testar se há significância estatística em separar os grupos tecnológicos, ou seja, é possível elaborar um teste cuja hipótese nula seja $H_0: \beta_i = \gamma_i = \delta_i$. Portanto, o modelo *translog* com tecnologia flexível fornece testes de robustez para os *scores* de eficiência estimados. Ademais, os efeitos de escala (S) e escopo (SC) podem ser obtidos, respectivamente, conforme apresentado por Triebs et al. (2016), isto é:

$$S^i(p, y) = \frac{1}{\sum_i^N \partial \ln C / \partial \ln y_i} \quad (16)$$

$$SC(WA, SE, BO) = \frac{C^{WA}(p, y_w) + C^{SE}(p, y_s)}{C^{BO}(p, y_w, y_s)} \quad (17)$$

É importante notar que, nessa metodologia, os efeitos de escala podem ser estimados para cada tecnologia separadamente, e os efeitos de escopo podem ser estimados para a média amostral considerando os custos totais, não apenas os efeitos esperados nos custos marginais de produção. Triebs et al. (2016) destacaram que a complementariedade $\left(\frac{\partial^2 \ln C}{\partial \ln y_w \partial \ln y_s} < 0\right)$ é condição suficiente, mas não necessária para a existência de ganhos de escopo, uma vez que os custos fixos podem ser fonte de potenciais ganhos de escopo.

3.5. Modelo empírico

O modelo empírico completo a ser estimado é representado pela expressão (18). A função custo adotada considera dois fatores de produção (capital e força de trabalho) e dois produtos (água tratada e esgoto tratado). Esse modelo corresponde à função custo mínimo da etapa I, representada na expressão (9). Todas as variáveis foram ajustadas conforme proposto por Lien, Kumbhakar e Alem (2018) para controle de endogeneidade com os determinantes da eficiência, e as séries foram centradas em torno da média conforme feito por Triebs et al. (2016), embora os marcadores para as variáveis estejam suprimidos para maior simplicidade da apresentação do modelo.

$$\begin{aligned} \ln C = & WA * [\alpha_0^{WA} + \beta_p \ln p + \beta_{y_w} \ln y_w + \beta_{pp} \ln p^2 + \beta_{y_w y_w} \ln y_w^2 + \beta_{py_w} \ln p * \ln y_w] \\ & + SE \\ & * [\alpha_0^{SE} + \gamma_p \ln p + \gamma_{y_s} \ln y_s + \gamma_{pp} \ln p^2 + \gamma_{y_s y_s} \ln y_s^2 + \gamma_{py_s} \ln p * \ln y_s] \\ & + BO \\ & * [\alpha_0^{BO} + \delta_p \ln p + \delta_{y_w} \ln y_w + \delta_{y_s} \ln y_s + \delta_{pp} \ln p^2 + \delta_{y_w y_w} \ln y_w^2 \\ & + \delta_{y_s y_s} \ln y_s^2 + \delta_{py_w} \ln p * \ln y_w + \delta_{py_s} \ln p * \ln y_s + \delta_{y_w y_s} \ln y_w * \ln y_s] \\ & + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (18)$$

onde,

C é o custo total de produção ajustado,

p é o preço do trabalho dividido pelo preço do capital,

y_w é o volume de água tratada,

y_s é o volume de esgoto tratado,

WA, SE, BO são as variáveis binárias indicadoras do tipo de tecnologia,

$\alpha_0^{WA}, \alpha_0^{SE}, \alpha_0^{BO}$ são os coeficientes lineares para cada uma das tecnologias, o qual contém os componentes de ineficiência persistente e,

ε_{it} é o termo de erro, o qual contém os componentes de ineficiência transitória.

3.6. Seleção e análise das bases de dados

A seleção de indicadores é crucial para a elaboração das análises de eficiência e produtividade. Além de coletar indicadores associados aos custos de tratamento de água e esgoto, é necessário adotar indicadores que captem a heterogeneidade tecnológica das empresas, a fim de se obter os *scores* de eficiência comparáveis (Shleifer, 1987). A ausência de controle desses efeitos distorce o *benchmarking* obtido pelos *scores* de eficiência, e podem inibir os potenciais ganhos promovidos pela *Yardstick Competition*. Assim, a literatura específica para o setor já abordou, por exemplo:

- (i) Qualidade do produto (WOODBURY; DOLLERY, 2004; PICAZO-TADEO; SÁEZ-FERNÁNDEZ; GONZÁLEZ-GÓMEZ, 2008);
- (ii) Estrutura produtiva (BOTTASSO; CONTI, 2003; FRAQUELLI; MOISO, 2005);
- (iii) Ambiente produtivo (ERBETTA; CAVE, 2006);
- (iv) Condições demográficas e geográficas (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2006; REZNETTI; DUPONT, 2009; ROMANO; GUERRINI, 2011; ABBOTT; COHEN; WANG, 2012)
- (v) Condições ambientais (BYRNES ET AL, 2010; PRICE ET AL; 2017);

De maneira resumida, os controles de heterogeneidade neste trabalho foram:

- (i) Uso de dados em painel para controle de heterogeneidades latentes (BALTAGI, 2005);
- (ii) Analisar o custo de produção considerando o produto gerado na empresa, de forma a controlar potenciais divergências na qualidade de água e esgoto tratados;
- (iii) Modelo econométrico com tecnologia flexível, adaptado de Triebs et al (2016), para controlar diferenças da estrutura produtiva;
- (iv) Inclusão de variáveis de natureza jurídica para controlar diferenças de ambiente produtivo / institucional;
- (v) Condições climáticas a partir das variáveis de precipitação e temperatura obtidas em Xavier, King e Scanlon (2015), as quais são apresentadas na seção 3.6.2.;
- (vi) Condições demográficas a partir da variável populacional (apresentada na seção 3.6.3);

Na seção 3.6.1 é apresentada a base de dados disponibilizada pelo SNIS, a qual possui informações de produção e custos das empresas, além de natureza jurídica e tipo de serviço prestado; na seção 3.6.2 está o detalhamento da base de dados com indicadores climáticos para os municípios brasileiros a partir dos resultados elaborados por Xavier, King e Scanlon (2015) e, na seção 3.6.3 é apresentada a metodologia utilizada para elaborar uma variável para controle das características demográficas dos municípios. Por fim, a seção 3.6.4 apresenta a estatística descritiva das informações utilizadas para calibrar o modelo empírico após a mescla de todas as bases de dados.

3.6.1. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Os dados utilizados para a estimação das funções custo foram obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e constituem um painel entre os anos de 1995 e 2017, com informações de 2.461 empresas de tratamento de água e esgoto, totalizando 16.704 observações. Conforme apresentado em SNIS (2019), os dados das empresas são coletados via participação voluntária a cada ano, sendo as informações validadas pelo SNIS e outros indicadores derivados dos dados primários obtidos nos questionários. A Figura 2 ilustra a distribuição temporal da amostra, separando as empresas de acordo com o escopo de produção.

Figura 2: Distribuição temporal da amostra
 Fonte: Elaboração própria com dados de SNIS (2019)

As empresas de saneamento são também classificadas de acordo com a abrangência geográfica da prestação de serviços e natureza jurídica. A abrangência possui três categorias: (i) local, com 15.972 observações; (ii) regional, com 612 observações e (iii) microrregional, com 120 observações. Em relação à natureza jurídica, existem sete categorias: (i) administração pública direta, com 8.818 observações; (ii) autarquia, com 6.113 observações; (iii) sociedade de economia mista com administração pública, com 695 observações; (iv) empresa privada, com 932 observações; (v) empresa pública, com 95 observações; (vi) sociedade de economia mista com administração privada, com 25 observações e (vii) organização social, com 26 observações.

A distribuição espacial da amostra, representada pela Figura 3, indica as cidades sede das empresas presentes na amostra. Uma vez que uma empresa pode atuar em nível microrregional ou regional, ela pode atender a um ou mais municípios, embora a lista de municípios atendidos não seja detalhada em SNIS (2019). Portanto, a quantidade de municípios atendidos é maior que a quantidade de municípios sede. Além disso, devido à heterogeneidade de informações disponibilizadas, o número de observações a serem consideradas no modelo econométrico é menor, uma vez que seleção de indicadores para estimação do modelo de custos exclui da amostra as empresas que não forneceram todas as informações necessárias.

Figura 3: Distribuição espacial da amostra por município sede das empresas de saneamento básico no Brasil entre 1995 e 2017.

Fonte: elaboração própria com base em SNIS (2019).

Entre os dados disponibilizados pelo SNIS, foram considerados aqueles disponíveis na base de dados de informações sobre o saneamento, e a Tabela 2 resume quais foram os selecionados para uso na função de custos. Foram selecionados indicadores de quantidade e despesas totais para estabelecer os preços dos fatores, bem como o custo total de produção e quantidade total produzida.

Tabela 2: Informações selecionadas no SNIS para elaboração do modelo empírico.

(Continua)				
Tipo	Nome	Cod.	Descrição	Unidade
Despesa	Despesa com pessoal próprio	fn010	Valor anual das despesas realizadas com empregados (inclusive diretores, mandatários, entre outros), correspondendo à soma de ordenados e salários, gratificações, encargos sociais (exceto PIS/PASEP e COFINS), pagamento a inativos e demais benefícios concedidos, tais como auxílio-alimentação, vale-transporte, planos de saúde e previdência privada.	R\$
Despesa	Despesas de exploração	fn015	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada, Esgoto Exportado, Despesas Fiscais ou Tributárias computadas na DEX, além de Outras Despesas de Exploração (FN027). O encarregado da informação deve atentar para o fato de que o campo FN027 é preenchido automaticamente pelo sistema online de coleta de dados e inclui despesas com materiais, tubos, combustível, impressora, papel, etc.	R\$
Despesa	Despesas fiscais ou tributárias computadas na DEX	fn021	Valor anual das despesas realizadas com impostos, taxas e contribuições, cujos custos pertencem ao conjunto das despesas de exploração, tais como PIS/PASEP, COFINS, CPMF, IPVA, IPTU, ISS, contribuições sindicais e taxas de serviços públicos.	R\$
Quantidade	Extensão da rede de água	ag005	Comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, sub-adutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, operada pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência.	km
Quantidade	Extensão da rede de esgotos	es004	Comprimento total da malha de coleta de esgoto, incluindo redes de coleta, coletores tronco e interceptores e excluindo ramais prediais e emissários de recalque, operada pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência.	km

				(Conclusão)
Tipo	Nome	Cod.	Descrição	Unidade
Quantidade	Quantidade total de empregados próprios	fn026	Quantidade de empregados, sejam funcionários do prestador de serviços, dirigentes ou outros, postos permanentemente - e com ônus - à disposição do prestador de serviços, ao final do ano de referência.	Empregados
Quantidade	Volume de água tratada em ETAs	ag007	Volume anual de água submetido a tratamento, incluindo a água bruta captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada (AG016), medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s). Deve estar computado no volume de água produzido (AG006). Não inclui o volume de água tratada por simples desinfecção em UTS(s) (AG015) e nem o volume importado de água já tratada (AG018).	mil m ³
Quantidade	Volume de esgotos tratado	es006	Volume anual de esgoto lançado na rede coletora. Em geral é considerado como sendo de 80% a 85% do volume de água consumido na mesma economia. Não inclui volume de esgoto bruto importado (ES013).	mil m ³

Fonte: Glossário de informações, SNIS (2017).

A partir da definição das variáveis, foram conduzidas rotinas para validação do banco de dados a ser selecionado para a amostra, evitando a inclusão de informações espúrias. Assim, foram desconsideradas variáveis que apresentassem quaisquer valores de custo, preço ou quantidade menores que zero, o que totalizou 3,51% da amostra bruta. Foram desconsideradas da amostra também as empresas que não declararam a quantidade de água tratada por simples desinfecção. Além disso, para a consistência tecnológica da fronteira a ser estimada, foram desconsideradas as empresas que declararam valores de produção inconsistentes com a tecnologia declarada, ou seja, empresas de tratamento de esgoto que declararam tratar qualquer montante de água, empresas de tratamento de água que declararam tratar qualquer montante de esgoto, e empresas de água e esgoto que deixaram de tratar água ou esgoto.

Alguns pontos importantes para serem destacados sobre os indicadores selecionados: (i) para compatibilizar a análise entre empresas em diferentes unidades federativas, os custos totais estão isentos de impostos, ou seja, $C = fn015 - fn021$; (ii) não há informações que permitam ponderar a força de trabalho pelo nível de capital humano agregado e, portanto, a informação sobre o número de funcionários é a mais detalhada disponível; (iii) a escolha do indicador *ag007* para determinar o produto do tratamento de água e controlar a heterogeneidade tecnológica, desconsiderando da amostra as empresas que atuem apenas com o tratamento de água por simples desinfecção; (iv) o preço do capital foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Souza, Faria e Moreira (2007), uma vez que, embora Price et al. (2017) tenham utilizado o consumo de energia elétrica e isso esteja de acordo com a proposta de Bitzer e Goren (2016), a base de dados SNIS (2019) não oferece índices de quantidade para uso de insumos químicos nos tratamentos. Dessa forma, a proposta de Souza, Faria e Moreira (2007) é mais apropriada por agregar as despesas de energia elétrica e insumos químicos evitando a subestimação das despesas com capital. Assim, o valor do preço do capital é definido como:

$$p_K = \frac{C - p_L * L}{K} \quad (19)$$

onde,

p_K é o preço do capital;

C é o custo total de produção;

p_L é o preço do trabalho;

L é a força de trabalho empregada na produção;

K é o estoque de capital.

Para definir o estoque de capital, por sua vez, considerou-se a extensão da rede de tubulações para água e esgoto, uma vez que não estão disponibilizadas outras informações sobre a capacidade instalada das empresas. Essa premissa foi adotada também por Souza, Faria e Moreira (2007). Contudo, uma vez que as tubulações de água e esgoto são distintas, a composição do estoque de capital foi calculada a partir de uma função distância. Nesse sentido, o estoque de capital para tratamento de água (K_1) e o estoque de capital para o tratamento de esgoto (K_2), podem ser definidos como $D(K_1, K_2) = \sqrt{(K_1)^2 + (K_2)^2}$. Esse indicador é representado pela Figura 4.

Figura 4: Exemplo ilustrativo de cálculo de uma função distância para duas variáveis.
Fonte: elaboração própria.

Por fim, vale destacar que a escolha do indicador para tratamento de água não elimina da amostra todo o tratamento de água por simples desinfecção. De fato, as empresas que trabalham com o tratamento completo podem ter parcelas da produção com tratamento simples, o que reduz os custos do tratamento e superestima a eficiência. Nesse sentido, é necessário incluir uma variável controle que seja capaz de captar esse ganho de eficiência e evitar distorções na análise comparativa dos resultados, o que é apresentado na seção 3.6.3. A Figura 5 destaca a parcela de água tratada por simples desinfecção em relação ao total de água tratada para as empresas selecionadas para a amostra.

Figura 5: Histograma da parcela de água tratada por simples desinfecção
 Fonte: elaboração própria a partir de dados de SNIS (2019).

3.6.2. Indicadores climáticos

Os indicadores climáticos utilizados nesse trabalho foram estimados por Xavier, King e Scanlon (2015) a partir de estações de coleta de dados presentes no Brasil, com informações coletadas diariamente entre 1980 e 2013, posteriormente atualizados até 2016. Os resultados foram interpolados para os municípios brasileiros a partir de modelos climatológicos, permitindo seu uso em pesquisas que visem avaliar os efeitos dessas variáveis em sistemas hidrológicos e agroclimáticos.

Assim, foram coletados os dados diários de precipitação, temperatura mínima e máxima para os municípios entre 1980 e 2016 e, para a geração do indicador médio diário por município, foram considerados valores representativos identificados pela coordenada da sede municipal, assim como adotado por Castro, Spolador e Marin (2019). A Figura 6 ilustra a distribuição anual das médias diárias municipais de precipitação para o período de 1980 e 2017. A temperatura média, por sua vez, foi calculada como a média entre temperatura máxima e mínima para cada observação. Assim, as médias diárias municipais de temperatura para o período de 1980 e 2017 são apresentadas na Figura 7.

Figura 6: Precipitação média diária (mm) nos municípios brasileiros entre os anos de 1980 e 2017

Fonte: elaboração própria a partir de Xavier, King e Scanlon (2015).

Figura 7: Temperatura média diária (°C) nos municípios brasileiros entre os anos de 1980 e 2017.

Fonte: elaboração própria a partir de Xavier, King e Scanlon (2015).

Para controlar as heterogeneidades regionais os valores a serem inseridos no modelo foram os desvios em relação à média histórica diária para cada município, ou seja:

$$\phi_{it}^x = \frac{x_{it}}{\bar{x}_i} \quad (20)$$

onde

ϕ é o valor de desvio em relação à média entre 1980 e 2016;

x_t indica a variável climática (precipitação ou temperatura) para o município i no ano t ;

$\bar{x}$ representa a média histórica para temperatura ou precipitação.

Por fim, destaca-se que a correlação entre os indicadores de precipitação e temperatura foi avaliada a fim de prevenir multicolinearidade nas estimações econométricas. O modelo considerado para testar a correlação é definido conforme a expressão (21), a qual foi estimada utilizando efeitos fixos (FE) e efeitos aleatórios (RE) com posterior teste de Hausman para a seleção dos resultados.

$$\ln(Temp_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(Prec_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (21)$$

onde,

$Temp_{it}$ é a temperatura média anual, em ° C, para o município i no ano t ;

$Prec_{it}$ é a precipitação média anual, em mm, para o município i no ano t ;

α_0, α_1 são os coeficientes a serem estimados;

ε_{it} é o termo de erro aleatório com média zero e variância constante.

A Tabela 3 apresenta os resultados da regressão dos dados extraídos da base de dados de Xavier, King e Scanlon (2015), considerando um painel para os municípios brasileiros entre 1980 a 2016, totalizando 203.241 observações. Ambos os modelos apresentaram correlação significativa entre as variáveis, com o teste de Hausman indicando o modelo de efeitos aleatórios como o mais ajustado. Por esse motivo, o indicador de temperatura foi selecionado para representar as variações climáticas no modelo empírico. A relação entre a elevação da temperatura e redução da precipitação é discutida pela literatura específica da área (IPCC, 2019). Zouboulis e Tolkou (2015) destacaram que, para cada 1° C de elevação, a capacidade da atmosfera reter umidade cresce 7%, levando a mudanças nos ciclos de chuva, e aumentando a probabilidade de tempestades. Groover (2015) indicou que o efeito geral do aumento da temperatura sobre as chuvas pode variar regionalmente. As evidências indicam que a precipitação total deve aumentar em altas latitudes, embora apresente tendência de redução em baixas e médias latitudes.

Tabela 3: Correlação entre as variáveis climáticas.

<i>Coeficientes</i>	<i>Efeitos Fixos</i>	<i>Efeitos Aleatórios</i>
α_1	-0,0270**** [-0,0274; -0,0265]	-0,0272**** [-0,0277; -0,0268]
α_0	3,196**** [3,195; 3,196]	3,196**** [3,193; 3,199]
<i>N</i>	203.241	203.241
<i>Hausman</i>	n.s.	H_0

Fonte: elaboração própria

Intervalo de confiança 95% entre colchetes. + $p < 0,15$, * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$, **** $p < 0,001$, “n.s.” não significativo.

O vetor de variáveis climáticas foi adaptado para captar efeitos específicos de acordo com a tecnologia de produção, isto é, se a empresa trata apenas água, apenas esgoto ou trata água e esgoto. Esse ajuste é inspirado na função flexível proposta por Triebs et al. (2016).

Conforme apontado por Zouboulis e Tolkou (2015), as variações de temperatura e precipitação podem gerar diferentes efeitos sobre o tratamento de água e o tratamento de esgoto. Por exemplo, ao passo que o aumento marginal das chuvas pode diluir os poluentes nos corpos hídricos e assim facilitar o tratamento de água, a diluição do lodo ativado reduz a eficiência do tratamento de esgoto. Por outro lado, o aumento da temperatura reduz a qualidade das águas nos mananciais, enquanto que favorece o tratamento de esgoto. Em resumo, o efeito da variação da temperatura adaptado à tecnologia é representado pela expressão (22).

$$\ln(\phi_{it}) = \theta_1 WA \ln(\phi_{it}) + \theta_2 SE \ln(\phi_{it}) + \theta_3 BO \ln(\phi_{it}) \quad (22)$$

onde,

$\ln(\phi_{it})$ é o logaritmo neperiano do desvio da temperatura média em relação à média histórica por município i e ano t ;

WA, SE, BO são as variáveis binárias indicadoras do tipo de tecnologia,

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ são os coeficientes a serem estimados;

Finalmente, por conferência do banco de dados, testou-se a hipótese de que a temperatura média tem apresentado tendência de crescimento ao longo do tempo. Assim, estimou-se um modelo com dados em painel para a temperatura média nas sedes municipais entre 1980 e 2016, no qual:

$$\ln(temp_{it}) = \ln(temp_0) + gt + \varepsilon_{it} \quad (23)$$

onde,

$temp_{it}$ é a temperatura média do município i no ano t ;

g é a taxa de crescimento anual média a ser estimada;

Os ajustes dos modelos foram testados a partir de um teste de Hausman, que indicou o modelo com efeitos aleatórios como o mais ajustado (p-valor = 0,9998). A taxa média de crescimento da temperatura estimada para o período foi, em média, 0,081% a.a. Dado que a temperatura média amostrada entre 1980 e 2016 é 23,80 °C, a taxa de crescimento estimada indica que a temperatura pode aumentar ao redor de 0,20 °C por década, resultado compatível

com estimativas apresentadas pelo IPCC (2019)¹⁷. Nesse ritmo, um aumento de 2 °C pode ocorrer em 99 anos caso a tendência estimada seja mantida constante¹⁸, ou seja, por volta do ano 2098, o que é compatível com as estimativas apresentadas pelo IPCC (2019) em cenários com baixa mitigação de emissões de gases do efeito estufa.

Tabela 4: Estimativa da taxa de crescimento da temperatura média entre 1980 e 2016.

<i>Coeficiente</i>	<i>Efeitos Fixos</i>	<i>Efeitos Aleatórios</i>
<i>g</i>	0,000810**** [0,000801; 0,000819]	0,000810**** [0,000801; 0,000819]
<i>constante</i>	3,147*** [3,146; 3,147]	3,147**** [3,143; 3,150]
<i>N</i>	203241	203241

Fonte: elaboração própria a partir de Xavier, King, Scanlon (2015).

⁺ $p < 0,15$, * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$, **** $p < 0,001$. Intervalo de confiança 95% entre colchetes.

Outro efeito associado às mudanças climáticas é o aumento da frequência de eventos extremos (IPCC, 2019), que se caracterizam pela ocorrência de ondas de calor, secas, tempestades com maior intensidade. Esse fenômeno pode ser observado a partir da análise da variância para as séries de temperatura e pluviometria ao longo dos anos. Assim, foi estimada a taxa de crescimento para a série de desvio-padrão da temperatura entre 1980 e 2016. Os resultados indicam que existe uma tendência positiva de crescimento em 0,228% a.a. (p-valor $< 0,001$)¹⁹, resultado que está ilustrado na Figura 8.

¹⁷ Ver IPCC (2019), p. 4.

¹⁸ Seja t^* o tempo necessário para a temperatura média elevar em 2 °C, $t^* = \ln\left(\frac{25,80}{23,80}\right) * \frac{1}{g} = 99,62$. Dado que o ano médio entre 1980 e 2016 é 1998, estima-se que a temperatura média seja 2 °C maior em 2097.

¹⁹ A taxa de crescimento foi estimada a partir da expressão $\ln(\sigma_{temp}) = \ln(\sigma_{temp}) + g_{\sigma} + \varepsilon$.

Figura 8: Tendência de variação da temperatura entre os anos 1980 e 2016.

Fonte: elaboração própria com base em Xavier, King e Scanlon (2015).

A variação da temperatura ao longo do tempo pode ser apresentada espacialmente, como é destacado na Figura 9. O valor da temperatura média anual para cada município foi dividido pela respectiva temperatura média municipal entre 1980 e 2016. Em seguida, foram obtidas médias móveis de 5 anos para a série para destacar a tendência. Nesse sentido, em Figura 9-A e Figura 9-C, os valores representam a média entre 1980 e 1984, enquanto em Figura 9-B e Figura 9-D, os valores representam a média entre 2012 e 2016. Assim como indicado nas análises apresentadas na Tabela 3 e Tabela 4, a temperatura média apresenta tendência de elevação, ao passo que a precipitação apresenta tendência de redução.

Figura 9: Evolução da temperatura (A, B) e precipitação (C, D) entre 1980 e 2016 para os municípios brasileiros. Valores em médias móveis de 5 anos.

Fonte: elaboração própria com base em Xavier, King e Scanlon (2015)

3.6.3. População residente nos municípios

Conforme apresentado na seção 3.6.1, parte da produção de água tratada pode ser feita a partir de simples desinfecção, o que pode gerar estimativas viesadas do nível de eficiência. A população residente dos municípios sede pode ser utilizada como variável instrumental para controlar esses efeitos, uma vez que a proporção de água tratada por simples desinfecção reduz à medida em que as aglomerações urbanas crescem. As estimativas de população são realizadas por IBGE (2020a) que podem ser facilmente associadas aos municípios em que cada empresa está sediada. Apesar de suas limitações, o indicador demográfico é útil para estimar os impactos

associados à concentração demográfica e também evidenciar os efeitos climáticos e de natureza jurídica propostos nessa pesquisa.

Para inclusão da variável demográfica no modelo, considerou-se inicialmente a simples média amostral da população por município durante os anos de 2001 e 2019 estimada por IBGE (2020). A ideia de considerar a média população a partir dos anos 2000 é obter uma variável que caracterize e diferencie os municípios mais populosos dos menos populosos. A dinâmica populacional é uma variável importante para a definição de metas de investimento para as empresas de saneamento. Contudo, a instalação e expansão de redes de água e esgoto representam investimentos de longo prazo e, nesse sentido, devem ser determinados por variações estruturais. Portanto, a média populacional durante o período disponível é mais adequada para captar heterogeneidades demográficas entre as cidades. A Figura 10 ilustra a distribuição espacial estimada para a população brasileira. O histograma da população residente média por município é ilustrado na Figura 11.

Figura 10: População média por município entre 2001 e 2019.

Fonte: elaboração própria a partir de IBGE (2020).

Figura 11: Histograma da população residente média dos municípios brasileiros entre 2001 e 2019. Valores por habitante, em ln.

Fonte: elaboração própria a partir de dados de IBGE (2020).

Para inclusão da população no modelo empírico, considerou-se o logaritmo neperiano dos valores de população por município divididos pela média amostral, tal que: $\ln(pop_i^*) = \ln\left(\frac{pop_i}{pop_{média}}\right)$. Além disso, uma regressão linear simples entre o indicador demográfico e a parcela da água tratado por simples desinfecção (W_{clean}) indica uma correlação negativa significativa $\left(\frac{\partial W_{clean}}{\partial \ln(pop^*)} = -0,0135, p\text{-valor} < 0,05\right)$.

3.6.4. Dados selecionados para a análise empírica

A partir da combinação das bases de dados disponibilizadas por SNIS (2019) e Xavier, King e Scanlon (2015), o modelo empírico desta pesquisa conta com uma base de dados única, a qual contém painel de dados desbalanceado para custos, produção e variáveis climáticas associados a 1086 empresas de saneamento durante 21 anos, promovendo 6.554 observações válidas. A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas dos indicadores utilizados para calibrar o modelo empírico, bem como as variáveis utilizadas como determinantes para os níveis de eficiência persistente e transitória. Destaca-se que a série de preços do capital foi adotada para normalizar a função custo.

Tabela 5: Estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo empírico.

Var.	Descrição	Unid.	Média	Desvio-Padrão
<i>Função custo</i>				
C	Despesas de exploração livre de impostos	mil R\$	72.200,00	387.000,00
K	Extensão da rede de água e esgoto	km	1.207,86	5.617,78
L	Número de empregados no ano de referência	peessoas	310,62	1.302,74
Y_w	Volume de água tratada	mil m ³	29.977,33	172.849,30
Y_s	Volume de esgoto tratado	mil m ³	6.490,23	42.211,28
w_K	Preço do capital	R\$/km	20.695,34	140.247,50
w_L	Preço do trabalho	R\$/L	47.647,85	32.218,14
<i>Eficiência</i>				
Pop	População média residente no município sede	peessoas	203.487,70	799.089,10
$Temp$	Temperatura média para empresa	°C	23,94	2.80

Fonte: elaboração própria.

Nota: valores monetários foram deflacionados a partir do IPCA (2018 = 100).

Por fim, destaca-se que os indicadores selecionados para a função custo foram centrados em torno da média, conforme proposto por Coelli et al. (2003)²⁰ e também implementado por Triebs et al. (2016)²¹, o que torna os regressores estimados equivalentes às elasticidades para a média amostral. Além disso, conforme apontado por Lien, Kumbhakar e Alem (2018)²², a transformação das variáveis a partir da subtração da esperança condicional não afeta os efeitos marginais em relação ao modelo original para uma especificação *translog*.

3.7. Regionalização dos resultados

Para apresentação dos resultados, é interessante observar como as diferentes regiões do Brasil concentram diferentes níveis de eficiência e efeitos climáticos. Além da divisão político administrativa disponibilizadas pelo IBGE (2011), é possível dividir o território brasileiro em regiões que representem as principais bacias hidrográficas. As 12 regiões

²⁰ Ver Coelli et al. (2003), p. 33.

²¹ Ver Triebs et al. (2016), p. 176.

²² Ver Lien, Kumbhakar e Alem (2018), p. 57, equação (11).

hidrográficas definidas por ANA (2005) são: (i) Amazonas; (ii) Tocantins-Araguaia; (iii) Atlântico Nordeste Ocidental; (iv) Atlântico Nordeste Oriental; (v) Parnaíba; (vi) São Francisco; (vii) Paraná; (viii) Paraguai; (ix) Atlântico Leste; (x) Atlântico Sudeste; (xi) Atlântico Sul e (xii) Uruguai. A Figura 12 ilustra a divisão do território brasileiro de acordo com as regiões hidrográficas.

Figura 12: Regiões hidrográficas do Brasil de acordo com a Agência Nacional das Águas.
Fonte: CNRH (2011).

A classificação da amostra de empresas de saneamento em suas respectivas regiões hidrográficas foi feita ao atribuir, para cada empresa amostrada, uma região hidrográfica de acordo com o município em que a empresa está sediada. Dado que as informações disponíveis no SNIS não permitem a identificação de quais mananciais são utilizados pelas empresas de saneamento, a classificação apresentada aqui tem como hipótese que o município sede é uma aproximação coerente para as regiões hidrográficas. Assim, o ajuste espacial das regiões hidrográficas foi realizado em nível microrregional e a classificação das microrregiões em suas respectivas regiões hidrográficas está apresentada no Anexo B.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seção 4.1 são apresentados os ajustes da função custo mínimo e os testes que determinam o modelo mais ajustado a ser utilizado para a estimativa dos *scores* de eficiência. A seção 4.2 explora os resultados obtidos na seção 4.1 a partir da derivação dos ganhos de eficiência, escopo, mudança tecnológica e produtividade total dos fatores a partir da função custo mínimo. A seção 4.3, por sua vez, apresenta o ajuste da fronteira estocástica e determinantes do nível de eficiência, sendo que a seção 4.5 é reservada para a interpretação dos *scores* de eficiência, incluindo a avaliação dos níveis médios de acordo com a abrangência das empresas e natureza jurídica. Por fim, as seções 4.5 e 4.6 apresentam as análises dos efeitos demográficos e climáticos, respectivamente.

4.1. Estimativas e seleção do modelo para fronteira de custo

Conforme apresentado em Triebs et al. (2016), os resultados obtidos pelo modelo empírico proposto (GTRE) e pelos modelos estimados para cada tecnologia separadamente estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados da estimativa da função custo mínimo

<i>Coefficientes</i>	(Continua)			
	(I) <i>GTRE</i>	(II) <i>WA</i>	(III) <i>SE</i>	(IV) <i>BO</i>
β_p	0,590*** (72,54)	0,590*** (58,39)		
β_{y_w}	0,144*** (13,73)	0,0370*** (2,86)		
β_{pp}	0,0144** (2,43)	0,0141** (2,01)		
$\beta_{y_w y_w}$	0,0309*** (11,37)	0,0113*** (3,32)		
$\beta_{p y_w}$	0,0119*** (2,63)	0,0118** (2,16)		
β_t	0,0190*** (18,39)	0,0225*** (16,15)		
γ_p	0,647*** (57,04)		0,655*** (36,58)	
γ_{y_s}	0,139*** (10,09)		0,120*** (5,69)	

<i>Coefficientes</i>	(Conclusão)			
	(I) <i>GTRE</i>	(II) <i>WA</i>	(III) <i>SE</i>	(IV) <i>BO</i>
γ_{pp}	0,0407**** (26,00)		0,0395**** (16,73)	
$\gamma_{y_s y_s}$	0,0277**** (5,08)		0,0189** (2,36)	
$\gamma_{p y_s}$	-0,0270**** (-5,13)		-0,0260*** (-3,26)	
γ_t	-0,0587**** (-35,54)		-0,0617**** (-22,82)	
δ_p	0,600**** (40,41)			0,606**** (50,84)
δ_{y_w}	0,0722**** (8,08)			0,0669**** (8,91)
δ_{y_s}	0,000396 (0,06)			-0,0152*** (-2,68)
δ_{pp}	-0,00359 (-0,41)			-0,00546 (-0,81)
$\delta_{y_w y_w}$	0,0158**** (4,43)			0,0134**** (4,37)
$\delta_{y_s y_s}$	0,00270 (1,29)			0,00195 (1,19)
$\delta_{p y_w}$	0,0123** (2,26)			0,0126*** (2,95)
$\delta_{p y_s}$	-0,0360**** (-7,21)			-0,0385**** (-9,79)
$\delta_{y_w y_s}$	0,000712 (0,35)			0,00356** (2,06)
δ_t	0,0187**** (18,58)			0,0196**** (24,78)
W	-0,426**** (-10,23)			
S	-1,103**** (-11,14)			
<i>Constante (B)</i>	-0,000762 (-0,04)	-0,385**** (-11,22)	-0,203*** (-3,18)	0,0463** (2,15)
<i>N</i>	6.555	2.297	636	3.622

Fonte: elaboração própria,

+ $p < 0,15$, * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$, **** $p < 0,001$. Estatística t entre parênteses.

O resultado do teste de razão de verossimilhança rejeita a hipótese nula de que os coeficientes entre as estimativas conjuntas e separadas sejam iguais (p -valor < 0.001). Portanto, o modelo com tecnologia flexível é adequado para modelar a fronteira de custo mínimo. Esse

resultado indica que as empresas possuem diferentes fronteiras tecnológicas de acordo com seu tipo (*WA*, *SE* e *BO*). Assim, para propósitos regulatórios, as empresas devem ser comparadas em *rankings* de acordo com seu tipo de produção.

Após a estimativa da fronteira de custos, foram conduzidos testes de consistência ao nível das empresas, isto é, foram contabilizadas quantas empresas amostradas não satisfaziam as condições de monotonicidade exigidas pela função custo a partir dos coeficientes médios estimados. Ainda que, na média, a fronteira de custos tenha apresentado um bom ajuste, é importante identificar quais observações violam os pressupostos teóricos a fim de garantir que as análises sejam válidas (Kumbhakar; Wang; Horncastle, 2015; Triebs et al., 2016). Nesse sentido, ao testar as condições de primeira ordem para cada observação, foi constatado que 9 de 6.555 observações (0,14%) apresentam violação de concavidade. Portanto, não há razão para incluir restrições para satisfazer a concavidade global.

4.2. Ganhos de escala, ganhos de escopo e mudança tecnológica

A partir do modelo de custo mínimo estimado, foram obtidos os coeficientes de ganhos de escala e de escopo para cada observação. Conforme apresentado na metodologia, os ganhos de escala são apresentados para cada observação com tecnologia de produção específica, enquanto a mudança tecnológica é obtida como uma média setorial para cada tecnologia.

Os resultados indicam que as empresas podem reduzir seus custos de produção por meio de escala. Esses resultados são consistentes com a literatura (Fabbri; Fraquelli, 2000; Garcia; Thomas, 2001; Mizutani; Urakami, 2001; García; Moreaux; Reynaud, 2007; Sabbioni, 2008; Ferro et al., 2014). Os resultados estimados para ganhos de escala são expressivos: o aumento da produção em 1% reduz o custo médio em: 4,86% para as empresas *WA*, 5,15% para as empresas *SE* e 5,53% para as empresas *BO*. Sabbioni (2008) argumentou que os ganhos de escala são grandes o suficiente para justificar a atuação em nível regional das empresas.

Os resultados de Ferro et al. (2014) indicam que o tratamento conjunto de água e esgoto elevam os custos fixos em 6% em comparação com as empresas brasileiras que tratam apenas água. Contudo, os ganhos de escopo estimados para média amostral indicam que a indústria apresenta estrutura de custos semelhante: $SC(WA, SE, BO) = 0.9994$ e $\hat{\delta}_{y_w y_s}$ não é estatisticamente diferente de zero.

Motta e Moreira (2006) e Sabbioni (2008) indicaram em seus resultados que as empresas regionais e microrregionais são mais beneficiadas que as empresas locais devido aos

ganhos de escala. Nesse sentido, a Figura 13 indica que as empresas WA e BO são àquelas que possuem maior ganho de escala a ser explorado.

Figura 13: Ganhos de escala de acordo com o tipo de serviço prestado e abrangência.
Fonte: elaboração própria.

Já em relação à mudança tecnológica, a estimativa da função custo mínimo indica que a trajetória da produtividade difere entre as tecnologias de produção. Enquanto as tecnologias de produção WA e BO têm apresentado tendência de redução da produtividade média ao longo do tempo, ou seja, de elevação do custo mínimo ($\hat{\beta}_t = 0,0190^{***}$; $\hat{\delta} = 0,0187^{***}$), a tecnologia SE apresenta progresso técnico $\hat{\gamma} = -0,0587^{***}$, ou seja, tendência de redução do custo mínimo de produção. De forma geral, a tendência para toda a indústria de saneamento pode ser obtida ao combinar as três tendências destacadas. A média ponderada das tendências é 0,0113, ou seja, o custo mínimo real para a indústria cresce, em média, 1,13 % a.a., indicando que a indústria de saneamento tem perdido produtividade ao longo do tempo, o que compromete a sua competitividade no longo prazo. Esse resultado é consistente com as estimativas obtidas por Ferro et al. (2014), embora sejam menores. Os autores estimaram uma tendência de aumento de custos de 2,4% a.a.

4.3. Estimativa da eficiência técnica e seus determinantes

Após a estimativa da função custo mínimo na etapa I, as etapas II e III consistem em obter os componentes de eficiência transitória e persistente, os quais estão apresentados simultaneamente na Tabela 7.

Tabela 7: Estimativas dos coeficientes para os níveis de eficiência persistente e transitória.

<i>Modelo / Variáveis</i>	<i>WA</i>	<i>SE</i>	<i>BO</i>
MODELOS SEPARADOS			
Persistente			
$\ln(pop^*)$	-1,279**** (-8,93)	1,115+ (1,48)	-0,779**** (-11,81)
Constante (σ_η)	-6,362**** (-11,24)	-6,195* (-1,75)	-3,940**** (-16,45)
Residual (σ_μ)	-1,632**** (-49,43)	-0,824**** (-14,68)	-1,699**** (-63,15)
Transitória			
$\ln(\phi)$	67,05**** (4,03)	-149,9** (-1,99)	-3,228 (-0,48)
Constante (σ_u)	-8,345**** (-6,55)	-8,857**** (-3,43)	-5,563**** (-4,69)
Residual (σ_v)	-3,056**** (-102,28)	-2,862**** (-50,02)	-3,851**** (-47,26)
MODELO COMPLETO			
Persistente			
$\ln(pop^*)$	-0,288**** (-3,69)	-0,833**** (-10,72)	-0,893**** (-12,00)
Constante (σ_η)	-4,171**** (-16,26)	-4,171**** (-16,26)	-4,171**** (-16,26)
Residual (σ_μ)	-1,530**** (-74,79)	-1,530**** (-74,79)	-1,530**** (-74,79)
Transitiva			
$\ln(\phi)$	63,60**** (4,89)	-135,5**** (-4,93)	-15,44 (-0,84)
Constante (σ_u)	-7,646**** (-9,22)	-7,646**** (-9,22)	-7,646**** (-9,22)
Residual (σ_v)	-3,375**** (-183,05)	-3,375**** (-183,05)	-3,375**** (-183,05)

Fonte: elaboração própria.

+ $p < 0,15$, * $p < 0,1$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$, **** $p < 0,001$. Estatística t entre parênteses.

4.4. Análises de eficiência

A eficiência geral de 84,7% indica que os custos setoriais podem ser cerca de 15,3% maiores do que seriam caso o setor atuasse em plena eficiência. O nível de eficiência estimado para a amostra é maior do que a obtida por Ferro et al. (2014), que estimaram eficiência geral de 67,5% (Figura 14). O modelo utilizado nessa pesquisa difere do utilizado pelos referidos autores por considerar duas fontes de ineficiência: (i) persistentes e (ii) transitórias. Conforme apontado por Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), a não separação das fontes de eficiência pode superestimar a ineficiência ao não controlar as heterogeneidades latentes. Nesse sentido, os resultados obtidos pelo modelo desta pesquisa contribuem para o avanço no refinamento das estimativas de eficiência do setor.

Considerando os valores amostrados nesta pesquisa, a elevação da eficiência setorial para os níveis de fronteira corresponde à redução de 9,55 milhões de reais anualmente por empresa. Para as 1.087 empresas presentes na amostra desta pesquisa, a redução de custos acumulada corresponde à 10,38 bilhões de reais por ano²³. Para obter esses valores em perspectiva setorial, os valores de investimentos projetados pelo PLANSAB entre 2014 e 2033 para os cenários 1 e 2 são, respectivamente, R\$ 445 bilhões e R\$ 326 bilhões, já atualizados para reais de 2018. Ou seja, o investimento médio anual projetado pelo PLANSAB varia entre R\$ 16 bilhões e R\$ 22 bilhões por ano e, nesse sentido, o potencial ganho de eficiência corresponde entre 47,2% e 64,9% do orçamento anual necessário para obter a expansão do tratamento de água e esgoto.

²³ Em valores reais com base em 2018 (IPCA 2018 = 100).

Figura 14: OTE estimada para as empresas de saneamento
Fonte: elaboração própria

A abrangência de atendimento, por sua vez, está associada com diferentes níveis de eficiência, sendo que as empresas regionais possuem maior eficiência média que as locais e microrregionais (Figura 15). Esse resultado é corroborado pelos efeitos de escala estimados

Figura 15: Evolução quadrienal da OTE de acordo com o nível de abrangência das empresas de saneamento.
Fonte: elaboração própria.

Por fim, a Tabela 8 apresenta a eficiência média estimada para as empresas localizadas em 15 cidades com a maior população média no estado de São Paulo durante o período analisado²⁴. Os resultados são apresentados como forma de conferência dos resultados, e ilustram um *benchmarking* baseado no tamanho das populações. Essa comparação de resultados pode compor ferramentas para políticas públicas, e os critérios para comparação podem seguir protocolos elaborados e definidos no marco regulatório.

Com base na metodologia proposta pelo Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil²⁵, é possível utilizar os *scores* de eficiência de custos para compor um índice geral que promova seus principais objetivos como, por exemplo, parcela da população atendida com serviços de tratamento de água e esgoto. Dado que um dos objetivos do PLANSAB é expandir o tratamento de água e esgoto, uma sugestão é que o valor de OTE seja ponderado pela parcela da população atendida. A Tabela 9 apresenta o resultado para os 15 municípios selecionados já ponderado pela parcela da população atendida com os serviços de saneamento. Nota-se que os municípios que atendem uma menor parcela da população perdem posições no *ranking*, o que geraria incentivos para a expansão da área de atendimento.

Tabela 8: Exemplo de *benchmarking* para empresas selecionadas no estado de São Paulo.

#	Município	Prestador	População média	OTE média	N
1	São Paulo - SP	SABESP	11,384,689	0.9704	19
2	Guarulhos - SP	SAAE	1,269,201	0.9528	15
3	Campinas - SP	SANASA	1,097,047	0.9479	18
4	Santo André - SP	SEMASA	686,246	0.9392	20
5	Mogi das Cruzes - SP	SEMAE	392,302	0.9322	15
6	São José do Rio Preto - SP	SEMAE	419,741	0.9308	17
7	Jundiaí - SP	DAE	371,592	0.9283	19
8	Piracicaba - SP	SEMAE	372,623	0.9272	21
9	Limeira - SP	BRKL	282,829	0.9245	1
10	Limeira - SP	OAL	282,829	0.9236	19
11	Sumaré - SP	OAS	245,750	0.9235	21
12	Sumaré - SP	BRK	245,750	0.9213	1
13	Indaiatuba - SP	SAAE	201,847	0.9102	19
14	São Carlos - SP	SAAE	226,037	0.9098	1
15	Americana - SP	DAE	213,333	0.9095	14
16	Araraquara - SP	DAAE	210,491	0.9071	4
17	Araçatuba - SP	SAMAR	184,909	0.9066	19

Fonte: elaboração própria

²⁴ Os *scores* médios de eficiência para todas as empresas amostradas estão disponíveis no Anexo E.

²⁵ Ver TRATABRASIL (2020).

Tabela 9: Exemplo de *benchmarking* ponderado pela parcela da população atendida pelos serviços de saneamento para empresas selecionadas no estado de São Paulo.

#	Município	Prestador	OTE	N	%AG ^a	%ES ^b	%Cob	NF ^c
1	Piracicaba - SP	SEMAE	0.9272	21	1.0000	1.0000	0.9272	0.9272
2	São Paulo - SP	SABESP	0.9704	19	0.9834	0.9600	0.9161	0.9704
3	Campinas - SP	SANASA	0.9479	18	0.9805	0.9744	0.9056	0.9479
4	Sumaré - SP	OAS	0.9235	21	0.9939	0.9830	0.9024	0.9235
5	Santo André - SP	SEMASA	0.9392	20	0.9946	0.9446	0.8823	0.9392
6	Americana - SP	DAE	0.9095	14	0.9952	0.9706	0.8785	0.9095
7	Sumaré - SP	BRK	0.9213	1	0.9702	0.9702	0.8671	0.9213
8	Araraquara - SP	DAAE	0.9071	4	0.9776	0.9776	0.8670	0.9071
9	Jundiaí - SP	DAE	0.9283	19	0.9608	0.9581	0.8546	0.9283
10	Limeira - SP	OAL	0.9236	19	0.9718	0.9429	0.8463	0.9236
11	Indaiatuba - SP	SAAE	0.9102	19	0.9718	0.9429	0.8340	0.9102
12	Araçatuba - SP	SAMAR	0.9066	19	0.9664	0.9411	0.8246	0.9066
13	Limeira - SP	BRKL	0.9245	1	0.9686	0.9201	0.8240	0.9245
14	São José do Rio Preto - SP	SEMAE	0.9308	17	0.9351	0.9118	0.7937	0.9308
15	Guarulhos - SP	SAAE	0.9528	15	0.9411	0.8586	0.7699	0.9528
16	São Carlos - SP	SAAE	0.9098	1	0.9369	0.8974	0.7649	0.9098
17	Mogi das Cruzes - SP	SEMAE	0.9322	15	0.9411	0.8586	0.7532	0.9322

Fonte: elaboração própria. ^a Parcela da população atendida com tratamento de água: $\%AG = \left(\frac{AG001}{G12A}\right)$; ^b Parcela da população atendida com tratamento de esgoto: $\%ES = \left(\frac{ES001}{G12A}\right)$; ^c Nota final (NF) = $OTE * \%AG * \%ES$.
 Note que: $\%Cob = \%AG * \%ES$.

Destaca-se que foram obtidos resultados significativos para a correlação entre a taxa de cobertura e nível de eficiência $\left(\frac{\partial OTE}{\partial \%Cob} = 1.35\%, p\text{-valor} = 0,01, N = 6500\right)^{26}$, corroborando os resultados obtidos para ganhos de eficiência no tratamento sanitário. Assim, incentiva-se que as medidas de *benchmarking* sejam ponderadas pela área de cobertura, para que a competição entre as empresas promova os objetivos do PLANSAB, premiando as empresas que alcancem maiores taxas de coberturas.

A distribuição da OTE por unidade federativa (Figura 16), bem como por bacia hidrográfica (Figura 17), ilustra como os níveis de eficiência podem ser agrupados pelo território nacional. Nota-se uma elevada dispersão de dados em cada categoria, não sendo possível identificar uma região de destaque. A análise microrregional (Figura 18) capta algumas microrregiões que concentram elevada eficiência técnica comparativamente com as demais, embora estejam dispersas em diferentes estados.

²⁶ Considerando um modelo para dados em painel com efeitos aleatórios. Para empresas BO, a cobertura foi medida como o produto das parcelas de cobertura dos serviços de água e de esgoto.

Figura 16: *Box-plot* dos valores de OTE para as unidades federativas.

Fonte: elaboração própria.

Nota: valores em ordem decrescente para a média.

Figura 17: *Box-plot* dos valores de OTE para as bacias hidrográficas.

Fonte: elaboração própria.

Nota: valores em ordem decrescente para a média.

Figura 18: Distribuição espacial da OTE média por microrregião.

Fonte: elaboração própria.

Com relação à natureza jurídica, os resultados sugerem que a independência na gestão das empresas de saneamento está correlacionada com melhores níveis de eficiência e, portanto, com menores custos de produção (Figura 19). De forma geral, as empresas com Administração Pública Direta são aquelas que possuem menor nível médio de eficiência.

Vale destacar que o presente teste não verifica o efeito que a privatização de uma empresa teria sobre o nível de eficiência. Outros trabalhos, como o de Saal, Parker e Weyman-Jones (2007), identificaram que empresas aceleraram os ganhos de produtividade após serem privatizadas. Por outro lado, Massaruto e Ermano (2013) discutiram o resultado da privatização na Itália, indicando que a ausência de uma agência reguladora efetiva impediu que o setor apresentasse ganhos de produtividade a partir de privatizações. Nesse sentido, Erbetta e Cave (2006) identificaram aumento de eficiência a partir de mudanças regulatórias, indicando que os ganhos de produtividade estão condicionados a instituições capazes de promover a competitividade entre as empresas reguladas. Sampaio e Sampaio (2020) argumentaram que o ambiente institucional complexo do Brasil contribui para o fraco desempenho técnico-econômico do setor, e que o país poderia elevar o nível de eficiência a partir do empoderamento da Agência Nacional das Águas (ANA) como agente regulador.

Figura 19: *Box-Plot* da OTE estimada de acordo com a natureza jurídica das empresas.
Fonte: elaboração própria.

4.5. Efeitos demográficos

A variável demográfica mostra efeitos significativos para todos os tipos de WSTC. O efeito marginal sugere que um aumento em $\ln(pop^*)$ reduz os custos de produção para as empresas *WA*, *SE* e *BO*.

Para investigar porque os custos são mais baixos em cidades com maior população, foram testadas: (i) a relação entre a densidade das ligações de água (T)²⁷ e $\ln(pop^*)$; (ii) a relação entre vazamentos (L)²⁸ e o $\ln(pop^*)$. Os resultados sugerem que T e $\ln(pop^*)$ têm uma relação positiva²⁹; ou seja, cidades mais populosas têm custos mais baixos devido às economias de densidade (Tupper & Resende, 2004). Por outro lado, a relação estimada entre L e $\ln(pop^*)$

²⁷ A variável AG021 de SNIS (2019) foi adotada para estimar as conexões. A densidade de conexões (T) é: $T = AG024 * K^{-1}$

²⁸ Os vazamentos (L) foram estimados com a diferença entre o volume de água macromedido (AG012) e o volume de água micromedido (AG008). Isto é: $L = (AG012 - AG008) * K^{-1}$.

²⁹ $\frac{\partial \ln(T)}{\partial \psi} = 0.1083$, $p\text{-value} < 0.001$, $N = 5,818$. Dados em painel com efeitos aleatórios

têm uma relação positiva³⁰; ou seja, cidades mais populosas têm custos mais elevados relacionados a maiores vazamentos (Tupper & Resende, 2004). Uma vez que o efeito da população nos vazamentos é maior do que na densidade de conexão, o efeito de redução de custos proporcionado pelas economias de densidade pode ser compensado por vazamentos mais elevados. Portanto, as empresas de saneamento em cidades muito populosas podem melhorar sua eficiência ambiental por meio de manutenção adequada para evitar vazamentos. A concentração demográfica em cidades médias e grandes deve reduzir a eficiência nas cidades pequenas e sobrecarregar a infraestrutura nas grandes cidades. Nesse sentido, esse resultado sugere que os órgãos reguladores devem promover políticas de mitigação de vazamentos em grandes centros urbanos para a prestação de serviços de saneamento sustentável.

4.6. Efeitos climáticos

Os efeitos climáticos, por sua vez, estão correlacionados com efeitos antagônicos para o tratamento de água e esgoto, sendo o aumento da temperatura (e consequente redução das chuvas) um redutor de custos para o tratamento de esgoto, mas aumentador de custos para o tratamento de água. O efeito climático no nível de eficiência para empresas que tratam ambos água e esgoto não foi significativo, o que pode ser explicado por esse comportamento antagônico. Mesmo assim, é possível estimar o efeito climático marginal sobre o nível de eficiência para as empresas, ao se extrapolar os efeitos específicos para cada tecnologia ponderado pelo *mix* de produção (*CEI*)³¹.

Em termos médios, o efeito climático reduz o nível de eficiência das empresas, ainda que os efeitos apresentem um desvio-padrão elevado. Um teste de hipótese simples rejeita que $H_0: CEI = 0$ ($p\text{-valor} < 0,001$) para ambas as amostras, ou seja, os resultados sugerem que o aumento da temperatura, e consequente redução da pluviometria, eleva os custos de produção. Considerando a média amostral, o aumento de 1% da temperatura reduziria a eficiência em 16,30%. A Figura 20 apresenta a distribuição dos efeitos climáticos para toda a amostra: apesar do elevado desvio-padrão, os efeitos são, em média, positivos.

³⁰ $\frac{\partial \ln(L)}{\partial \psi} = 0.3381, p\text{-value} < 0.001, N = 2,825$, Dados em painel com efeitos aleatórios.

³¹ O Anexo C apresenta a expressão utilizada para calcular o efeito marginal ponderado para cada empresa.

Figura 20: *Box-Plot* dos efeitos climáticos estimados.

Fonte: elaboração própria.

Os dados de efeitos climáticos, ainda que não apresentem divergências evidentes por estado (Figura 21) ou bacia hidrográfica (Figura 22), exceto pela região hidrográfica do Paraná, a análise a partir das microrregiões permite identificar padrões regionais (Figura 23). Enquanto a região Sudeste e Nordeste concentram microrregiões nas quais as variações climáticas, em média, contribuiriam para a elevação do nível de eficiência (com exceção do estado de Espírito Santo), as regiões Sul e Nordeste apresentaram heterogeneidade dos efeitos e, nas regiões Centro-Oeste e Norte, as variações climáticas contribuiriam, em média, para a redução do nível de eficiência. É interessante destacar que a região Centro-Oeste e a região Norte são caracterizadas pela presença do bioma Cerrado e Amazônico, respectivamente, os quais são configurados como *Hotspot* ambientais e ecológicos, ou seja, vem sendo ameaçados com rápida alteração das coberturas florestais a partir de ações antrópicas (STRASSBURG et al., 2018).

Figura 21: *Box-plot* dos valores de efeitos climáticos para as unidades federativas.
Fonte: elaboração própria.

Figura 22: *Box-plot* dos valores de efeitos climáticos para as bacias hidrográficas.
Fonte: elaboração própria.

Figura 23: Distribuição espacial do efeito climático médio por microrregião.
Fonte: elaboração própria.

A divergência entre os resultados gerais obtidos para a região Sudeste e Norte, por exemplo, podem ser explicadas pela incidência de tratamento de esgoto no *mix* de produção. Os resultados obtidos pelo modelo de fronteira estocástica indicam que o efeito da elevação da temperatura, e consequente redução da pluviometria, são redutores de custos para o tratamento de esgoto, embora elevem o custo do tratamento de água.

Nesse sentido, a Figura 24 apresenta a distribuição espacial da porcentagem de água tratada (WS) no *mix* de produção. Os resultados destacam a participação de tratamento de esgoto reduzida nas regiões em que o efeito climático gera pressão sobre os custos. Nesse sentido, a expansão do tratamento de esgoto pode ter também o efeito positivo de mitigar a pressão climática sobre os custos de tratamento de água e esgoto. Esses resultados indicam que o efeito climático médio como redutor de custos em algumas regiões esteja associado à presença de empresas exclusivamente tratadoras de esgoto. De fato, a região Sudeste, que concentra os efeitos climáticos negativos, possui 46,5% das empresas que tratam apenas esgoto.

Figura 24: Distribuição espacial da participação de água tratada no *mix* de produção.
Fonte: elaboração própria.

Vale destacar que os efeitos marginais médios estimados pela fronteira estocástica indicam que o *mix* de produção associado ao *break-even* do choque climático é 68,08% para o tratamento de água e 31,94% para tratamento de esgoto³². Considerando apenas os municípios que possuem a totalidade da população atendida com tratamento de água e esgoto ($N = 618$), o tratamento de água representa em média 84,23% do *mix* de produção, com intervalo de confiança à 95% de $\pm 1,97\%$. Ou seja, um *mix* de produção acima do ponto de *break-even*, indicando que, na média, mesmo para cidades que já alcançaram a totalidade do tratamento de água e esgoto, o aumento da temperatura pode elevar os custos de produção.

A partir do efeito climático sobre a eficiência (u_ϕ) e da tendência de crescimento da temperatura (g) estimado na seção 3.6.2, é possível estimar o custo climático (C_ϕ) para as

³² Ver Tabela 7.

Tabela 7. Seja x a participação de água tratada no *mix*, então: $(x) * (63.60) + (1 - x) * (-135.50) = 0 \Rightarrow x = 68.06\%$

empresas de saneamento gerado pelo aquecimento da temperatura atmosférica³³. Considerando a média e o intervalo de confiança 95% para a taxa de crescimento anual da temperatura, bem como para o efeito estimado da temperatura sob o nível de eficiência (u_ϕ) foram gerados cenários para os custos climáticos entre 2010 e 2099. Adotando 2010 como base por ser o ano médio da amostra e o custo médio amostral por empresa como custo de referência (C^*), o crescimento acumulado da temperatura ao longo do tempo gera curvas de custos climáticos, as quais estão apresentadas na Figura 25.

Conforme apresentado na Tabela 4, a tendência de crescimento da temperatura média em 0,081% a.a. implica que o crescimento da temperatura média em 1% deve ocorrer entre 12,1 e 12,4 anos, ou seja, em aproximadamente 13 anos. Dado que o custo médio por empresa na amostra é de R\$ 72 milhões, e a temperatura média estimada para as regiões amostradas é de 23,94°C, o acréscimo de 0,24 °C acumulado até 2023 geraria um custo climático médio entre R\$ 9,19 milhões e R\$ 11,74 milhões constantes de 2018 por empresa. Até 2036, os efeitos climáticos podem, em média, elevar os custos de produção em 25,5%.

Figura 25: Projeção do custo climático médio por empresa

Fonte: elaboração própria.

³³ O Anexo D detalha os cálculos realizados para a projeção dos custos climáticos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A universalização dos serviços sanitários ainda é um limitante para o desenvolvimento econômico e social do Brasil. Apesar de ser consensual que os efeitos da expansão do tratamento de água e esgoto geram externalidades positivas sobre saúde, escolaridade e renda, o Brasil almeja alcançar a plenitude da prestação desses serviços por volta de 2033, uma marca já alcançada por países de alta renda e, também, de outros pares da América do Sul há vários anos. Além do atraso na garantia desses serviços básicos, o retrato conjuntural e estrutural é pouco favorável, devido à ausência de uma agência reguladora efetiva que promova a competição e o progresso técnico, à baixa eficiência na prestação dos serviços, e à vulnerabilidade em face de mudanças climáticas.

Nessa perspectiva, os resultados desta pesquisa contribuem para quantificar os desafios relacionados à expansão e competitividade dos serviços, bem como apresenta ferramentas capazes de identificar características e fontes para melhorar o desempenho econômico e ambiental desse setor. Os resultados indicam que a eficiência técnica de longo prazo das empresas de saneamento entre 1995 e 2016 foi, em média, 84,7%. Esse resultado sugere que, dado o conjunto tecnológico disponível atualmente, é possível elevar a eficiência em 15,3 pontos percentuais no longo prazo. Ademais, a estimativa de crescimento real dos custos das empresas entre 1995 e 2016 em -1,13% a.a. indica que a produtividade vem reduzindo nas últimas décadas, tornando o setor menos competitivo e não sustentável no longo prazo. Esse resultado indica que o potencial de atração de investimentos privados pelo novo marco regulatório pode ser aquém do esperado devido à baixa atratividade dos negócios.

O crescimento populacional das cidades, embora possa elevar os ganhos de eficiência e produtividade a partir de ganhos de escala e de densidade, está associado a um aumento dos vazamentos proporcionalmente maior que o aumento da densidade de ligações. Para que os objetivos de universalização dos serviços de saneamento sejam atingidos de forma sustentável, é importante associar a expansão do saneamento a políticas de urbanização que permitam manutenção adequada da infraestrutura instalada. Além disso, a tendência de redução populacional nas cidades menores deve pressionar os custos devido à redução de escala, reduzindo a atratividade de investimentos.

Além de efeitos demográficos, a sustentabilidade do setor de saneamento também é vulnerável a mudanças climáticas. De fato, os resultados indicam que o nível de eficiência técnica é correlacionado com as variações climáticas: o aumento da temperatura atmosférica

pode elevar os custos em 25,5% até 2036, em média. O encarecimento dos custos de produção pode dificultar o acesso das famílias de baixa renda a esses serviços.

O setor, por outro lado, possui diversas fontes para elevar a produtividade e mitigar os efeitos climáticos adversos. De forma geral, a indústria de saneamento possui ganhos de escala a serem explorados para elevar a produtividade e, dada a relação climática com o tratamento de água e esgoto, a expansão do tratamento de esgoto pode contribuir para redução do custo climático. Estima-se que as empresas que apresentam *mix* de produção de 68,06% de água tratada e 31,94% de esgoto tratado representem o ponto para o qual as perdas de eficiência associados à elevação da temperatura no tratamento de água sejam compensadas pelos ganhos de eficiência no tratamento de esgoto no longo prazo.

Destaca-se que os *scores* de eficiência estimados para as empresas de saneamento entre 1995 e 2016 podem ser utilizados em análises e gestão de políticas públicas voltadas à regulação do setor para promover a competitividade. Além disso, os resultados permitem também acessar o desempenho ao longo do tempo das empresas, verificando aquelas que apresentaram e não apresentaram crescimento dos níveis de eficiência técnica e produtividade.

Incentiva-se que futuros trabalhos busquem verificar fontes de ineficiência alocativa, o que permitiria identificar e mensurar possíveis ganhos de eficiência a partir de ajustes contratuais, e de demais aspectos regulatórios. Incentiva-se também a inclusão de variáveis que captem o efeito da cobertura florestal e de matas ripárias, a fim de compreender os ganhos ambientais associados à melhora da qualidade da água e mitigação de efeitos climáticos adversos.

Por fim, a tendência de regresso tecnológico indica a necessidade de reformas institucionais que sejam capazes de elevar a produtividade do setor, sob o risco de continuar adiando a universalização da prestação dos serviços de saneamento e, por consequência, restringir o desenvolvimento econômico e social. Para tanto, a adoção de políticas ambientais e urbanas pode contribuir para mitigar efeitos adversos, e elevar a competitividade dessa indústria.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M.; COHEN, B.; WANG, W. C. The performance of the urban water and wastewater sectors in Australia. **Utilities Policy**, 2012. 52-63.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 176. 2005.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas**. Ministério do Meio Ambiente, Ministério das Cidades. Brasília, p. 92. 2017.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Portal de metadados geoespaciais da ANA, 2019. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 21 Setembro 2019.
- ANEEL. **Metodologia para cálculo dos custos operacionais de empresas de transmissão visando a primeira revisão tarifária periódica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 55. 2006.
- ANWANDTER, L.; OZUNA, T. J. Can public sector reforms improve the efficiency of public water utilities? **Environment and Development Economics**, 2002. 687-700.
- AUBERT, C.; REYNAUD, A. The Impact of Regulation on Cost Efficiency: An Empirical Analysis of Wisconsin Water Utilities. **Journal of Productivity Analysis**, 2005. 383-409.
- AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water quality & treatment: A handbook on drinking water**. 6^a. ed. Denver: McGraw-Hill, v. I, 2011.
- BADUKENKO, O.; KUMBHAKAR, S. C. Economies of scale, technical change and persistent and time-varying cost efficiency in Indian banking: Do ownership, regulation and heterogeneity matter? **European Journal of Operational Research**, 2017. 789-803.
- BALTAGI, B. H. **Econometric Analysis of Panel Data**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- BARBOSA, M. C.; ALAM, K.; MUSHTAQ, S. Water policy implementation in the state of São Paulo, Brazil: Key challenges and opportunities. **Environmental Science & Policy**, 2016. 11-18.
- BATTESE, G. E.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J. A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies. **Journal of Productivity Analysis**, 2004. 91-103.
- BHATTACHARYYA, A. et al. Specification and estimation of the effect of ownership on the economic efficiency of the water utilities. **Regional Science and Urban Economics**, 1995. 759-784.
- BHATTACHARYYA, A.; PARKER, E.; RAFFIEE, K. An examination of the effect of ownership on the relative efficiency of public and private water utilities. **Land Economics**, 1994. 197-209.

- BITZER, J.; GOREN, E. Measuring capital services by energy use: an empirical comparative study. **Applied Economics**, 2016. 5152-5167.
- BOTTASSO, A.; CONTI, M. Cost Inefficiency in the English and Welsh Water Industry: An Heteroskedastic Stochastic Cost Frontier Approach. **Economics Discussion Papers 8872, University of Essex, Department of Economics**, 2003. 1-25.
- BRAGA, B. et al. A reforma institucional do setor de recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A. D. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3ª. ed. São Paulo: Escrituras, v. I, 2006. Cap. 20, p. 639-675.
- BRASIL. LEI Nº 8.987/1995, 1995. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8987compilada.htm>. Acesso em: 18 Março 2019.
- BRASIL. LEI Nº 11.445/2007, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 18 Março 2019.
- BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Ministério das Cidades. Brasília, p. 172. 2013.
- BRASIL. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 868/2018, 2018. Acesso em: 18 Março 2019.
- BRASIL. LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm>. Acesso em: 01 setembro 2020.
- BYRNES, J. et al. The relative economic efficiency of urban water utilities in regional New South Wales and Victoria. **Resource and Energy Economics**, 26 Agosto 2009. 439-455.
- CABRERA, E. J.; ESTRUCH-JUAN, E.; MOLINOS-SENANTE, M. Adequacy of DEA as a regulatory tool in the water sector. The impact of data uncertainty. **Environmental Science and Policy**, 2018. 155-162.
- CARVALHO, P.; MARQUES, R. C. The influence of the operational environment on the efficiency of water utilities. **Journal of Environmental Management**, 2011. 2698-2707.
- CARVALHO, P.; PEDRO, I.; MARQUES, R. C. The most efficient clusters of Brazilian water companies. **Water Policy**, 2015. 902-917.
- CASTRO, N. R.; SPOLADOR, H. F. S.; MARIN, F. R. Assessing the economy–climate relationships for Brazilian agriculture. **Empirical Economics**, 10 Maio 2019. 1-28.
- CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano nacional de recursos hídricos**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília, p. 122. 2011.
- COELLI, T. et al. **A Primer on Efficiency Measurements for Utilities and Transport Regulators**. Washington, D.C.: THE WORLD BANK, 2003.

- COLOMBI, R.; MARTINI, G.; VITTADINI, G. **A stochastic frontier model with short-run and long-run inefficiency random effects**. Università Degli Studi di Bergamo. Bergamo, p. 19. 2011.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 27. 2005.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 9. 2011.
- CORTON, M. L. Benchmarking in the Latin American water sector: the case of Peru. **Utilities Policy**, 28 Março 2003. 133-142.
- CUBBIN, J.; TZANIDAKIS, G. Regression versus data envelopment analysis for efficiency measurement: an application to the England and Wales regulated water industry. **Utilities Policy**, 1998. 75-85.
- ERBETTA, F.; CAVE, M. Regulation and efficiency incentives: Evidence form the England and Wales water and sewerage industry. **Review of Network Economics**, 2006. 425-452.
- ESTACHE, A.; KOUASSI, E. Sector Organization, Governance, and the Inefficiency of African Water Utilities. **Policy Research Working Paper**, 2002.
- ESTACHE, A.; ROSSI, M. How different is the efficiency of public and private water companies in Asia? **World Bank Economic Review**, 2002. 139-148.
- ESTACHE, A.; TRUJILLO, L. Efficiency effects of “privatization” in Argentina’s water and sanitation services. **Water Policy**, 2003. 369-380.
- ESTEVEZ, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FABBRI, P.; FRAQUELLI, G. Costs and Structure of Technology in the Italian Water Industry. **Empirica**, 2000. 65-82.
- FERRO, G. et al. Efficiency in Brazil’s water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. **Utilities Policy**, 2014. 42-51.
- FILIPPINI, M.; HROVATIN, N.; ZORIC, J. Cost efficiency of Slovenian water distribution utilities: an application of stochastic frontier methods. **Journal of Productivity Analysis**, 2008. 169-182.
- FRAQUELLI, G.; MOISO, V. Cost efficiency and economies of scale in the Italian Water Industry. **Società Italiana di Economia Pubblica (SISP). Dipartimento di Economia Pubblica e Territoriale – Università di Pavia.**, 2005. Disponível em: <<http://www.siepweb.it/siep/oldDoc/wp/420.pdf>>.
- GALVÃO JUNIOR, A. D. C.; TUROLLA, F. A.; PAGANINI, W. D. S. Viabilidade da regulação de subnacional de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário sob a Lei 11.445/2007. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, abr/jun 2018. 134-143.

- GARCIA, S.; MOREAUX, M.; REYNAUD, A. Measuring economies of vertical integration in network industries: An application to the water sector. **International Journal of Industrial Organization**, 2007. 791-820.
- GARCIA, S.; THOMAS, A. The Structure of Municipal Water Supply Costs: Application to a Panel of French Local Communities. **Journal of Productivity Analysis**, 2001. 5-29.
- GARCÍA-SÁNCHEZ, I. M. Efficiency Measurement in Spanish Local Government: The Case of Municipal Water Services. **Review of Policy Research**, 2006. 355-371.
- GROOVER, V. I. Impact of Climate Change on the Water Cycle. In: SHRESTA, S., et al. **Managing Water Resources Under Climate Uncertainty - Examples from Asia, Europe, Latin America, and Australia**. 1^a. ed. : Springer, v. I, 2015. Cap. 1, p. 3-30.
- HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOUÇAS, A. D. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3^a. ed. São Paulo: Escrituras, v. I, 2006. Cap. 9, p. 269-324.
- HUANG, C. J.; HUANG, T.-H.; LIU, N.-H. A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework. **Journal of Productivity Analysis**, 2014. 241-254.
- IBGE. Cadastro de Localidades Brasileiras Seleccionadas, Brasília, 2011. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/localidades>. Acesso em: 06 Dezembro 2019.
- IBGE. EstimaPop. **Estimativas de População**, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estimapop/tabelas>. Acesso em: 03 setembro 2020.
- IBGE. IBGE divulga estimativa da população dos municípios para 2020. **Agência IBGE Notícias**, 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28668-ibge-divulga-estimativa-da-populacao-dos-municipios-para-2020#:~:text=O%20IBGE%20divulga%20hoje%20as,77%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202019.>. Acesso em: 08 setembro 2020.
- IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and**. IPCC. , p. 630. 2019.
- JONES, C. L.; VOLLRATH, D. **Introduction to Economic Growth**. 2^a. ed. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 2013.
- KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions. **Econometrica**, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, Setembro 1986.
- KUMBHAKAR, S. C.; HESHMATI, A. Efficiency Measurement in Swedish Dairy Farms: An Application of Rotating Panel Data, 1976-88. **American Journal of Agriculture Economics**, Agosto 1995. 660-674.
- KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic Frontier Analysis**. 1^a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1, 2000.

- KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.-J.; HORNCastle, A. P. **A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata**. 1ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1, 2015.
- LAFFONT, J. J.; TIROLE, J. **Competition in Telecommunications Munich Lectures in Economics**. 1ª. ed. : MIT Press, 2000.
- LAMBERT, D. K.; DICHEV, D.; RAFFIEE, K. Ownership and Sources of Inefficiency in the Provision of Water Services. **Water Resources Research**, 1993. 1573-1578.
- LIEN, G.; KUMBHAKAR, S. C.; ALEM, H. Endogeneity, heterogeneity, and determinants of inefficiency in Norwegian crop-producing farms. **International Journal of Production Economics**, 2018. 53-61.
- MARENGO, J. A.; DIAS, P. L. D. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A. D. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3ª. ed. São Paulo: Escrituras, v. I, 2006. Cap. 3, p. 63-109.
- MARQUES, R. C.; BERG, S.; YANE, S. Nonparametric Benchmarking of Japanese Water Utilities: Institutional and Environmental Factors Affecting Efficiency. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2014.
- MASSARUTO, A.; ERMANO, P. Drowned in an inch of water: How poor regulation has weakened the Italian water reform. **Utilities Policy**, 2013. 20-31.
- MELO-BECERRA, L. A.; OROZCO-GALLO, A. J. Technical efficiency for Colombian small crop and livestock farmers: A stochastic metafrontier approach for different production systems. **Journal of Productivity Analysis**, n. 47, p. 1-16, Novembro 2016.
- MIZUTANI, F.; URAKAMI, T. Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations. **Papers in Regional Science**, 2001. 211-230.
- MOLINOS-SENANTE, M.; MAZIOTIS, A. A metastochastic frontier analysis for technical efficiency comparison of water companies in England and Wales. **Environmental Science and Pollution Research**, 2019. 12.
- MOLINOS-SENANTE, M.; MAZIOTIS, A. Productivity growth and its drivers in the Chilean water and sewerage industry: a comparison of alternative benchmarking techniques. **Urban Water Journal**, 2019. 353-364.
- MOLINOS-SENANTE, M.; VILLEGAS, A.; MAZIOTIS, A. Are water tariffs sufficient incentives to reduce water leakages? An empirical approach for Chile. **Utilities Policy**, 2019. 1-10.
- MOTTA, R. S. D.; MOREIRA, A. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. **Utilities Policy**, 2006. 185-195.
- MURTHA, N. A.; CASTRO, J. E.; HELLER, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, jul-set 2015. 193-210.

- PICAZO-TADEO, A. J.; SAÉZ-FERNANDEZ, F. J.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, F. Does service quality matter in measuring the performance of water utilities? **Utilities Policy**, 2008. 30-38.
- POWELL, K.; SZYMANSKI, S. Regulation through comparative performance evaluation. **Utilities Policy**, 1997. 293-301.
- PRICE, J. I. et al. Production Costs, Inefficiency, and Source Water Quality: A Stochastic Cost Frontier Analysis of Canadian Water Utilities. **Land Economics**, v. I, n. 93, p. 1-11, Fevereiro 2017.
- QI, L.; BRAVO-URETA, B. E.; CABRERA, V. E. From cold to hot: Climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. **Journal of Dairy Science**, 27 Agosto 2015. 8664-8677.
- RENZETTI, S.; DUPONT, D. P. Measuring the Technical Efficiency of Municipal Water Suppliers: The Role of Environmental Factors. **Land Economics**, 2009. 627-638.
- ROMANO, G.; GUERRINI, A. Measuring and comparing the efficiency of water utility companies: A data envelopment analysis approach. **Utilities Policy**, 2011. 202-209.
- SAAL, D. S.; PARKER, D.; WEYMAN-JONES, T. Determining the contribution of technical change, efficiency change and scale change to productivity growth in privatized English and Welsh water and sewerage industry: 1985-2000. **Journal of Productivity Analysis**, 2007. 127-139.
- SABBIONI, G. Efficiency in the Brazilian sanitation sector. **Utilities Policy**, 2008. 11-20.
- SAIANI, C. C. S.; TONETO JÚNIOR, R. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). **Economia e Sociedade**, Campinas, Abril 2010. 79-106.
- SAIANI, C.; AZEVEDO, P. F. D. Is privatization of sanitation services good for health? **Utilities Policy**, 26 Abril 2018. 27-36.
- SAMPAIO, P. R. P.; SAMPAIO, R. S. R. The challenges of regulating water and sanitation tariffs under a three-level shared-authority federalism model: The case of Brazil. **Utilities Policy**, 2020. 1-11.
- SAWKINS, J. W. Yardstick competition in the English and Welsh water industry. **Utilities Policy**, 1995.
- SCRIPTORE, J. S.; TONETO JÚNIOR, R. A estrutura de provisão dos serviços de saneamento básico no Brasil: uma análise comparativa do desempenho dos provedores públicos e privados. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, nov/dez 2012. 1479-1504.
- SECTOR Organization, Governance, and the Inefficiency of African Water Utilities. **Policy Research Working Paper 2890 - The World Bank**, 2002.
- SHLEIFER, A. A theory of yardstick competition. **The RAND Journal of Economics**, 1985. 319-327.

- SILBERBERG, E.; SUEN, W. **The Structure of Economics: A Mathematical Analysis**. 3ª. ed. New York: McGraw-Hill, v. 1, 2001.
- SNIS. SNIS - Série Histórica. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**, 2019. Disponível em: <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 18 março 2019.
- SOARES, S. R. A.; CORDEIRO NETTO, O. D. M.; BERNANDES, R. S. Avaliação de aspectos políticos institucionais e econômico-financeiros do setor de saneamento no Brasil com vistas à definição de elementos para um modelo conceitual. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003. 84-94.
- SOUSA JÚNIOR, W. et al. Water: Drought, Crisis and Governance in Australia and Brazil. **Water**, 2016. 1-21.
- SOUZA, G. D. S. E.; FARIA, R. C. D.; MOREIRA, T. B. S. Estimating the relative efficiency of Brazilian publicly and privately owned water utilities: a stochastic cost frontier approach. **Journal of the American Water Resources Association**, Outubro 2007. 1237-1244.
- STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, 23 Março 2017.
- TIEZZI, R. O. et al. Trends of streamflow under climate change for 26 Brazilian basins. **Water Policy**, 2019. 206-220.
- TRATABRASIL. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2020 (SNIS 2018)**. INSTITUTO TRATABRASIL. São Paulo - SP, p. 133. 2020.
- TRIEBS, T. P. et al. Estimating economies of scale and scope with flexible technology. **Journal of Productivity Analysis**, 2016. 173-186.
- TSIONAS, E. G.; KUMBHAKAR, S. C. Firm Heterogeneity, Persistent and Transient Technical Efficiency: A Generalized True Random-Effects Models. **Journal of Applied Econometrics**, 2014. 110-132.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnology**. 1ª. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, v. 1, 2011.
- TUPPER, H. C.; RESENDE, M. Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study. **Utilities Policy**, 2004. 29-40.
- WALTER, M. et al. Quo vadis efficiency analysis of water distribution? A comparative literature review. **Utilities Policy**, 2009. 225-232.
- WEIL, D. N. Accounting For The Effect of Health On Economic Growth. **Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, Agosto 2007. 1265-1306.
- WOODBURY, K.; DOLLERY, B. Efficiency Measurement in Australian Local Government: The Case of New South Wales Municipal Water Services. **Review of Policy Research**, 2004. 615-636.
- WORLD BANK. World Development Indicators. **The World Bank**, 2020. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>>.

- WORTHINGTON, A. C. A review of frontier approaches to efficiency and productivity measurement in urban water utilities. **Urban Water Journal**, 2014. 55-73.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980 - 2013). **International Journal of Climatology**, 2015. 16 p.
- ZOUBOULIS, A.; TOLKOU, A. Effect of Climate Change in Wastewater Treatment Plants: Reviewing the Problems and Solutions. In: SHRESTA, S., et al. **Managing Water Resources und Climate Uncertainty - Examples from Asia, Europe, Latin America and Australia**. 1^a. ed. : Springer, v. I, 2015. Cap. 10, p. 197-222.

ANEXOS

ANEXO A

Uma função custo *translog* com dois fatores de produção e um produto pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \ln C = & \beta_0 + \beta_1 \ln w p_1 + \beta_2 \ln p_2 + \beta_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{11} \ln p_1^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} \ln p_2^2 + \frac{1}{2} \beta_{yy} \ln y^2 \\ & + \beta_{12} \ln p_1 \ln p_2 + \beta_{1y} \ln p_1 \ln y + \beta_{2y} \ln p_2 \ln y \end{aligned} \quad (24)$$

A homogeneidade de grau 1 dos preços exige que $\beta_1 + \beta_2 = 1$; $\beta_{11} + \beta_{12} = 0$; $\beta_{22} + \beta_{12} = 0$; $\beta_{1y} + \beta_{2y} = 0$. Ou seja, a expressão (24) pode ser reescrita considerando que $\beta_1 = (1 - \beta_2)$; $\beta_{11} = \beta_{22} = -\beta_{12}$; $\beta_{1y} = -\beta_{2y}$. Assim:

$$\begin{aligned} \ln C = & \beta_0 + (1 - \beta_2) \ln p_1 + \beta_2 \ln p_2 + \beta_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{22} \ln p_1^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} \ln p_2^2 + \frac{1}{2} \beta_{yy} \ln y^2 \\ & - \beta_{22} \ln p_1 \ln p_2 - \beta_{2y} \ln p_1 \ln y + \beta_{2y} \ln p_2 \ln y \end{aligned} \quad (25)$$

ou seja,

$$\begin{aligned} \ln C - \ln p_1 = & \beta_0 + \beta_2 (\ln p_2 - \ln p_1) + \beta_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln p_1^2 + \ln p_2^2 - 2 \ln p_1 \ln p_2) \\ & + \frac{1}{2} \beta_{yy} \ln y^2 + \beta_{2y} (\ln p_2 - \ln p_1) \ln y \end{aligned} \quad (26)$$

rearranjando:

$$\ln \left(\frac{C}{p_1} \right) = \beta_0 + \beta_2 \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) + \beta_y \ln y + \frac{1}{2} \beta_{22} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 + \frac{1}{2} \beta_{yy} \ln y^2 + \beta_{2y} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \ln y \quad (27)$$

ANEXO B

Tabela 10: Classificação das regiões hidrográficas e grupos de meta-fronteira.

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
AC	Brasiléia	Amazonas
AC	Rio Branco	Amazonas
AC	Cruzeiro do Sul	Amazonas
AC	Tarauacá	Amazonas
AL	Arapiraca	São Francisco
AL	Palmeira dos Índios	São Francisco
AL	Litoral Norte Alagoano	Atlântico Nordeste Oriental
AL	Maceió	Atlântico Nordeste Oriental
AL	Mata Alagoana	Atlântico Nordeste Oriental
AL	Penedo	Atlântico Nordeste Oriental
AL	São Miguel dos Campos	Atlântico Nordeste Oriental
AL	Serrana dos Quilombos	Atlântico Nordeste Oriental
AL	Alagoana do Sertão do São Francisco	São Francisco
AL	Santana do Ipanema	São Francisco
AL	Serrana do Sertão Alagoano	São Francisco
AM	Coari	Amazonas
AM	Itacoatiara	Amazonas
AM	Manaus	Amazonas
AM	Parintins	Amazonas
AM	Rio Preto da Eva	Amazonas
AM	Tefé	Amazonas
AM	Rio Negro	Amazonas
AM	Alto Solimões	Amazonas
AM	Juruá	Amazonas
AM	Boca do Acre	Amazonas
AM	Madeira	Amazonas
AM	Purus	Amazonas
AP	Macapá	Amazonas
BA	Feira de Santana	Atlântico Leste
BA	Irecê	São Francisco
BA	Itaberaba	Atlântico Leste
BA	Jacobina	São Francisco
BA	Senhor do Bonfim	São Francisco
BA	Boquira	São Francisco
BA	Brumado	Atlântico Leste
BA	Guanambi	São Francisco
BA	Itapetinga	Atlântico Leste
BA	Jequié	Atlântico Leste
BA	Livramento do Brumado	São Francisco
BA	Seabra	Atlântico Leste
BA	Vitória da Conquista	Atlântico Leste
BA	Cotegipe	São Francisco
BA	Santa Maria da Vitória	São Francisco
BA	Catu	Atlântico Leste
BA	Salvador	Atlântico Leste
BA	Santo Antônio de Jesus	Atlântico Leste
BA	Alagoinhas	Atlântico Leste
BA	Euclides da Cunha	Atlântico Leste
BA	Jeremoabo	Atlântico Leste
BA	Ribeira do Pombal	Atlântico Leste
BA	Serrinha	Atlântico Leste
BA	Ilhéus-Itabuna	Atlântico Leste
BA	Porto Seguro	Atlântico Leste
BA	Valença	Atlântico Leste

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
BA	Barra	São Francisco
BA	Bom Jesus da Lapa	São Francisco
BA	Juazeiro	São Francisco
BA	Paulo Afonso	São Francisco
CE	Iguatu	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Lavras da Mangabeira	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Várzea Alegre	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Baixo Jaguaribe	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Litoral de Aracati	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Médio Jaguaribe	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Serra do Pereiro	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Fortaleza	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Coreaú	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Ibiapaba	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Ipu	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Litoral de Camocim e Acaraú	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Santa Quitéria	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Sobral	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Canindé	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Cascavel	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Chorozinho	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Itapipoca	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Médio Curu	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Uruburetama	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Sertão de Cratús	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Sertão de Inhamuns	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Sertão de Quixeramobim	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Sertão de Senador Pompeu	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Barro	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Brejo Santo	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Cariri	Atlântico Nordeste Oriental
CE	Caririáçu	Atlântico Nordeste Oriental
DF	Brasília	Paraná
ES	Afonso Cláudio	Atlântico Sudeste
ES	Guarapari	Atlântico Sudeste
ES	Santa Teresa	Atlântico Sudeste
ES	Vitória	Atlântico Sudeste
ES	Linhares	Atlântico Sudeste
ES	São Mateus	Atlântico Sudeste
ES	Barra de São Francisco	Atlântico Sudeste
ES	Colatina	Atlântico Sudeste
ES	Nova Venécia	Atlântico Sudeste
ES	Alegre	Atlântico Sudeste
ES	Cachoeiro de Itapemirim	Atlântico Sudeste
ES	Itapemirim	Atlântico Sudeste
GO	Anicuns	Paraná
GO	Ceres	Paraná
GO	Goiânia	Paraná
GO	Iporá	Paraná
GO	Entorno de Brasília	Paraná
GO	Vão do Paranã	Paraná
GO	Rio Vermelho	Araguaia
GO	Chapada dos Veadeiros	Araguaia
GO	Porangatu	Araguaia
GO	Catalão	Paraná
GO	Meia Ponte	Paraná
GO	Quirinópolis	Paraná
GO	Sudoeste de Goiás	Paraná

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
GO	Vale do Rio dos Bois	Paraná
MA	Alto Mearim e Grajaú	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Médio Mearim	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Presidente Dutra	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Baixo Parnaíba Maranhense	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Caxias	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Chapadas do Alto Itapecuru	Parnaíba
MA	Chapadinha	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Codó	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Aglomeração Urbana de São Luís	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Baixada Maranhense	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Litoral Ocidental Maranhense	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Rosário	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Gurupi	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Imperatriz	Araguaia
MA	Pindaré	Atlântico Nordeste Ocidental
MA	Chapadas das Mangabeiras	Parnaíba
MA	Gerais de Balsas	Parnaíba
MA	Porto Franco	Araguaia
MG	Barbacena	Paraná
MG	Lavras	Paraná
MG	São João Del Rei	Paraná
MG	Bom Despacho	São Francisco
MG	Curvelo	São Francisco
MG	Três Marias	São Francisco
MG	Almenara	Atlântico Leste
MG	Araçuaí	Atlântico Leste
MG	Capelinha	Atlântico Leste
MG	Diamantina	Atlântico Leste
MG	Pedra Azul	Atlântico Leste
MG	Belo Horizonte	São Francisco
MG	Conceição do Mato Dentro	São Francisco
MG	Conselheiro Lafaiete	São Francisco
MG	Itabira	São Francisco
MG	Itaguara	São Francisco
MG	Ouro Preto	São Francisco
MG	Pará de Minas	São Francisco
MG	Sete Lagoas	São Francisco
MG	Paracatu	São Francisco
MG	Unai	São Francisco
MG	Bocaiúva	São Francisco
MG	Grão Mogol	São Francisco
MG	Janaúba	São Francisco
MG	Januária	São Francisco
MG	Montes Claros	São Francisco
MG	Pirapora	São Francisco
MG	Salinas	São Francisco
MG	Campo Belo	São Francisco
MG	Divinópolis	São Francisco
MG	Formiga	São Francisco
MG	Oliveira	São Francisco
MG	Piui	São Francisco
MG	Alfenas	Paraná
MG	Andrelândia	Paraná
MG	Itajubá	Paraná
MG	Passos	Paraná
MG	Poços de Caldas	Paraná
MG	Pouso Alegre	Paraná

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
MG	Santa Rita do Sapucaí	Paraná
MG	São Lourenço	Paraná
MG	São Sebastião do Paraíso	Paraná
MG	Varginha	Paraná
MG	Araxá	Paraná
MG	Frutal	Paraná
MG	Ituiutaba	Paraná
MG	Patos de Minas	Paraná
MG	Patrocínio	Paraná
MG	Uberaba	Paraná
MG	Uberlândia	Paraná
MG	Nanuque	Atlântico Leste
MG	Teófilo Otoni	Atlântico Leste
MG	Aimorés	Atlântico Sudeste
MG	Caratinga	Atlântico Sudeste
MG	Governador Valadares	Atlântico Sudeste
MG	Guanhães	Atlântico Sudeste
MG	Ipatinga	Atlântico Sudeste
MG	Mantena	Atlântico Sudeste
MG	Peçanha	Atlântico Sudeste
MG	Cataguases	Atlântico Sudeste
MG	Juiz de Fora	Atlântico Sudeste
MG	Manhuaçu	Atlântico Sudeste
MG	Muriaé	Atlântico Sudeste
MG	Ponte Nova	Atlântico Sudeste
MG	Ubá	Atlântico Sudeste
MG	Viçosa	Atlântico Sudeste
MS	Alto Taquari	Paraguai
MS	Campo Grande	Paraná
MS	Cassilândia	Paraná
MS	Paranaíba	Paraná
MS	Três Lagoas	Paraná
MS	Bodoquena	Paraguai
MS	Iguatemi	Paraná
MT	Alto Pantanal	Paraguai
MT	Alto Paraguai	Paraguai
MT	Cuiabá	Paraguai
MT	Rosário Oeste	Paraguai
MT	Canarana	Araguaia
MT	Médio Araguaia	Araguaia
MT	Norte Araguaia	Araguaia
MT	Alta Floresta	Amazonas
MT	Alto Teles Pires	Amazonas
MT	Arinos	Amazonas
MT	Aripuanã	Amazonas
MT	Colíder	Amazonas
MT	Paranatinga	Amazonas
MT	Parecis	Amazonas
MT	Sinop	Amazonas
MT	Alto Araguaia	Araguaia
MT	Primavera do Leste	Araguaia
MT	Rondonópolis	Araguaia
MT	Tesouro	Araguaia
MT	Alto Guaporé	Amazonas
MT	Jauru	Paraguai
MT	Tangará da Serra	Paraguai
PA	Almeirim	Amazonas
PA	Óbidos	Amazonas

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
PA	Santarém	Amazonas
PA	Arari	Amazonas
PA	Furos de Breves	Amazonas
PA	Portel	Amazonas
PA	Belém	Amazonas
PA	Castanhal	Amazonas
PA	Bragantina	Araguaia
PA	Cametá	Araguaia
PA	Guamá	Araguaia
PA	Salgado	Araguaia
PA	Tomé-Açu	Araguaia
PA	Conceição do Araguaia	Araguaia
PA	Marabá	Araguaia
PA	Paragominas	Araguaia
PA	Parauapebas	Araguaia
PA	Redenção	Araguaia
PA	São Félix do Xingu	Araguaia
PA	Tucuruí	Araguaia
PA	Altamira	Amazonas
PA	Itaituba	Amazonas
PB	Brejo Paraibano	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Campina Grande	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Curimataú Ocidental	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Curimataú Oriental	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Esperança	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Guarabira	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Itabaiana	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Umbuzeiro	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Cariri Ocidental	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Cariri Oriental	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Seridó Ocidental Paraibano	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Seridó Oriental Paraibano	Atlântico Nordeste Oriental
PB	João Pessoa	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Litoral Norte	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Litoral Sul	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Sapé	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Cajazeiras	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Catolé do Rocha	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Itaporanga	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Patos	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Piancó	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Serra do Teixeira	Atlântico Nordeste Oriental
PB	Sousa	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Alto Capibaribe	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Brejo Pernambucano	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Garanhuns	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Médio Capibaribe	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Vale do Ipanema	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Vale do Ipojuca	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Mata Meridional Pernambucana	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Mata Setentrional Pernambucana	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Vitória de Santo Antão	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Itamaracá	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Recife	Atlântico Nordeste Oriental
PE	Itaparica	São Francisco
PE	Petrolina	São Francisco
PE	Araripina	São Francisco
PE	Pajeú	São Francisco

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
PE	Salgueiro	São Francisco
PE	Sertão do Moxotó	São Francisco
PI	Campo Maior	Parnaíba
PI	Médio Parnaíba Piauiense	Parnaíba
PI	Teresina	Parnaíba
PI	Valença do Piauí	Parnaíba
PI	Baixo Parnaíba Piauiense	Parnaíba
PI	Litoral Piauiense	Parnaíba
PI	Alto Médio Canindé	Parnaíba
PI	Picos	Parnaíba
PI	Pio IX	Parnaíba
PI	Alto Médio Gurguéia	Parnaíba
PI	Bertolândia	Parnaíba
PI	Chapadas do Extremo Sul Piauiense	Parnaíba
PI	São Raimundo Nonato	Parnaíba
PR	Campo Mourão	Paraná
PR	Jaguariaíva	Paraná
PR	Telêmaco Borba	Paraná
PR	Guarapuava	Paraná
PR	Pitanga	Paraná
PR	Cerro Azul	Paraná
PR	Curitiba	Paraná
PR	Paranaguá	Paraná
PR	Rio Negro	Paraná
PR	Cianorte	Paraná
PR	Paranavaí	Paraná
PR	Umuarama	Paraná
PR	Astorga	Paraná
PR	Faxinal	Paraná
PR	Floraí	Paraná
PR	Londrina	Paraná
PR	Maringá	Paraná
PR	Porecatu	Paraná
PR	Assaí	Paraná
PR	Cornélio Procopio	Paraná
PR	Jacarezinho	Paraná
PR	Toledo	Paraná
PR	Capanema	Paraná
RJ	Bacia de São João	Atlântico Sudeste
RJ	Lagos	Atlântico Sudeste
RJ	Cantagalo-Cordeiro	Atlântico Sudeste
RJ	Nova Friburgo	Atlântico Sudeste
RJ	Santa Maria Madalena	Atlântico Sudeste
RJ	Três Rios	Atlântico Sudeste
RJ	Macacu-Caceribu	Atlântico Sudeste
RJ	Rio de Janeiro	Atlântico Sudeste
RJ	Serrana	Atlântico Sudeste
RJ	Vassouras	Atlântico Sudeste
RJ	Itaperuna	Atlântico Sudeste
RJ	Santo Antônio de Pádua	Atlântico Sudeste
RJ	Campos dos Goytacazes	Atlântico Sudeste
RJ	Macaé	Atlântico Sudeste
RJ	Baía da Ilha Grande	Atlântico Sudeste
RJ	Barra do Piraí	Atlântico Sudeste
RJ	Vale do Paraíba Fluminense	Atlântico Sudeste
RN	Agreste Potiguar	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Borborema Potiguar	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Macau	Atlântico Nordeste Oriental

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
RN	Seridó Ocidental	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Seridó Oriental	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Litoral Nordeste	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Litoral Sul	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Macaíba	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Natal	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Pau dos Ferros	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Serra de São Miguel	Atlântico Nordeste Oriental
RN	Umarizal	Atlântico Nordeste Oriental
RO	Alvorada D'Oeste	Amazonas
RO	Ariquemes	Amazonas
RO	Cacoal	Amazonas
RO	Vilhena	Amazonas
RO	Porto Velho	Amazonas
RR	Boa Vista	Amazonas
RR	Nordeste de Roraima	Amazonas
RR	Caracará	Amazonas
RR	Sudeste de Roraima	Amazonas
RS	Restinga Seca	Uruguai
RS	Santa Maria	Uruguai
RS	Santiago	Uruguai
RS	Cachoeira do Sul	Atlântico Sul
RS	Lajeado-Estrela	Atlântico Sul
RS	Santa Cruz do Sul	Atlântico Sul
RS	Camaquã	Atlântico Sul
RS	Gramado-Canela	Atlântico Sul
RS	Montenegro	Atlântico Sul
RS	Osório	Atlântico Sul
RS	Porto Alegre	Atlântico Sul
RS	São Jerônimo	Atlântico Sul
RS	Caxias do Sul	Atlântico Sul
RS	Guaporé	Atlântico Sul
RS	Vacaria	Atlântico Sul
RS	Carazinho	Uruguai
RS	Cerro Largo	Uruguai
RS	Cruz Alta	Uruguai
RS	Erechim	Uruguai
RS	Frederico Westphalen	Uruguai
RS	Ijuí	Uruguai
RS	Não-Me-Toque	Uruguai
RS	Passo Fundo	Uruguai
RS	Sananduva	Uruguai
RS	Santa Rosa	Uruguai
RS	Santo Ângelo	Uruguai
RS	Soledade	Uruguai
RS	Três Passos	Uruguai
RS	Jaguarão	Atlântico Sul
RS	Litoral Lagunar	Atlântico Sul
RS	Pelotas	Atlântico Sul
RS	Serras de Sudeste	Atlântico Sul
RS	Campanha Central	Uruguai
RS	Campanha Meridional	Uruguai
RS	Campanha Ocidental	Uruguai
SC	Florianópolis	Atlântico Sul
SC	Tabuleiro	Atlântico Sul
SC	Tijucas	Atlântico Sul
SC	Canoinhas	Paraná
SC	Joinville	Paraná

(Continua)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
SC	São Bento do Sul	Paraná
SC	Chapecó	Uruguai
SC	Concórdia	Uruguai
SC	Joaçaba	Uruguai
SC	São Miguel do Oeste	Uruguai
SC	Xanxerê	Uruguai
SC	Campos de Lages	Uruguai
SC	Curitibanos	Uruguai
SC	Araranguá	Atlântico Sul
SC	Criciúma	Atlântico Sul
SC	Tubarão	Atlântico Sul
SC	Blumenau	Atlântico Sul
SC	Itajaí	Atlântico Sul
SC	Ituporanga	Atlântico Sul
SC	Rio do Sul	Atlântico Sul
SE	Agreste de Itabaiana	Atlântico Leste
SE	Nossa Senhora das Dores	Atlântico Leste
SE	Tobias Barreto	Atlântico Leste
SE	Aracaju	Atlântico Leste
SE	Baixo Cotinguiba	Atlântico Leste
SE	Boquim	Atlântico Leste
SE	Cotinguiba	Atlântico Leste
SE	Estância	Atlântico Leste
SE	Japaratuba	Atlântico Leste
SE	Propriá	Atlântico Leste
SE	Carira	Atlântico Leste
SE	Sergipana do Sertão do São Francisco	Atlântico Leste
SP	Andradina	Paraná
SP	Araçatuba	Paraná
SP	Birigui	Paraná
SP	Araraquara	Paraná
SP	São Carlos	Paraná
SP	Assis	Paraná
SP	Ourinhos	Paraná
SP	Avaré	Paraná
SP	Bauru	Paraná
SP	Jaú	Paraná
SP	Lins	Paraná
SP	Amparo	Paraná
SP	Campinas	Paraná
SP	Mogi Mirim	Paraná
SP	Pirassununga	Paraná
SP	São João da Boa Vista	Paraná
SP	Tatuí	Paraná
SP	Bragança Paulista	Paraná
SP	Jundiaí	Paraná
SP	Sorocaba	Paraná
SP	Marília	Paraná
SP	Tupã	Paraná
SP	Guarulhos	Paraná
SP	Mogi das Cruzes	Paraná
SP	Osasco	Paraná
SP	São Paulo	Paraná
SP	Limeira	Paraná
SP	Piracicaba	Paraná
SP	Rio Claro	Paraná
SP	Adamantina	Paraná

(Conclusão)

UF	Microrregião	Bacia Hidrográfica
SP	Dracena	Paraná
SP	Presidente Prudente	Paraná
SP	Barretos	Paraná
SP	Batatais	Paraná
SP	Franca	Paraná
SP	Ituverava	Paraná
SP	Jaboticabal	Paraná
SP	Ribeirão Preto	Paraná
SP	São Joaquim da Barra	Paraná
SP	Auriflama	Paraná
SP	Catanduva	Paraná
SP	Jales	Paraná
SP	Nhandeara	Paraná
SP	Novo Horizonte	Paraná
SP	São José do Rio Preto	Paraná
SP	Votuporanga	Paraná
SP	Bananal	Atlântico Sudeste
SP	Guaratinguetá	Atlântico Sudeste
SP	Paraibuna/Paraitinga	Atlântico Sudeste
SP	São José dos Campos	Atlântico Sudeste
TO	Araguaína	Araguaia
TO	Bico do Papagaio	Araguaia
TO	Gurupi	Araguaia
TO	Miracema do Tocantins	Araguaia
TO	Dianópolis	Araguaia
TO	Jalapão	Araguaia
TO	Porto Nacional	Araguaia

ANEXO C

Seja o mix de produção representado pela proporção de capital alocado no tratamento de água e esgoto, o efeito marginal médio para cada empresa pode ser obtido pela expressão (26).

$$CEI = \frac{K_{it}^{WA}}{K_{it}} * \left(\hat{\theta}_1 * \frac{1}{\phi_{WA}} \right) + \frac{(K_{it}^{SE})}{K_{it}} * \left(\hat{\theta}_2 * \frac{1}{\phi_{SE}} \right) \quad (28)$$

onde,

CEI corresponde ao índice de efeitos climáticos;

ϕ_{WA} é o desvio da temperatura em relação à média histórica para empresas WA;

ϕ_{SE} é o desvio da temperatura em relação à média histórica para empresas SE;

$\hat{\theta}_1$ é o coeficiente estimado para $\ln(\phi_{WA})$;

$\hat{\theta}_2$ é o coeficiente estimado para $\ln(\phi_{SE})$;

K_{it} é a variável que representa o estoque de capital usado para elaborar a função custo, ou seja, a extensão da rede de tratamento de água e esgoto;

K_{it}^{WA} é a extensão da rede de tratamento de água;

K_{it}^{SE} a extensão da rede de tratamento de esgoto.

ANEXO D

Seja o efeito marginal médio do aumento da temperatura sob o nível de eficiência (u_ϕ), o coeficiente de aumento da temperatura (Φ) pode descrever a tendência de crescimento dos custos associados ao efeito climático, sendo g a taxa de crescimento anual da temperatura, de modo que o custo climático (C_ϕ) pode ser descrito em função do tempo como:

$$C_\phi(t) = C(t) - C^* \quad (29)$$

onde,

$C_\phi(t)$ é o custo climático no ano t ;

$C(t)$ é o custo total no ano t ;

$C^* = C_0$ é o custo mínimo, ou o custo base no ano inicial $t = 0$.

O custo de produção real pode ser descrito como um valor em proporção do custo mínimo, ou seja, o custo real é o custo mínimo acrescido do efeito climático, tal que:

$$C(t) = [1 + (\Phi(t) * U_\phi)] * C_0 \quad (30)$$

onde,

$\Phi(t)$ é o aumento acumulado da temperatura ao longo do tempo, tal que $\Phi(t) = (1 + g)^t - 1$;

U_ϕ é o multiplicador obtido pela elasticidade do efeito climático u_ϕ , no qual, $U_\phi = u_\phi * 100$.

Assim, rearranjando a expressão (30) e combinando com a expressão (29), pode-se escrever o custo climático $C_\phi(t)$ como:

$$C_\phi(t) = \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \Phi(t) * U_\phi} \right) \right] * C^* \quad (31)$$

ANEXO E

Tabela 11: Eficiência média para as empresas amostradas na pesquisa.

(Continua)				
UF	Município	Prestador	N	OTE
RO	Alta Floresta D'Oeste - RO	SAAE	12	0.88922
RO	Ariquemes - RO	PMA	2	0.9199
RO	Cacoal - RO	SAAE	10	0.87945
RO	Porto Velho - RO	CAERD	1	0.93173
RO	Rolim de Moura - RO	PMRM	3	0.86048
RO	Alvorada D'Oeste - RO	SAAE	12	0.78685
RO	Alto Alegre dos Parecis - RO	PMAAP	2	0.89336
RO	Buritis - RO	ABU	1	0.88423
RO	Campo Novo de Rondônia - RO	PMCNR	10	0.89345
RO	Itapuã do Oeste - RO	PMIO	10	0.86823
RO	Primavera de Rondônia - RO	SAAE	6	0.85785
AC	Brasiléia - AC	PMB	3	0.78917
AC	Plácido de Castro - AC	PMPC	5	0.89235
AC	Rio Branco - AC	DEPASA	17	0.91123
AC	Rio Branco - AC	SAERB	7	0.93144
AM	Atalaia do Norte - AM	PMAN	1	0.88925
AM	Barcelos - AM	SAAE	6	0.90454
AM	Beruri - AM	PMB	3	0.87285
AM	Careiro - AM	PMC	4	0.90605
AM	Fonte Boa - AM	SEMAA	1	0.8869
AM	Iranduba - AM	SAAE	2	0.88785
AM	Lábrea - AM	PML	1	0.90506
AM	Manacapuru - AM	SAAE	6	0.89695
AM	Manaus - AM	COSAMA	14	0.93656
AM	Manaus - AM	MA	15	0.95828
AM	Manicoré - AM	PMM	4	0.89588
AM	Parintins - AM	SAAE	5	0.89697
AM	Santo Antônio do Içá - AM	PMSAI	2	0.90903
AM	São Gabriel da Cachoeira - AM	PMSGC	1	0.90127
AM	Tapauá - AM	PMT	1	0.88902
AM	Tefé - AM	SAAE	1	0.90361
RR	Boa Vista - RR	CAER	22	0.91862
RR	Caracaraí - RR	PMC	3	0.82846
PA	Acará - PA	PMA	1	0.90463
PA	Altamira - PA	PMA	1	0.90316
PA	Bannach - PA	PMB	1	0.85417
PA	Belém - PA	COSANPA	12	0.95338
PA	Belém - PA	SAAEB	3	0.95813
PA	Bom Jesus do Tocantins - PA	BRK	1	0.87744
PA	Bujaru - PA	PMB	1	0.89114
PA	Cachoeira do Piriá - PA	PMCP	3	0.88356
PA	Canaã dos Carajás - PA	SAAE	4	0.78532
PA	Concórdia do Pará - PA	PMCP	4	0.90619
PA	Curuá - PA	PMC	2	0.83307
PA	Gurupá - PA	SAAE	2	0.89707
PA	Jacareacanga - PA	COSANJA	3	0.90429
PA	Mãe do Rio - PA	PMMR	3	0.89031
PA	Maracanã - PA	DISAMA	2	0.89367

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
PA	Medicilândia - PA	PMM	1	0.84804
PA	Melgaço - PA	PMM	4	0.90406
PA	Novo Progresso - PA	PMNP	9	0.87849
PA	Novo Repartimento - PA	PMNR	1	0.89769
PA	Paragominas - PA	SANEPAR	8	0.89731
PA	Parauapebas - PA	SAAEP	11	0.90436
PA	Primavera - PA	SAAE	4	0.85473
PA	Redenção - PA	PMR	1	0.91352
PA	Rurópolis - PA	PMR	3	0.88956
PA	Santa Cruz do Arari - PA	PMSCA	1	0.87112
PA	Santa Isabel do Pará - PA	SAAE	2	0.90042
PA	Santana do Araguaia - PA	PMSA	3	0.90204
PA	Santana do Araguaia - PA	Odebrecht Ambiental	1	0.90713
PA	Santana do Araguaia - PA	BRK	1	0.90765
PA	São João da Ponta - PA	PMSJP	1	0.86533
PA	São João do Araguaia - PA	Odebrecht Ambiental	1	0.8832
PA	São João do Araguaia - PA	BRK	1	0.87952
PA	São Miguel do Guamá - PA	SAAE	1	0.90588
PA	São Sebastião da Boa Vista - PA	PMSSBV	1	0.89698
PA	Terra Alta - PA	PMTA	1	0.88618
PA	Tucuruí - PA	NOSSA AGUA	7	0.90406
AP	Macapá - AP	CAESA	19	0.93366
TO	Ananás - TO	SAAE	10	0.71618
TO	Araguatins - TO	SEMUSA	9	0.88039
TO	Axixá do Tocantins - TO	PMAT	1	0.81618
TO	Bom Jesus do Tocantins - TO	PMBJ	1	0.84041
TO	Cachoeirinha - TO	PMC	1	0.63999
TO	Itacajá - TO	SEMAE	6	0.70502
TO	Pedro Afonso - TO	PMPA	13	0.85262
TO	Praia Norte - TO	PMPN	2	0.69926
TO	Rio Sono - TO	PMRS	2	0.85096
TO	Sampaio - TO	PMS	1	0.70817
TO	Santa Fé do Araguaia - TO	SAAE	2	0.85954
TO	Talismã - TO	HIDROFORTE	4	0.65769
TO	Palmas - TO	SANEATINS	17	0.89429
TO	Palmas - TO	ATS	4	0.8817
MA	Bacabal - MA	SAAE	10	0.9004
MA	Balsas - MA	SAAE	16	0.89281
MA	Belágua - MA	PMB	4	0.89033
MA	Bequimão - MA	PMB	1	0.81458
MA	Buritirana - MA	PMB	1	0.83734
MA	Carolina - MA	SAAE	8	0.8803
MA	Caxias - MA	SAAE	18	0.90159
MA	Centro do Guilherme - MA	PMCG	1	0.88245
MA	Grajaú - MA	SAAE	11	0.90206
MA	Jatobá - MA	PMJ	1	0.79065
MA	Jenipapo dos Vieiras - MA	PMJV	4	0.88171
MA	Lago dos Rodrigues - MA	PMLR	2	0.88294
MA	Lajeado Novo - MA	PMLN	2	0.74544
MA	Nova Olinda do Maranhão - MA	PMNOM	1	0.84777
MA	Paulo Ramos - MA	PMPR	1	0.88183
MA	São Bernardo - MA	PMSB	1	0.68808

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
MA	São João do Paraíso - MA	SAAE	4	0.87463
MA	São Luís - MA	CAEMA	18	0.94658
MA	Serrano do Maranhão - MA	PMSM	1	0.8603
MA	Timon - MA	SAAE	1	0.84874
MA	Viana - MA	SAAE	11	0.90596
MA	Vila Nova dos Martírios - MA	PMVNM	1	0.84756
PI	Alvorada do Gurguéia - PI	PMAG	6	0.81459
PI	Benedictinos - PI	PMB	1	0.81335
PI	Boa Hora - PI	PMBH	2	0.84405
PI	Bom Jesus - PI	PMBJ	1	0.80795
PI	Campo Maior - PI	SAAE	3	0.88164
PI	Cocal - PI	PMC	1	0.86434
PI	Coivaras - PI	PMC	3	0.80757
PI	Cristino Castro - PI	PMCC	1	0.83202
PI	Joaquim Pires - PI	PMJP	1	0.72429
PI	Lagoinha do Piauí - PI	PMLP	1	0.80806
PI	Pajeú do Piauí - PI	PMPP	2	0.86858
PI	Sebastião Barros - PI	PMSB	1	0.86946
PI	Teresina - PI	AGESPISA	18	0.94233
CE	Aiuaba - CE	PMA	5	0.87923
CE	Banabuiú - CE	SAAE	8	0.89233
CE	Boa Viagem - CE	SAAE	14	0.8776
CE	Canindé - CE	SAAE	8	0.89054
CE	Caririaçu - CE	SAMAE	11	0.88584
CE	Deputado Irapuan Pinheiro - CE	PMDIP	3	0.86621
CE	Fortaleza - CE	CAGECE	22	0.9595
CE	Granja - CE	PMG	6	0.90147
CE	Groaíras - CE	PMG	5	0.77878
CE	Icapuí - CE	SAAE	1	0.83865
CE	Icó - CE	SAAE	11	0.88861
CE	Iguatu - CE	SAAE	18	0.89859
CE	Ipaporanga - CE	PMI	2	0.86383
CE	Ipu - CE	SAAE	7	0.88704
CE	Ipueiras - CE	SAAE	2	0.87102
CE	Itapagé - CE	SAAE	3	0.8935
CE	Jaguaribe - CE	SAAE	14	0.87336
CE	Jucás - CE	SAAE	10	0.87013
CE	Limoeiro do Norte - CE	SAAE	13	0.87996
CE	Madalena - CE	SAAE	3	0.88404
CE	Martinópolis - CE	PMM	1	0.855
CE	Mauriti - CE	PMM	1	0.88311
CE	Morada Nova - CE	SAAE	13	0.8737
CE	Nova Russas - CE	SAAE	3	0.83473
CE	Pedra Branca - CE	SAAE	9	0.88489
CE	Pentecoste - CE	PMP	1	0.89271
CE	Pindoretama - CE	SAAE	7	0.84921
CE	Quixelô - CE	SAAE	5	0.86905
CE	Quixeramobim - CE	SAAE	19	0.88723
CE	Sobral - CE	SAAE	21	0.9186
CE	Solonópolis - CE	PMS	4	0.86184
CE	Viçosa do Ceará - CE	PMVC	7	0.89827
RN	Alexandria - RN	SAAE	13	0.86849

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
RN	Brejinho - RN	SAAE	8	0.86409
RN	Carnaúba dos Dantas - RN	PMCD	1	0.78872
RN	Ceará-Mirim - RN	SAAE	5	0.88013
RN	Extremoz - RN	SAAE	2	0.87404
RN	Major Sales - RN	PMMS	1	0.85186
RN	Natal - RN	CAERN	22	0.94198
RN	Passa e Fica - RN	PMPeF	5	0.81428
RN	Presidente Juscelino - RN	PMPJ	2	0.80385
RN	Riacho da Cruz - RN	PMRC	3	0.57596
RN	Santa Cruz - RN	SAAE	4	0.83999
RN	São Fernando - RN	PMSF	2	0.75327
RN	São José do Campestre - RN	PMSJC	1	0.74813
RN	Serra Negra do Norte - RN	PMSNN	10	0.77623
PB	Alagoa Nova - PB	PMAN	1	0.85385
PB	Alagoinha - PB	SAAE	16	0.86662
PB	Amparo - PB	PMA	3	0.56
PB	Bom Jesus - PB	PMBJ	1	0.6964
PB	Caaporã - PB	SAAE	4	0.89604
PB	Caraúbas - PB	PMC	5	0.72828
PB	Catingueira - PB	PMC	4	0.69675
PB	Congo - PB	PMC	2	0.68749
PB	Frei Martinho - PB	PMFM	5	0.67046
PB	João Pessoa - PB	CAGEPA	22	0.9394
PB	Manairá - PB	PMM	3	0.79726
PB	Mataraca - PB	PMM	2	0.83608
PB	Matinhas - PB	PMM	1	0.78717
PB	Maturéia - PB	PMM	1	0.80583
PB	Monte Horebe - PB	PMMH	1	0.67611
PB	Olivedos - PB	PMO	1	0.77238
PB	Pedra Branca - PB	PMPB	5	0.75355
PB	Pedra Lavrada - PB	PMPL	3	0.73766
PB	Pedro Régis - PB	PMPR	1	0.86461
PB	Riacho dos Cavalos - PB	PMRC	3	0.84673
PB	Salgado de São Félix - PB	PMSSF	1	0.79659
PB	Santa Luzia - PB	PMSL	3	0.69996
PB	São Bento - PB	PMSB	5	0.79554
PB	São Bentinho - PB	PMSB	1	0.73002
PB	São Domingos do Cariri - PB	PMSDC	4	0.64428
PB	São José do Brejo do Cruz - PB	PMSJBC	4	0.67657
PB	São Mamede - PB	PMSM	3	0.69059
PB	Solânea - PB	PMS	2	0.89409
PB	Tavares - PB	PMT	3	0.85814
PB	Várzea - PB	PMV	2	0.60832
PE	Água Preta - PE	SAAE	16	0.88823
PE	Araripina - PE	PMA	5	0.78693
PE	Barra de Guabiraba - PE	PMBG	1	0.87903
PE	Betânia - PE	PMB	2	0.8016
PE	Bodocó - PE	PMB	5	0.79607
PE	Bom Jardim - PE	PMBJ	1	0.90317
PE	Cabrobó - PE	PMC	1	0.77209
PE	Canhotinho - PE	PMC	3	0.86656
PE	Catende - PE	SAAE	6	0.88572

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
PE	Chã Grande - PE	PMCG	1	0.79877
PE	Cortês - PE	PMC	6	0.84334
PE	Gameleira - PE	SAAEG	11	0.8869
PE	Granito - PE	PMG	3	0.8241
PE	Iati - PE	PMI	3	0.77231
PE	Ibimirim - PE	PMI	1	0.81472
PE	Itacuruba - PE	PMI	2	0.69609
PE	Itambé - PE	PMI	8	0.87802
PE	Itapissuma - PE	PMI	3	0.8065
PE	Lagoa Grande - PE	PMLG	6	0.82467
PE	Orobó - PE	PMO	1	0.88974
PE	Palmares - PE	SAAE	19	0.88496
PE	Pesqueira - PE	PMP	1	0.80413
PE	Petrolândia - PE	PMP	2	0.80534
PE	Ribeirão - PE	SAAE	10	0.88961
PE	São Joaquim do Monte - PE	PMSJM	1	0.75811
PE	Moreilândia - PE	PMM	2	0.82954
PE	Taquaritinga do Norte - PE	PMTN	2	0.73509
PE	Vertentes - PE	PMV	2	0.80989
PE	Xexéu - PE	SAAE	7	0.88269
AL	Atalaia - AL	SAAE	5	0.89779
AL	Barra de São Miguel - AL	PMBSM	1	0.81211
AL	Boca da Mata - AL	SAAE	11	0.86565
AL	Branquinha - AL	PMB	3	0.86754
AL	Cajueiro - AL	SAAE	11	0.86627
AL	Campo Alegre - AL	PMCA	1	0.88077
AL	Chã Preta - AL	CAEC	5	0.86513
AL	Coruripe - AL	PMC	1	0.8545
AL	Delmiro Gouveia - AL	PMDG	5	0.82011
AL	Feliz Deserto - AL	PMFD	1	0.75523
AL	Jacuípe - AL	PMJ	1	0.74782
AL	Limoeiro de Anadia - AL	PMLA	3	0.87433
AL	Marechal Deodoro - AL	SAAE	15	0.88008
AL	Pão de Açúcar - AL	SAAE	19	0.8708
AL	Penedo - AL	SAAE	18	0.88988
AL	Porto Real do Colégio - AL	SAAE	4	0.89552
AL	Santana do Mundaú - AL	PMSM	4	0.87224
AL	São Luís do Quitunde - AL	PMSLQ	2	0.88411
AL	São Miguel dos Campos - AL	SAAE	7	0.85833
AL	Taquarana - AL	PMT	1	0.88962
AL	Teotônio Vilela - AL	SAAE	7	0.89726
AL	União dos Palmares - AL	SAAE	17	0.88706
AL	Viçosa - AL	SAAE	6	0.87647
SE	Aracaju - SE	DESO	22	0.93387
SE	Areia Branca - SE	PMAB	1	0.81572
SE	Barra dos Coqueiros - SE	PMBC	1	0.75596
SE	Capela - SE	SAAE	19	0.87734
SE	Carmópolis - SE	SAAE	11	0.8444
SE	Estância - SE	SAAE	19	0.88712
SE	Itabaiana - SE	PMI	4	0.89421
SE	Macambira - SE	PMM	5	0.6912
SE	Ribeirópolis - SE	PMR	1	0.85789

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SE	Rosário do Catete - SE	PMRC	2	0.72205
SE	São Cristóvão - SE	SAAE	13	0.90819
SE	Tomar do Geru - SE	PMTG	1	0.80584
BA	Érico Cardoso - BA	SAAE	8	0.86178
BA	Alagoinhas - BA	SAAE	5	0.89474
BA	Araci - BA	PMA	4	0.87243
BA	Banzaê - BA	PMB	1	0.78295
BA	Barra - BA	SAAE	8	0.88322
BA	Bom Jesus da Lapa - BA	SAAE	18	0.8823
BA	Boquira - BA	SAAE	1	0.89305
BA	Buritirama - BA	SAAE	7	0.88933
BA	Caraibas - BA	PMC	1	0.77482
BA	Carinhanha - BA	SAAE	9	0.88414
BA	Casa Nova - BA	SAAE	9	0.88865
BA	Catu - BA	SAAE	7	0.87308
BA	Coribe - BA	SAAE	7	0.85513
BA	Correntina - BA	SAAE	9	0.88197
BA	Correntina - BA	PMC	4	0.8781
BA	Curaçá - BA	SAAE	12	0.85739
BA	Feira da Mata - BA	SAAE	2	0.88321
BA	Gandu - BA	SAAE	11	0.88958
BA	Ibicaí - BA	SAAE	10	0.87634
BA	Igaporã - BA	SAAE	3	0.86333
BA	Itabuna - BA	EMASA	22	0.91561
BA	Itapetinga - BA	SAAE	11	0.88898
BA	Jaborandi - BA	SAAE	6	0.76242
BA	Juazeiro - BA	SAAE	21	0.91981
BA	Lapão - BA	PML	1	0.84367
BA	Livramento de Nossa Senhora - BA	PML	2	0.87131
BA	Macarani - BA	SAAE	16	0.86257
BA	Macaúbas - BA	SAAE	5	0.86507
BA	Maetinga - BA	PMM	1	0.85132
BA	Mirante - BA	PMM	2	0.79495
BA	Mucugê - BA	PMM	7	0.56084
BA	Oliveira dos Brejinhos - BA	SAAE	6	0.89517
BA	Paratinga - BA	SAAE	8	0.88004
BA	Pedro Alexandre - BA	PMPA	1	0.79168
BA	Pilão Arcado - BA	SAAE	2	0.88498
BA	Pindobaçu - BA	SAAE	4	0.89294
BA	Pintadas - BA	PMP	4	0.7955
BA	Piritiba - BA	PMP	2	0.81528
BA	Pojuca - BA	PMP	2	0.80683
BA	Quijingue - BA	PMQ	1	0.8554
BA	Remanso - BA	SAAE	14	0.85429
BA	Riacho de Santana - BA	SAAE	5	0.89087
BA	Ribeirão do Largo - BA	SAAE	3	0.8816
BA	Santa Bárbara - BA	PMSB	1	0.78845
BA	Santa Brígida - BA	PMSB	1	0.7675
BA	Santa Maria da Vitória - BA	SAAE	10	0.87485
BA	Santa Rita de Cássia - BA	SAAE	15	0.83911
BA	São Félix do Coribe - BA	SAAE	9	0.85188
BA	Sebastião Laranjeiras - BA	PMSL	3	0.85503

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
BA	Sobradinho - BA	EMSAE	1	0.89144
BA	Taperoá - BA	SAAE	1	0.86932
BA	Urandi - BA	PMU	3	0.89778
BA	Valença - BA	SAAE	2	0.89114
BA	Wanderley - BA	PMW	1	0.88164
BA	Xique-Xique - BA	SAAE	2	0.8652
MG	Abaeté - MG	PMA	1	0.79626
MG	Açucena - MG	PMA	1	0.7445
MG	Água Comprida - MG	PMAC	1	0.63296
MG	Aimorés - MG	SAAE	10	0.81052
MG	Alpinópolis - MG	PMA	2	0.76673
MG	Alterosa - MG	PMA	5	0.75017
MG	Andradas - MG	PMA	2	0.81541
MG	Araponga - MG	PMA	5	0.84657
MG	Araporã - MG	PMA	5	0.65476
MG	Araújos - MG	SANARJ	1	0.61478
MG	Arcos - MG	PMA	6	0.831
MG	Argirita - MG	PMA	6	0.62933
MG	Arinos - MG	PMA	1	0.65532
MG	Baependi - MG	PMB	2	0.79174
MG	Barbacena - MG	DEMAE	7	0.89149
MG	Barbacena - MG	SAS	5	0.89378
MG	Barroso - MG	PMB	6	0.68075
MG	Belo Horizonte - MG	COPASA	21	0.95667
MG	Boa Esperança - MG	SAAE	3	0.83362
MG	Bocaiúva - MG	SAAE	1	0.85318
MG	Bom Jesus do Amparo - MG	PMB	3	0.65477
MG	Bom Sucesso - MG	ABS	5	0.76181
MG	Buritizeiro - MG	SAAE	13	0.86414
MG	Cabeceira Grande - MG	SANECAB	5	0.82023
MG	Cachoeira da Prata - MG	PMCP	1	0.66603
MG	Caeté - MG	SAAE	12	0.82208
MG	Cambuí - MG	SAAE	7	0.80149
MG	Campestre - MG	PMC	1	0.81339
MG	Cana Verde - MG	PMCV	5	0.76635
MG	Caparaó - MG	PMC	1	0.72037
MG	Capim Branco - MG	PMCB	2	0.82309
MG	Capitão Andrade - MG	PMCA	2	0.71809
MG	Carangola - MG	SEMASA	6	0.82766
MG	Carmésia - MG	PMC	4	0.60037
MG	Carmópolis de Minas - MG	SESAM	9	0.72705
MG	Carvalhópolis - MG	PMC	1	0.68152
MG	Catas Altas - MG	PMCA	4	0.71836
MG	Catas Altas da Noruega - MG	PMCAN	2	0.79333
MG	Coimbra - MG	PMC	1	0.56245
MG	Comendador Gomes - MG	PMCG	4	0.63608
MG	Conquista - MG	PMC	3	0.58218
MG	Conselheiro Pena - MG	SAAE	2	0.78584
MG	Consolação - MG	PMC	1	0.54751
MG	Coqueiral - MG	SAAE	17	0.70491
MG	Córrego do Bom Jesus - MG	PMCBJ	1	0.61841
MG	Cristina - MG	PMC	1	0.85223

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
MG	Cruzeiro da Fortaleza - MG	PMCF	1	0.73261
MG	Dores de Guanhões - MG	PMD	3	0.8497
MG	Espírito Santo do Dourado - MG	PMESD	1	0.82462
MG	Florestal - MG	PMF	3	0.71984
MG	Francisco Sá - MG	SAAE	3	0.84087
MG	Franciscópolis - MG	PMF	1	0.65557
MG	Goiabeira - MG	PMG	4	0.54711
MG	Gouveia - MG	PMG	4	0.63296
MG	Guanhões - MG	SAAE	2	0.83681
MG	Guapé - MG	SAAE	2	0.75916
MG	Guaraciama - MG	PMG	1	0.85636
MG	Guaranésia - MG	PMG	3	0.77905
MG	Gurinhata - MG	PMG	2	0.77429
MG	Ibertioga - MG	PMI	3	0.77746
MG	Inhaúma - MG	PMI	5	0.56576
MG	Itabira - MG	SAAE-Itabira	20	0.88466
MG	Itabirito - MG	SAAE	4	0.82193
MG	Itaguara - MG	SAAE	1	0.70646
MG	Itueta - MG	PMI	5	0.68551
MG	Ituiutaba - MG	SAE	17	0.87994
MG	Itumirim - MG	PMIMG	2	0.62516
MG	Itutinga - MG	PMI	5	0.64762
MG	José Gonçalves de Minas - MG	PMJGM	2	0.6657
MG	Juiz de Fora - MG	CESAMA	18	0.93689
MG	Lagoa dos Patos - MG	PMLP	1	0.717
MG	Lagoa Formosa - MG	SAAE	2	0.78106
MG	Lassance - MG	PML	6	0.83973
MG	Leme do Prado - MG	PMLP	1	0.76259
MG	Leopoldina - MG	PML	1	0.83997
MG	Luz - MG	SAAE	6	0.71534
MG	Manhuaçu - MG	SAAE	11	0.87633
MG	Mantena - MG	SAAE	5	0.78379
MG	Medeiros - MG	PMM	4	0.62151
MG	Minduri - MG	PMM	3	0.68365
MG	Monte Carmelo - MG	DMAE	6	0.84001
MG	Montezuma - MG	PMM	2	0.77169
MG	Morro do Pilar - MG	PMMP	2	0.83283
MG	Muriaé - MG	DEMSUR	16	0.86841
MG	Nova Ponte - MG	DMAE	7	0.69284
MG	Oliveira - MG	SAAE	12	0.8278
MG	Ouro Preto - MG	SEMAE	6	0.85202
MG	Padre Paraíso - MG	PMPP	2	0.7981
MG	Paiva - MG	PMP	1	0.77178
MG	Pará de Minas - MG	CAPAM	2	0.87616
MG	Paraguaçu - MG	COSÁGUA	10	0.79453
MG	Passos - MG	SAAE	9	0.89516
MG	Patrocínio - MG	DAEPA	11	0.87299
MG	Paula Cândido - MG	PMPC	2	0.75314
MG	Pedra Bonita - MG	PMPB	1	0.80936
MG	Pedrinópolis - MG	PMP	6	0.50435
MG	Pequi - MG	PMP	1	0.72853
MG	Perdizes - MG	PMP	3	0.74445

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
MG	Periquito - MG	PMP	1	0.704
MG	Pescador - MG	PMP	1	0.63206
MG	Pirapora - MG	SAAE	10	0.85961
MG	Piumhi - MG	SAAE	5	0.82543
MG	Planura - MG	PMP	4	0.76608
MG	Poço Fundo - MG	PMPF	2	0.82455
MG	Poços de Caldas - MG	DMAE	22	0.89211
MG	Pompéu - MG	PMP	1	0.80892
MG	Porto Firme - MG	PMPF	1	0.84108
MG	Prata - MG	PMP	1	0.81549
MG	Recreio - MG	SAAE	6	0.7127
MG	Rio Acima - MG	PMRA	6	0.67853
MG	Rio Doce - MG	PMRD	2	0.55127
MG	Rio Paranaíba - MG	PMRP	1	0.68599
MG	Rio Piracicaba - MG	PMRP	3	0.74585
MG	Rio Preto - MG	PMRP	6	0.81446
MG	Rodeiro - MG	PMR	8	0.55657
MG	Sacramento - MG	SAAE	15	0.80092
MG	Salto da Divisa - MG	PMSD	1	0.68677
MG	Santa Cruz do Escalvado - MG	PMSCE	4	0.51627
MG	Santa Margarida - MG	PMSM	3	0.8021
MG	Santana do Deserto - MG	PMSD	3	0.81983
MG	Santo Antônio do Amparo - MG	PMSAA	2	0.79319
MG	São Bento Abade - MG	PMSBA	2	0.63806
MG	São Domingos das Dores - MG	PMSDD	3	0.72285
MG	São Félix de Minas - MG	PMSFM	5	0.49056
MG	São Geraldo do Baixo - MG	PMSGB	6	0.60137
MG	São Gonçalo do Rio Abaixo - MG	PMSGRA	3	0.80282
MG	São Gonçalo do Sapucaí - MG	PMSGGS	1	0.78509
MG	São João Batista do Glória - MG	SAAE	3	0.69223
MG	São José da Barra - MG	PMSJB	6	0.71198
MG	São José da Varginha - MG	PMSJV	3	0.72259
MG	São José do Divino - MG	PMSJD	1	0.4721
MG	São José do Goiabal - MG	PMSJG	4	0.78407
MG	São Romão - MG	PMSR	5	0.69906
MG	Senador Modestino Gonçalves - MG	PMSMG	2	0.68442
MG	Senhora de Oliveira - MG	SAAE	1	0.77796
MG	Senhora dos Remédios - MG	PMSR	1	0.80345
MG	Serrania - MG	PMS	3	0.75974
MG	Sete Lagoas - MG	SAAE	6	0.90693
MG	Teófilo Otoni - MG	COPANOR	8	0.89286
MG	Tiros - MG	PMT	2	0.76263
MG	Tocos do Moji - MG	PMTM	1	0.84744
MG	Três Pontas - MG	SAAE	7	0.85633
MG	Tumiritinga - MG	PMT	1	0.68889
MG	Uberaba - MG	CODAU	12	0.92123
MG	Uberlândia - MG	DMAE	22	0.93844
MG	Unaí - MG	SAAE	16	0.88019
MG	Uruana de Minas - MG	PMUM	7	0.80321
MG	Urucânia - MG	PMU	4	0.82
MG	Urucuia - MG	PMU	4	0.81403
MG	Vargem Bonita - MG	PMVB	2	0.68954

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
MG	Varjão de Minas - MG	PMVM	2	0.70951
MG	Viçosa - MG	SAAE	14	0.87528
MG	Virgolândia - MG	PMV	2	0.78078
ES	Afonso Cláudio - ES	PMAC	4	0.76983
ES	Alfredo Chaves - ES	SAAE	6	0.81809
ES	Aracruz - ES	SAAE	11	0.87433
ES	Boa Esperança - ES	PMBE	6	0.77152
ES	Brejetuba - ES	PMB	5	0.70098
ES	Cachoeiro de Itapemirim - ES	FOZ	17	0.91316
ES	Cachoeiro de Itapemirim - ES	OACI	1	0.91772
ES	Cachoeiro de Itapemirim - ES	BRK	1	0.91572
ES	Colatina - ES	SANEAR	19	0.89067
ES	Governador Lindenberg - ES	PMGL	4	0.73862
ES	Ibatiba - ES	PMI	1	0.86812
ES	Iconha - ES	SAAE	8	0.78001
ES	Irupi - ES	PMI	1	0.77879
ES	Itaguaçu - ES	SAAE	4	0.77711
ES	Itapemirim - ES	SAAE	18	0.75856
ES	Itarana - ES	PMI	2	0.7651
ES	Jaguaré - ES	SAAE	9	0.82802
ES	Jerônimo Monteiro - ES	SAAE	14	0.7721
ES	João Neiva - ES	SAAE	15	0.77366
ES	Linhares - ES	SAAE	17	0.90303
ES	Marilândia - ES	SAAE	7	0.82477
ES	Mimoso do Sul - ES	SAAE	5	0.84053
ES	Pancas - ES	PMP	1	0.82486
ES	Rio Bananal - ES	SAAE	13	0.84414
ES	Rio Novo do Sul - ES	PMRNS	1	0.84128
ES	São Mateus - ES	SAAE	10	0.89558
ES	Sooretama - ES	SAAE	5	0.84324
ES	Vitória - ES	CESAN	19	0.9154
RJ	Aperibé - RJ	PMA	1	0.6783
RJ	Araruama - RJ	CAJ	12	0.8798
RJ	Areal - RJ	SAAESA	9	0.85277
RJ	Arraial do Cabo - RJ	PMAC	1	0.66681
RJ	Barra Mansa - RJ	SAAE	14	0.90269
RJ	Bom Jardim - RJ	PMBJ	3	0.80339
RJ	Cabo Frio - RJ	PROLAGOS	17	0.90133
RJ	Cambuci - RJ	PMC	1	0.5238
RJ	Carapebus - RJ	PMC	3	0.69527
RJ	Campos dos Goytacazes - RJ	CAP	13	0.93572
RJ	Cantagalo - RJ	PMC	7	0.76579
RJ	Cardoso Moreira - RJ	SOSP	1	0.74541
RJ	Carmo - RJ	PMC	1	0.82606
RJ	Casimiro de Abreu - RJ	SAAE	4	0.84992
RJ	Guapimirim - RJ	FSSG	9	0.88827
RJ	Italva - RJ	PMI	5	0.70478
RJ	Macaé - RJ	ESANE	2	0.89783
RJ	Macaé - RJ	BRK	1	0.87842
RJ	Miguel Pereira - RJ	PMMP	5	0.79889
RJ	Miracema - RJ	PMM	1	0.74494
RJ	Natividade - RJ	PMN	3	0.7707

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
RJ	Nova Friburgo - RJ	CANF	7	0.90623
RJ	Paraty - RJ	CAPY	1	0.87882
RJ	Paty do Alferes - RJ	PMPA	1	0.78408
RJ	Petrópolis - RJ	CAI	19	0.9279
RJ	Porto Real - RJ	PMPR	5	0.78046
RJ	Quatis - RJ	PMQ	6	0.79694
RJ	Quissamã - RJ	PMQ	1	0.67501
RJ	Resende - RJ	CAAN	13	0.89151
RJ	Rio das Flores - RJ	PMRF	9	0.64458
RJ	Rio das Ostras - RJ	PMRO	6	0.83861
RJ	Rio de Janeiro - RJ	CEDAE	21	0.96722
RJ	Rio de Janeiro - RJ	FABZO	5	0.94123
RJ	Santa Maria Madalena - RJ	PMSMM	8	0.80193
RJ	Santo Antônio de Pádua - RJ	EASA	5	0.87086
RJ	São João da Barra - RJ	PMSJB	4	0.79976
RJ	São José do Vale do Rio Preto - RJ	PMSJVRP	6	0.8629
RJ	São Sebastião do Alto - RJ	PMSSA	3	0.81328
RJ	Sumidouro - RJ	PMS	1	0.80591
RJ	Tanguá - RJ	PMT	2	0.79618
RJ	Três Rios - RJ	SAAETRI	7	0.86847
RJ	Vassouras - RJ	PMV	5	0.86067
RJ	Volta Redonda - RJ	SAAE	19	0.91739
SP	Aguaí - SP	DAE	1	0.82864
SP	Águas de Lindóia - SP	SAAE	7	0.6666
SP	Americana - SP	DAE	20	0.90953
SP	Amparo - SP	SAAE	7	0.84523
SP	Analândia - SP	PMA	3	0.52859
SP	Aparecida - SP	SAAE	4	0.8388
SP	Araçatuba - SP	SAMAR	19	0.90665
SP	Araçoiaba da Serra - SP	CAA	7	0.79144
SP	Araraquara - SP	DAAE	18	0.90715
SP	Araras - SP	SAEMA	15	0.88871
SP	Artur Nogueira - SP	SAEAN	1	0.85013
SP	Atibaia - SP	SAAE	12	0.89696
SP	Avanhandava - SP	DAAEA	8	0.75076
SP	Bálsamo - SP	PMB	3	0.76224
SP	Barbosa - SP	PMB	8	0.66122
SP	Bariri - SP	SAEMBA	5	0.82454
SP	Barretos - SP	SAAEB	20	0.88072
SP	Batatais - SP	PMB	5	0.86101
SP	Bauru - SP	DAE	7	0.92177
SP	Bebedouro - SP	SAAEB	13	0.86207
SP	Bilac - SP	PMB	5	0.77432
SP	Birigui - SP	PMB	5	0.88754
SP	Borborema - SP	PMB	1	0.80526
SP	Brotas - SP	SAAEB	12	0.77552
SP	Buritama - SP	SAAEMB	8	0.76981
SP	Cabralia Paulista - SP	PMCP	2	0.64732
SP	Cajobi - SP	SEMAE	1	0.74373
SP	Campinas - SP	SANASA	21	0.94792
SP	Canitar - SP	PMC	1	0.68041
SP	Capivari - SP	SAAE	10	0.83645

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SP	Casa Branca - SP	PMCB	6	0.80466
SP	Castilho - SP	EAC	1	0.82801
SP	Cerqueira César - SP	DAE	6	0.82186
SP	Cerquilha - SP	SAAEC	10	0.82129
SP	Clementina - SP	PMC	1	0.73909
SP	Conchal - SP	PMC	9	0.81368
SP	Cordeirópolis - SP	SAAE	3	0.79078
SP	Cristais Paulista - SP	PMCP	5	0.7622
SP	Dois Córregos - SP	SAAEDOCO	9	0.80281
SP	Dumont - SP	PMD	6	0.69601
SP	Elisiário - SP	PME	3	0.70269
SP	Embaúba - SP	SEMAE	3	0.69314
SP	Engenheiro Coelho - SP	SAEEC	7	0.80498
SP	Garça - SP	SAAE	10	0.82585
SP	Guaíçara - SP	PMG	5	0.73901
SP	Guaimbê - SP	PMG	6	0.74005
SP	Guaíra - SP	DEAGUA	10	0.83321
SP	Guaraci - SP	PMG	8	0.75323
SP	Guarantã - SP	PMG	4	0.80818
SP	Guararapes - SP	PMG	10	0.82797
SP	Guaratinguetá - SP	SAEG	20	0.88426
SP	Guarulhos - SP	SAAE	7	0.9528
SP	Guataporã - SP	PMG	5	0.77412
SP	Holambra - SP	DAE	4	0.75128
SP	Holambra - SP	SAEHOL	3	0.75351
SP	Holambra - SP	AH	1	0.74429
SP	Ibirarema - SP	SAAEI	7	0.74118
SP	Iepê - SP	PMI	4	0.75362
SP	Indaiatuba - SP	SAAE	19	0.91017
SP	Iperó - SP	SEAMA	5	0.84357
SP	Ipeúna - SP	PMI	6	0.66167
SP	Ipiguá - SP	PMI	1	0.57271
SP	Ipuã - SP	SAAE	6	0.76102
SP	Iracemápolis - SP	PMI	2	0.82479
SP	Itapira - SP	SAAE	10	0.86828
SP	Itapura - SP	DEMAE	4	0.69715
SP	Itu - SP	ADI	17	0.90256
SP	Ituverava - SP	SAAE	10	0.80708
SP	Jaboticabal - SP	SAAEJ	10	0.86629
SP	Jacaré - SP	SAAE	17	0.91205
SP	Jaci - SP	PMJ	2	0.70342
SP	Jaguariúna - SP	PMJ	13	0.82611
SP	Jaú - SP	SAEMJA	10	0.88692
SP	João Ramalho - SP	PMJR	6	0.79897
SP	Jundiaí - SP	DAE	19	0.92833
SP	Lavínia - SP	PML	7	0.77874
SP	Leme - SP	SAECIL	4	0.88034
SP	Lençóis Paulista - SP	SAAE	6	0.8589
SP	Limeira - SP	FDL	16	0.92204
SP	Limeira - SP	OAL	4	0.92359
SP	Limeira - SP	BRKL	1	0.92453
SP	Lindóia - SP	PML	2	0.77817

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SP	Louveira - SP	PML	3	0.82648
SP	Luís Antônio - SP	PMLA	3	0.81717
SP	Manduri - SP	SAEMAN	1	0.75464
SP	Marília - SP	DAEM	20	0.90994
SP	Martinópolis - SP	DAEM	2	0.83107
SP	Mauá - SP	FOZ	2	0.92054
SP	Mauá - SP	OAM	3	0.88482
SP	Mauá - SP	BRK	1	0.92659
SP	Mirassol - SP	SANESOL	9	0.85523
SP	Mirassol - SP	SANESSOL	1	0.85383
SP	Mogi das Cruzes - SP	SEMAE	15	0.93216
SP	Mogi Guaçu - SP	SAMAE	22	0.89788
SP	Mogi Mirim - SP	SAAE	19	0.87246
SP	Morro Agudo - SP	PMMA	1	0.81586
SP	Nantes - SP	PMN	2	0.6453
SP	Natividade da Serra - SP	PMNS	4	0.72517
SP	Nova Independência - SP	PMNI	4	0.5831
SP	Novais - SP	PMN	6	0.78902
SP	Nova Odessa - SP	CODEN	15	0.8362
SP	Nuporanga - SP	PMN	1	0.70108
SP	Olímpia - SP	DAEMO	8	0.84629
SP	Orlândia - SP	PMO	9	0.82232
SP	Ourinhos - SP	SAE	20	0.87407
SP	Ouro Verde - SP	PMOV	13	0.70596
SP	Pacaembu - SP	PMP	1	0.76372
SP	Panorama - SP	PMP	4	0.76958
SP	Parisi - SP	DAEP	8	0.53834
SP	Patrocínio Paulista - SP	PMPP	6	0.74729
SP	Paulicéia - SP	DAEP	2	0.66091
SP	Pedreira - SP	SAAE	5	0.82076
SP	Penápolis - SP	DAEP	14	0.84839
SP	Pereiras - SP	PMP	6	0.70784
SP	Piracicaba - SP	SEMAE	21	0.92717
SP	Pirajuí - SP	SAAE	1	0.7949
SP	Pirassununga - SP	SAEP	14	0.84905
SP	Porto Feliz - SP	SAAE	10	0.84612
SP	Porto Ferreira - SP	FOZ	2	0.85096
SP	Porto Ferreira - SP	OAPF	3	0.85203
SP	Porto Ferreira - SP	BRK	1	0.85212
SP	Potirendaba - SP	PMP	8	0.74471
SP	Pradópolis - SP	PMP	4	0.79996
SP	Presidente Venceslau - SP	PMPV	1	0.82224
SP	Promissão - SP	SAAE	11	0.82623
SP	Rancharia - SP	PMR	2	0.80972
SP	Rio Claro - SP	DAAE	19	0.90714
SP	Sabino - SP	PMS	3	0.71947
SP	Sales - SP	PMS	2	0.63611
SP	Saltinho - SP	PMS	5	0.63388
SP	Salto - SP	SAAE	10	0.89182
SP	Salto - SP	SANESALTO	1	0.86348
SP	Salto Grande - SP	PMSG	3	0.76151
SP	Santa Bárbara D'Oeste - SP	DAE	17	0.90706

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SP	Santa Cruz da Conceição - SP	PMSCC	8	0.60996
SP	Santa Fé do Sul - SP	SAAE	12	0.78466
SP	Santa Gertrudes - SP	FOZ	3	0.82745
SP	Santa Gertrudes - SP	OASG	1	0.83078
SP	Santa Gertrudes - SP	BRK	1	0.82844
SP	Santa Maria da Serra - SP	PMSMS	7	0.61997
SP	Santa Rita D'Oeste - SP	PMSRD	6	0.65463
SP	Santa Rita do Passa Quatro - SP	PMSRPQ	5	0.81231
SP	Santa Rita do Passa Quatro - SP	COMASA	1	0.82031
SP	Santo André - SP	SEMASA	14	0.93916
SP	Santo Antônio da Alegria - SP	PMSAA	5	0.68797
SP	Santo Antônio de Posse - SP	PMSAP	5	0.82119
SP	São Caetano do Sul - SP	DAE	4	0.89399
SP	São Carlos - SP	SAAE	19	0.90977
SP	São João de Iracema - SP	PMSJI	7	0.61573
SP	São José da Bela Vista - SP	PMSJBV	7	0.77443
SP	São José do Rio Pardo - SP	PMSJRP	5	0.85313
SP	São José do Rio Pardo - SP	SAAESRP	5	0.85531
SP	São José do Rio Preto - SP	SEMAE	17	0.9308
SP	São Paulo - SP	SABESP	19	0.97036
SP	São Pedro - SP	SAAESP	5	0.81339
SP	São Sebastião da Gramma - SP	PMSSG	5	0.78501
SP	Sorocaba - SP	SAAE	22	0.9381
SP	Sumaré - SP	DAE	14	0.91752
SP	Sumaré - SP	OAS	1	0.92354
SP	Sumaré - SP	BRK	1	0.92129
SP	Suzanópolis - SP	PMS	4	0.67146
SP	Tapiratiba - SP	PMT	1	0.80462
SP	Taquaritinga - SP	SAAET	6	0.83644
SP	Tietê - SP	SAMAE	3	0.80039
SP	Tupi Paulista - SP	PMTTP	15	0.75982
SP	Uchoa - SP	PMU	5	0.71275
SP	Valinhos - SP	DAEV	12	0.88107
SP	Vargem Grande do Sul - SP	SAE	8	0.81917
SP	Vera Cruz - SP	PMVC	1	0.79979
SP	Vinhedo - SP	SANEBAVI	14	0.84215
SP	Viradouro - SP	PMV	8	0.79491
SP	Votorantim - SP	SAAE	11	0.88691
SP	Votorantim - SP	CAV	1	0.88642
SP	Votuporanga - SP	SAEV	8	0.86656
SP	Chavantes - SP	SAEC	5	0.81579
PR	Andirá - PR	PMA	5	0.77895
PR	Ângulo - PR	SAMAE	3	0.80009
PR	Antonina - PR	SAMAE	13	0.84559
PR	Bandeirantes - PR	SAAE	12	0.81274
PR	Boa Ventura de São Roque - PR	PMBVSR	6	0.86624
PR	Curitiba - PR	SANEPAR	21	0.95221
PR	Ibiporã - PR	SAMAE	17	0.83127
PR	Iguaçu - PR	DA	1	0.8233
PR	Iguaçu - PR	SAAE	2	0.82725
PR	Itambaracá - PR	PMI	8	0.80811
PR	Jaguapitã - PR	SAMAE	7	0.75039

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
PR	Jaguariaíva - PR	SAMAE	11	0.81965
PR	Jardim Olinda - PR	SAMAE	6	0.80936
PR	Jataizinho - PR	SAAE	14	0.72748
PR	Kaloré - PR	PMK	3	0.84459
PR	Lobato - PR	SAMAE	2	0.62571
PR	Marialva - PR	SAEMA	1	0.82544
PR	Mariluz - PR	PMM	5	0.73381
PR	Marumbi - PR	SAAEM	1	0.81497
PR	Nova Fátima - PR	SAAE	1	0.83917
PR	Paranaguá - PR	CAB AdP	15	0.9029
PR	Paranaguá - PR	CAGEPAR	2	0.92122
PR	Paranapoema - PR	SAMAE	4	0.82372
PR	Pérola D'Oeste - PR	PMPDO	1	0.70456
PR	Pitangueiras - PR	SAAE	2	0.80549
PR	Porto Barreiro - PR	PMPB	6	0.80953
PR	Presidente Castelo Branco - PR	SAMAE	2	0.72678
PR	Primeiro de Maio - PR	PMPM	1	0.79018
PR	Quatro Pontes - PR	PMQP	3	0.85
PR	Ribeirão Claro - PR	SAAE	8	0.67074
PR	Rio Branco do Sul - PR	DAE	1	0.8607
PR	Santa Isabel do Ivaí - PR	SAAE	7	0.73956
PR	Sertanópolis - PR	SAAE	18	0.75332
PR	Terra Rica - PR	SAMAE	1	0.85978
PR	Tupãssi - PR	PMT	7	0.84152
PR	Ventania - PR	PMV	3	0.76913
PR	Doutor Ulysses - PR	SAMAE	3	0.87552
SC	Abdon Batista - SC	PMAB	2	0.81038
SC	Alfredo Wagner - SC	PMAW	2	0.72091
SC	Alto Bela Vista - SC	PMABV	1	0.86544
SC	Anitápolis - SC	DAE	8	0.85936
SC	Arabutã - SC	PMA	1	0.85047
SC	Araquari - SC	PMA	1	0.80402
SC	Araranguá - SC	SAMAE	13	0.87324
SC	Arroio Trinta - SC	PMAT	4	0.71005
SC	Arvoredo - SC	PMA	3	0.84124
SC	Balneário Arroio do Silva - SC	PMBAS	6	0.83397
SC	Balneário Camboriú - SC	EMASA	10	0.90108
SC	Balneário Gaivota - SC	SAMAE	6	0.81299
SC	Blumenau - SC	SAMAE	19	0.91886
SC	Blumenau - SC	FB	2	0.84492
SC	Blumenau - SC	OA	2	0.82714
SC	Blumenau - SC	OA-BNU	1	0.91847
SC	Blumenau - SC	BRK-BNU	1	0.84606
SC	Braço do Trombudo - SC	PMBT	8	0.80468
SC	Brusque - SC	SAMAE	18	0.88026
SC	Caçador - SC	PMC	4	0.86169
SC	Campo Alegre - SC	PMCA	7	0.84214
SC	Campos Novos - SC	SAMAE	14	0.82751
SC	Canelinha - SC	SEMAIS	8	0.84008
SC	Capinzal - SC	SIMAE	18	0.83736
SC	Capinzal - SC	PMC	1	0.85311
SC	Cocal do Sul - SC	SAMAE	13	0.83992

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SC	Cordilheira Alta - SC	PMCA	6	0.65581
SC	Coronel Martins - SC	PMCM	4	0.72737
SC	Corupá - SC	PMC	7	0.86102
SC	Entre Rios - SC	PMER	3	0.76238
SC	Faxinal dos Guedes - SC	PMFG	3	0.7613
SC	Flor do Sertão - SC	PMFS	7	0.82901
SC	Fraiburgo - SC	SANEFRAI	11	0.84964
SC	Galvão - SC	PMG	5	0.72726
SC	Garuva - SC	PMG	2	0.88454
SC	Gaspar - SC	SAMAE	18	0.84239
SC	Governador Celso Ramos - SC	SAMAE	12	0.80452
SC	Grão Pará - SC	SAMAE	14	0.8479
SC	Guaramirim - SC	PMG	6	0.88104
SC	Içara - SC	SAMAE	8	0.86868
SC	Ilhota - SC	PMI	1	0.85406
SC	Imaruí - SC	PMI	1	0.89428
SC	Imbituba - SC	PMI	2	0.81036
SC	Irati - SC	PMI	5	0.80999
SC	Itajaí - SC	SEMASA	12	0.90303
SC	Itapema - SC	CIA de Águas	11	0.84774
SC	Itapiranga - SC	PMI	6	0.6736
SC	Itapoá - SC	PMI	2	0.82701
SC	Itapoá - SC	IS	5	0.80896
SC	Jacinto Machado - SC	PMJM	6	0.84531
SC	Jaguaruna - SC	SAMAE	9	0.85633
SC	Jaguaruna - SC	AJ	4	0.8532
SC	Jaraguá do Sul - SC	SAMAE	19	0.90092
SC	Joaçaba - SC	SIMAE	15	0.75076
SC	Joinville - SC	CAJ	13	0.93798
SC	Lages - SC	SEMASA	12	0.90796
SC	Macieira - SC	PMM	1	0.74761
SC	Massaranduba - SC	PMM	5	0.84961
SC	Meleiro - SC	SAMAE	7	0.84756
SC	Morro Grande - SC	PMMG	2	0.8568
SC	Nova Itaberaba - SC	PMNI	6	0.83562
SC	Nova Trento - SC	SAMAE	16	0.84856
SC	Orleans - SC	SAMAE	18	0.78974
SC	Paial - SC	PMP	3	0.86363
SC	Palhoça - SC	PMP	6	0.89678
SC	Palma Sola - SC	PMPS	1	0.78562
SC	Papanduva - SC	SAMAE	7	0.87057
SC	Pedras Grandes - SC	PMPG	2	0.89078
SC	Pomerode - SC	SAMAE	16	0.82804
SC	Porto Belo - SC	PMPB	2	0.73637
SC	Presidente Getúlio - SC	SAATE	7	0.84808
SC	Quilombo - SC	PMQ	2	0.83793
SC	Rio Negrinho - SC	SAMAE	17	0.83116
SC	Rio Rufino - SC	SASB	2	0.85097
SC	Sangão - SC	SAMAE	6	0.8588
SC	Santa Cecília - SC	PMSC	1	0.8569
SC	Santa Helena - SC	PMSH	5	0.84416
SC	Santa Rosa do Sul - SC	SAMAE	3	0.82424

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
SC	Santa Terezinha do Progresso - SC	PMSTP	7	0.84743
SC	Santiago do Sul - SC	PMSS	2	0.81583
SC	São Bento do Sul - SC	SAMAE	16	0.86999
SC	São João do Oeste - SC	PMSJO	7	0.83227
SC	São João Batista - SC	SISAM	8	0.87051
SC	São José do Cedro - SC	PMSJC	3	0.85325
SC	São Ludgero - SC	SAMAE	11	0.71762
SC	São Miguel da Boa Vista - SC	PMSMBV	5	0.85112
SC	São Pedro de Alcântara - SC	PMAPA	5	0.86808
SC	Saudades - SC	PMS	2	0.84328
SC	Saudades - SC	SAMAE	2	0.8375
SC	Schroeder - SC	PMS	8	0.86865
SC	Serra Alta - SC	PMSA	8	0.78632
SC	Sombrio - SC	PMS	7	0.85419
SC	Sul Brasil - SC	PMSB	3	0.78317
SC	Tijucas - SC	SAMAE	14	0.87679
SC	Timbé do Sul - SC	SAMAE	14	0.83669
SC	Timbó - SC	SAMAE	12	0.84772
SC	Três Barras - SC	PMTB	1	0.7924
SC	Três Barras - SC	SAMASA	3	0.7873
SC	Treviso - SC	SAMAE	9	0.82152
SC	Tubarão - SC	PMT	4	0.88618
SC	Tubarão - SC	TBSSA	2	0.88345
SC	Tunápolis - SC	PMT	6	0.69847
SC	Urussanga - SC	SAMAE	19	0.81287
SC	Vargem - SC	PMV	4	0.87313
SC	Içara - SC	PMSN	5	0.88945
RS	Alegria - RS	PMA	5	0.83325
RS	Almirante Tamandaré do Sul - RS	PMATS	1	0.86799
RS	Alto Feliz - RS	PMAF	3	0.76406
RS	Araricá - RS	PMA	3	0.77389
RS	Augusto Pestana - RS	PMAP	1	0.8531
RS	Bagé - RS	DAEB	13	0.89226
RS	Barão - RS	PMB	1	0.73727
RS	Barra do Rio Azul - RS	PMBRA	1	0.85521
RS	Barra Funda - RS	PMBF	4	0.79982
RS	Boa Vista do Incra - RS	PMBVI	1	0.77943
RS	Brochier - RS	PMB	5	0.84242
RS	Camargo - RS	PMC	1	0.81989
RS	Campina das Missões - RS	PMCM	5	0.78153
RS	Candiota - RS	PMC	2	0.6122
RS	Canguçu - RS	PMCGU	7	0.8221
RS	Canudos do Vale - RS	PMCV	1	0.86353
RS	Catuípe - RS	PMC	6	0.82812
RS	Caxias do Sul - RS	SAMAE	17	0.93313
RS	Charrua - RS	PMC	5	0.79714
RS	Colinas - RS	PMC	1	0.84928
RS	Coronel Barros - RS	PMCB	1	0.85126
RS	Coxilha - RS	PMC	5	0.84611
RS	Dois Irmãos - RS	PMDI	6	0.80369
RS	Dois Irmãos das Missões - RS	PMDIM	1	0.85327
RS	Engenho Velho - RS	PMEV	3	0.83269

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
RS	Estrela - RS	PME	5	0.84472
RS	Estrela Velha - RS	SEMAE	1	0.82709
RS	Flores da Cunha - RS	PMFC	1	0.88982
RS	Garibaldi - RS	PMG	6	0.83042
RS	Gramado dos Loureiros - RS	PMGL	1	0.8686
RS	Gramado Xavier - RS	PMGX	3	0.85132
RS	Guabiju - RS	PMG	8	0.83026
RS	Guaporé - RS	PMG	1	0.81578
RS	Herveiras - RS	PMH	3	0.85198
RS	Horizontina - RS	PMH	1	0.83542
RS	Ijuí - RS	PMI	1	0.91151
RS	Imigrante - RS	PMI	2	0.84136
RS	Ivorá - RS	PMI	7	0.50765
RS	Jóia - RS	PMJ	1	0.86045
RS	Lagoa dos Três Cantos - RS	PMLTC	2	0.8096
RS	Marau - RS	PMM	1	0.60568
RS	Mato Queimado - RS	PMMQ	4	0.7896
RS	Mormaço - RS	PMM	2	0.82349
RS	Muliterno - RS	PMM	1	0.81809
RS	Nova Alvorada - RS	PMNA	2	0.7243
RS	Nova Ramada - RS	PMNR	2	0.80712
RS	Novo Hamburgo - RS	COMUSA	14	0.9201
RS	Novo Barreiro - RS	PMNB	1	0.86097
RS	Pantano Grande - RS	PMPG	3	0.80801
RS	Paraíso do Sul - RS	PMPS	9	0.8527
RS	Pelotas - RS	SANEP	16	0.92309
RS	Pinhal - RS	PMP	2	0.69418
RS	Pinhal Grande - RS	PMPG	3	0.72376
RS	Pinheirinho do Vale - RS	PMPV	1	0.7835
RS	Poço das Antas - RS	PMPA	2	0.7982
RS	Pontão - RS	PMP	1	0.84522
RS	Porto Alegre - RS	CORSAN	22	0.94958
RS	Porto Alegre - RS	DMAE	22	0.9526
RS	Progresso - RS	PMP	3	0.84833
RS	Quevedos - RS	PMQ	3	0.79677
RS	Relvado - RS	PMR	2	0.86179
RS	Rolador - RS	PMR	1	0.86168
RS	Rondinha - RS	PMR	4	0.70792
RS	Roque Gonzales - RS	PMRG	2	0.82832
RS	Sagrada Família - RS	PMSF	4	0.8334
RS	Saldanha Marinho - RS	PMSM	4	0.81819
RS	Salto do Jacuí - RS	PMSJ	5	0.82213
RS	Salvador das Missões - RS	PMSM	4	0.79968
RS	Santa Cecília do Sul - RS	PMSCS	2	0.81504
RS	Santa Clara do Sul - RS	PMSCS	1	0.80562
RS	Santana da Boa Vista - RS	PMSBV	6	0.69699
RS	Santa Tereza - RS	PMST	2	0.6939
RS	Santiago - RS	PMS	3	0.85242
RS	São Francisco de Paula - RS	SANEA	1	0.87972
RS	São Gabriel - RS	SGS	4	0.87473
RS	São José das Missões - RS	PMSJM	1	0.82214
RS	São José do Sul - RS	PMSJS	3	0.81692

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
RS	São Leopoldo - RS	SEMAE	20	0.91313
RS	São Martinho da Serra - RS	PMSMS	1	0.79131
RS	São Pedro do Butiá - RS	PMSPB	1	0.78337
RS	Seberi - RS	PMS	4	0.89059
RS	Sinimbu - RS	PMS	8	0.85613
RS	Teutônia - RS	PMT	6	0.87545
RS	Toropi - RS	PMT	1	0.84217
RS	Travesseiro - RS	PMT	3	0.78497
RS	Três Arroios - RS	PMTA	2	0.83992
RS	Três Palmeiras - RS	PMTP	1	0.79461
RS	Tunas - RS	PMT	6	0.7837
RS	Tupandi - RS	PMT	7	0.81047
RS	Turuçu - RS	PMT	4	0.82725
RS	Ubiretama - RS	PMU	2	0.81432
RS	Uruguaiana - RS	FOZ	2	0.90508
RS	Uruguaiana - RS	OA	3	0.90548
RS	Uruguaiana - RS	BRK	1	0.90253
RS	Vanini - RS	PMV	4	0.79427
RS	Vera Cruz - RS	PMVCZ	2	0.80194
RS	Vista Alegre do Prata - RS	PMVAP	4	0.78906
RS	Westfália - RS	PMW	5	0.87705
MS	Bandeirantes - MS	SAAE	3	0.83799
MS	Bela Vista - MS	SAAE	15	0.80233
MS	Campo Grande - MS	SANESUL	22	0.94147
MS	Campo Grande - MS	AG	16	0.94468
MS	Caracol - MS	PMC	1	0.74935
MS	Cassilândia - MS	PMC	2	0.8277
MS	Jaraguari - MS	SAAE	4	0.86851
MS	Rochedo - MS	DEMARS	3	0.84987
MS	São Gabriel do Oeste - MS	SAAE	9	0.81447
MT	Acorizal - MT	PMA	1	0.86439
MT	Água Boa - MT	DEMAE	6	0.86644
MT	Alta Floresta - MT	CAB	11	0.87102
MT	Alto Paraguai - MT	PMAP	10	0.85524
MT	Alto Taquari - MT	PMAT	6	0.85272
MT	Apiacás - MT	PMA	9	0.87444
MT	Araguaiana - MT	PMA	12	0.80384
MT	Araguainha - MT	PMA	1	0.76337
MT	Araputanga - MT	PMA	13	0.85964
MT	Aripuanã - MT	DAE	13	0.85034
MT	Barão de Melgaço - MT	PMBM	1	0.87571
MT	Barra do Bugres - MT	DAE	3	0.84398
MT	Barra do Garças - MT	EMASA	4	0.85957
MT	Barra do Garças - MT	ABG	2	0.86368
MT	Brasnorte - MT	DAE	1	0.8746
MT	Cáceres - MT	PMC	9	0.8981
MT	Cáceres - MT	SAEC	1	0.89935
MT	Campo Novo do Parecis - MT	DAP	15	0.87242
MT	Campo Verde - MT	ACV	1	0.88963
MT	Canarana - MT	CAB	10	0.86319
MT	Carlinda - MT	AGUASCAR	10	0.87184
MT	Castanheira - MT	PMC	8	0.86255

(Continua)

UF	Município	Prestador	N	OTE
MT	Chapada dos Guimarães - MT	PMCG	6	0.86077
MT	Cláudia - MT	AC	6	0.78884
MT	Colíder - MT	CAB	11	0.85581
MT	Colniza - MT	DAE	11	0.89125
MT	Comodoro - MT	CAB	10	0.8682
MT	Confresa - MT	PMC	3	0.88965
MT	Confresa - MT	NX	4	0.87713
MT	Cotriguaçu - MT	PMC	2	0.90014
MT	Cuiabá - MT	SANEMAT	2	0.92859
MT	Cuiabá - MT	CAB	16	0.93737
MT	Denise - MT	PMD	4	0.87247
MT	Diamantino - MT	SAE	13	0.82359
MT	Diamantino - MT	ADI	2	0.83052
MT	Feliz Natal - MT	PMFN	2	0.86278
MT	General Carneiro - MT	PMGC	9	0.82812
MT	Glória D'Oeste - MT	PMGD	1	0.81521
MT	Guarantã do Norte - MT	AG	13	0.87179
MT	Guiratinga - MT	PMG	4	0.85404
MT	Ipiranga do Norte - MT	SAAE	4	0.83693
MT	Itanhangá - MT	PMI	5	0.8316
MT	Jaciara - MT	DAE	9	0.8615
MT	Jangada - MT	SBJ	11	0.86651
MT	Jauru - MT	PMJ	6	0.8663
MT	Jauru - MT	AJ	5	0.85778
MT	Jauru - MT	EKEC	1	0.85505
MT	Juara - MT	AJ	7	0.84938
MT	Juína - MT	DAES	15	0.87979
MT	Juruena - MT	PMJ	12	0.86569
MT	Lambari D'Oeste - MT	PMLD	10	0.85154
MT	Vila Bela da Santíssima Trindade - MT	DAE	11	0.88289
MT	Marcelândia - MT	AMA	12	0.86368
MT	Matupá - MT	AM	10	0.85459
MT	Mirassol D'Oeste - MT	SAEMI	3	0.83382
MT	Nortelândia - MT	ANOR	11	0.83863
MT	Nortelândia - MT	PMN	1	0.81094
MT	Nossa Senhora do Livramento - MT	PMNSL	4	0.86843
MT	Nova Bandeirantes - MT	PMNB	10	0.87097
MT	Nova Nazaré - MT	PMNN	1	0.80815
MT	Nova Lacerda - MT	DAE	6	0.83535
MT	Nova Santa Helena - MT	PMNSH	10	0.82091
MT	Nova Brasilândia - MT	SAAE	3	0.82652
MT	Nova Canaã do Norte - MT	AC	11	0.87558
MT	Nova Olímpia - MT	PMNO	7	0.87165
MT	Nova Xavantina - MT	SETAE	6	0.76431
MT	Novo Horizonte do Norte - MT	PMNHN	11	0.82526
MT	Paranaíta - MT	DAE	16	0.87163
MT	Paranatinga - MT	SEMUSA	8	0.86746
MT	Paranatinga - MT	APA	2	0.85045
MT	Peixoto de Azevedo - MT	APA	11	0.88018
MT	Planalto da Serra - MT	SAAE	2	0.82758
MT	Poconé - MT	APO	13	0.88021
MT	Pontal do Araguaia - MT	SAE	9	0.82724

(Conclusão)				
UF	Município	Prestador	N	OTE
MT	Ponte Branca - MT	PMPB	2	0.76553
MT	Pontes e Lacerda - MT	CAB	12	0.86509
MT	Porto Alegre do Norte - MT	DAEPAN	7	0.85834
MT	Porto dos Gaúchos - MT	PMPC	16	0.83375
MT	Porto Esperidião - MT	PMPE	1	0.87753
MT	Porto Esperidião - MT	APE	4	0.8337
MT	Porto Estrela - MT	PMPE	2	0.83354
MT	Poxoréo - MT	PMP	6	0.80119
MT	Primavera do Leste - MT	APL	11	0.87405
MT	Querência - MT	PMQD	7	0.87934
MT	São José dos Quatro Marcos - MT	DAE	15	0.83565
MT	Reserva do Cabaçal - MT	PMRC	7	0.8311
MT	Rio Branco - MT	PMRB	10	0.82988
MT	Santo Afonso - MT	PMSA	2	0.83889
MT	São José do Povo - MT	PMSJP	1	0.81791
MT	São Pedro da Cipa - MT	HIDROSAN	1	0.8285
MT	São Pedro da Cipa - MT	DAE	1	0.84166
MT	Rondolândia - MT	PMR	1	0.86787
MT	Rondonópolis - MT	SANEAR	17	0.91883
MT	Rosário Oeste - MT	PMRO	4	0.86497
MT	Santa Cruz do Xingu - MT	PMSCX	1	0.76029
MT	Salto do Céu - MT	PMSC	16	0.82465
MT	Santa Terezinha - MT	PMST	2	0.87543
MT	Santo Antônio do Leste - MT	PMSAL	5	0.86576
MT	Santo Antônio do Leverger - MT	PMSAL	3	0.83499
MT	São Félix do Araguaia - MT	PMSFA	10	0.84993
MT	Sapezal - MT	Naturagua	3	0.84162
MT	Sorriso - MT	AS	3	0.88714
MT	Tabaporã - MT	PMT	10	0.87232
MT	Tangará da Serra - MT	SAMAE	14	0.88656
MT	Tapurah - MT	PMT	2	0.86279
MT	Terra Nova do Norte - MT	PMTNN	14	0.86625
MT	Torixoréu - MT	PMT	8	0.82148
MT	Várzea Grande - MT	DAE	17	0.9194
MT	Vila Rica - MT	SAEVIR	12	0.88282
MT	Nova Guarita - MT	SAAE	14	0.84395
MT	Nova Maringá - MT	PMNM	3	0.85921
GO	Abadiânia - GO	SAAE	8	0.75839
GO	Caldas Novas - GO	DEMAE	8	0.86644
GO	Catalão - GO	SAE	10	0.87643
GO	Cezarina - GO	PMC	1	0.85043
GO	Chapadão do Céu - GO	SANEACÉU	6	0.65462
GO	Corumbá de Goiás - GO	SAAE	9	0.85519
GO	Faina - GO	SAAE	11	0.83829
GO	Goiânia - GO	SANEAGO	22	0.94851
GO	Matrinchã - GO	SAAE	11	0.82383
GO	Panamá - GO	PMP	6	0.82701
GO	Rio Quente - GO	PMRQ	1	0.43476
GO	Senador Canedo - GO	SMS	12	0.879
GO	Trombas - GO	SAAE	13	0.8166
DF	Brasília - DF	CAESB	21	0.95956