

## Exame da Eficiência da Gestão de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos nos Governos Municipais por meio da Análise Envoltória de Dados com Estimação de Dois Estágios

### Resumo

O estudo analisa quais variáveis endógenas influenciam na eficiência técnica da prestação de serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos nos governos locais brasileiro, com a utilização de *Análise Envoltória de Dados* em estimação de dois estágios, por proporcionar um maior refinamento e robustez nos resultados da pesquisa. Foram utilizadas como *input* no primeiro estágio o custo total com serviço de coleta, a quantidade de funcionários empregados e a população urbana atendida. E como *output* a quantidade de resíduos coletados, o custo de coleta por tonelada e a coleta per capita. Para o segundo estágio, foi utilizado como variável dependente a eficiência obtida, e como regressores variáveis exógenas. O estudo fomenta discussão sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos em país em desenvolvimento; contribui para a avaliação da utilização de recursos públicos eficientes; analisa a eficiência dos gastos públicos e distingue os aspectos de como os municípios operam e otimizam recursos. Quando analisadas em grupos, por faixa de população, não há significância estatística entre as variáveis. Quando analisado os dados de forma geral, os coeficientes fornecem fortes evidências de que a eficiência é afetada pela forma de gestão dos resíduos e corrobora com a literatura que destaca tal relação. Os resultados fornecem uma visão da estrutura da função de coleta de resíduos sólidos, e ainda, preliminarmente, proporciona a possibilidade de análise na identificação de benchmarking.

**Palavras-chave:** Eficiência; *Data Envelopment Analysis*; Estimação em dois estágios; Resíduo Sólido Municipal.

**Linha Temática:** Indicadores de desempenho

### 1. Introdução

A gestão de resíduos sólidos urbanos tornou-se uma questão crítica devido ao aumento da população, mudanças na composição e complexidade dos fluxos de resíduos, crescente volume de resíduos produzidos, além da aceleração da industrialização em escala global (Saeed, Hassan & Mujeebu, 2009; Liu & Wu, 2010; Contreras, Ishii, Aramaki, Hanaki & Connors, 2010; Achillas, Moussiopoulou, Karagiannidis, Baniyas & Perkoulidis, 2013; Chaves, Santos & Rocha, 2014).

Estima-se que para o ano de 2025 ocorra a geração anual de 2,2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (Hoornweg & BhadaTata, 2012). E o processo de tomada de decisão para a gestão de resíduos sólido eficiente requer a consideração de número significativo de critérios, geralmente conflitantes, para chegar a uma solução ótima entre os cenários alternativos.

No Brasil, são coletados cerca de 62,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos ao ano. Isso resulta em aproximadamente 171,3 mil toneladas por dia, numa taxa per capita de 0,95kg/hab./dia (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento [SNIS], 2017). Todavia, são gerados 78,6 milhões de toneladas ao ano. Como exemplo, o índice de crescimento 2013-2014 de resíduo sólido foi 2,9%, maior que a taxa de crescimento populacional do mesmo período, que foi de 0,9% (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2010).

A eficiência de custos, ou a possibilidade de melhoria, na gestão de resíduos sólidos sem

Realização:



prejudicar a qualidade do serviço, é um fator relevante considerado pelos tomadores de decisão na gestão pública. Nesse sentido, a *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma técnica utilizada para medir os desempenhos de eficiência de unidades de atividade similares, que utilizam múltiplas entradas para produzir múltiplas saídas (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) na avaliação do desempenho econômico de empresas ou instituições.

A DEA estima a fronteira da produção em vez da relação média entre conjuntos de entrada e saída (Stolp, 1999). O seu foco principal é comparar várias *Decision Making Units* (DMUs), que diferem nas quantidades de insumos que consomem e nas saídas que produzem (Stewart, 1996). No primeiro estágio estima-se a eficiência técnica dos municípios (Simar & Wilson, 2007). No segundo estágio, a equação de regressão é determinada pela estrutura do modelo no primeiro estágio – onde são obtidas as estimativas iniciais de eficiência.

A robustez dessa técnica, em dois estágios (Simar & Wilson, 2007), apresenta resultados eficazes que podem ser utilizados como referência para tomada de decisões por gestores públicos e privados, nas ações de coleta de resíduo sólido.

No Brasil, por exemplo, a cobertura regular do serviço de coleta domiciliar de resíduos sólidos corresponde a 98,6% da população urbana. Há um déficit de atendimento em aproximadamente 2,6 milhões de habitantes das cidades brasileiras (SNIS, 2017).

Diante o exposto, este estudo tem o objetivo de analisar quais variáveis endógenas influenciam na eficiência técnica da prestação de serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos nos governos locais brasileiro, por meio de Análise Envoltória de Dados em estimação de dois estágios, por proporcionar uma maior refinamento e robustez nos resultados da pesquisa.

A ausência de dados atualizados de domínio público dificulta a análise da gestão de resíduos sólidos, a qual foi identificada como um dos setores mais propensos à corrupção e à falta de transparência (Abrate, Boffa, Erbetta & Vannoni, 2013; EuroActiv, 2014). É nessa perspectiva que o estudo busca preencher essa lacuna, utilizando-se dos dados disponíveis para analisar a eficiência da gestão dos resíduos e permitir a comparação entre municípios brasileiros.

O estudo fomenta também, discussão sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos em país em desenvolvimento. Além disso, contribui para a avaliação da utilização de recursos públicos eficientes, analisa a eficiência dos gastos públicos e distingue os aspectos de como os municípios operam e otimizam os recursos.

A variável “população urbana” é frequentemente analisada em estudos sobre a eficiência da gestão de coleta de resíduos sólidos (Charnes et al., 1978; Saeed et al., 2009; Daraio, Simar & Wilson, 2010; Liu & Wu, 2010; Rogge & DeJaeger, 2012; Chang, Liu & Yeh, 2013; Ichinose, Yamamoto & Yoshida, 2013). Esses estudos apresentam uma relação negativa da eficiência em relação à população. Mas, os resultados estão alicerçados em um estágio da DEA com uma variável de entrada (Benito, Solana & Moreno, 2014).

Dentre as variáveis *output* (saída), a “coleta per capita” se destaca por ser um indicador central de pressão ambiental - porque permite que os dados sobre a geração de resíduos sólidos urbanos sejam normalizados, porque elimina os efeitos das mudanças de população (municípios com maior população mais eficiente) e compara a intensidade da geração de resíduos entre diferentes lugares (Organization for Economic Co-operation and Development [OECD], 2003).

Nesse estudo, a eficiência da gestão de coleta de resíduos sólidos é analisada com base em

Realização:



três variáveis de *input* e três de *output*, com estimação em dois estágios da DEA. Assim, espera-se resultados diferentes de estudos similares.

Para isso, foram analisados todos os municípios brasileiros no período de 2012 a 2015 com informação na base de dados do SNIS agrupados por faixas populacionais.

A próxima seção fornece uma breve revisão da literatura de estudos anteriores de DEA e gerenciamento de resíduos sólidos. A Seção 3 descreve o método científico adotado, com detalhamento da amostra, as entradas e saídas utilizadas no primeiro estágio, bem como as variáveis usadas para explicar o nível de eficiência no segundo estágio. A seção 4 discute os resultados. Na seção final, constam as conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

## 2. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

O aumento do consumo de bens e serviços, em razão do crescimento populacional, tem crescido expressivamente a produção de resíduos sólidos nas regiões urbanas brasileira (Paro, Costa, & Coelho, 2008). Segundo o IBGE (2010), a população urbana no período de 1960-2010, cresceu aproximadamente 87%. E a geração de RSU em 2013 foi aproximadamente 76,4 milhões de toneladas, em média per capita de 1,041 kg/hab/dia (ver Tabela 1). Vale salientar que 19,7% dos resíduos gerados no Brasil, não são recolhidos (Compromisso Empresarial para Reciclagem [CEMPRE], 2013).

**Tabela 1** - Quantidade de RSU gerado em 2013

Regiões	População total (habitantes)	RSU gerado (tonelada/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Norte	17.013.559	15.169	0,892
Nordeste	55.794.707	53.465	0,958
Centro-Oeste	14.993.191	16.636	1,110
Sudeste	84.465.570	102.088	1.209
Sul	28.795.762	21.922	0.761
Brasil	201.062.789	209.922	1.041

**Fonte:** Adaptado de IBGE (2013) e Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [ABRELPE], (2014).

Aproximadamente 42% dos RSU tiveram destinação inadequada - vazadouros a céu aberto ou aterros que não possuem licença para funcionamento. A ausência de mecanismos de proteção, contribui para a degradação do meio ambiente e comprometimento da saúde pública (Pereira, Melo, Slomski & Weffort, 2013).

Nesse sentido, a gestão de RSU torna-se essencial no desenvolvimento econômico e bem-estar social nos governos locais, bem como na exigência de novas tecnologias para combater as degradações ambientais (Andrade, Cosenza & Rosa, 2013).

A partir dessa demanda, técnicas de tratamento de resíduos sólidos no Brasil passaram a ser desenvolvidas, e a ser utilizadas, iniciando com a incineração e em seguida com as usinas de triagem e compostagem (Nakamura, Marques, Vilela, Lima, Costa & Azevedo, 2014). No entanto, essas técnicas geralmente não são autossuficientes, carecendo de um tratamento adicional - tradicionalmente o aterro sanitário (Nascimento, Sobral, Andrade & Ometto, 2015).

O desenvolvimento dessas técnicas, demanda reprimida desde 2007 - com o advento da Lei n 11.445, conhecida como a Lei Nacional de Saneamento Básico, tomou força em 2010 com a promulgação da Lei nº 12.305 – ao integrar o Plano Nacional de Resíduo Sólido (PNRS), o Plano Municipal de Saneamento (PMS) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Entre outras providências, a PNRS, obriga os municípios a elaborarem o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Para melhor compreensão da abrangência da PNRS, a Tabela 2 demonstra o antes e o depois da Lei nº 12.305.

**Tabela 2 - Comparação do antes e depois da política nacional de resíduos sólidos**

	Antes	Depois
Poder Público	<p>Pouca prioridade para a questão do lixo urbano;</p> <p>A maioria dos municípios destina os dejetos para lixões a céu aberto;</p> <p>Sem aproveitamento dos resíduos orgânicos;</p> <p>Coleta seletiva ineficiente e pouco expressiva.</p>	<p>Municípios devem traçar um plano para gerenciar os resíduos da melhor maneira possível, buscando a inclusão dos catadores;</p> <p>Lixões passam a ser proibido e devem ser erradicados até 2014, com a criação de aterros que sigam as normas ambientais;</p> <p>Municípios devem instalar a compostagem para atender a toda população;</p> <p>Prefeituras devem organizar a coleta seletiva de recicláveis para atender toda a população, fiscalizar e controlar os custos desse processo.</p>
Empresas	<p>Inexistência de regulação sobre os investimentos privados na administração de resíduos;</p> <p>Poucos incentivos financeiros;</p> <p>Desperdícios de materiais e falta de processo de reciclagem e reutilização;</p> <p>Sem regulação específica.</p>	<p>Legislação prevê investimentos das empresas no tratamento dos resíduos;</p> <p>Novos estímulos financeiros para a reciclagem;</p> <p>A reciclagem estimulará a economia de matérias-primas e colaborará para a geração de renda no setor;</p> <p>Empresas apoiam postos de entrega voluntária e cooperativas, além de garantir a compra dos materiais a preço de mercado.</p>
Catadores	<p>Manejo do lixo feito por atravessadores, com riscos à saúde;</p> <p>Predominância da informalidade no setor;</p> <p>Problemas tanto na qualidade quanto na quantidade dos resíduos;</p> <p>Catadores sem qualidade.</p>	<p>Catadores deverão se filiar a cooperativas de forma a melhorar o ambiente de trabalho, reduzir os riscos à saúde e aumentar a renda;</p> <p>Cooperativas deverão estabelecer parcerias com empresas e prefeitura para realizar coleta e reciclagem;</p> <p>Aumento do volume e melhora da qualidade dos dejetos que serão reaproveitados ou reciclados;</p> <p>Os trabalhadores passarão por treinamento para melhorar a produtividade.</p>
População	<p>Separação inexpressiva de lixo reciclável nas residenciais;</p> <p>Falta de informação;</p> <p>Atendimento da coleta seletiva pouco eficiente.</p>	<p>População separará o lixo reciclável na residência;</p> <p>Realização de campanhas educativas sobre o tema;</p> <p>A coleta seletiva será expandida.</p>

**Fonte:** Adaptado de Lei nº 12.305/2010 e CEMPRE, (2013)

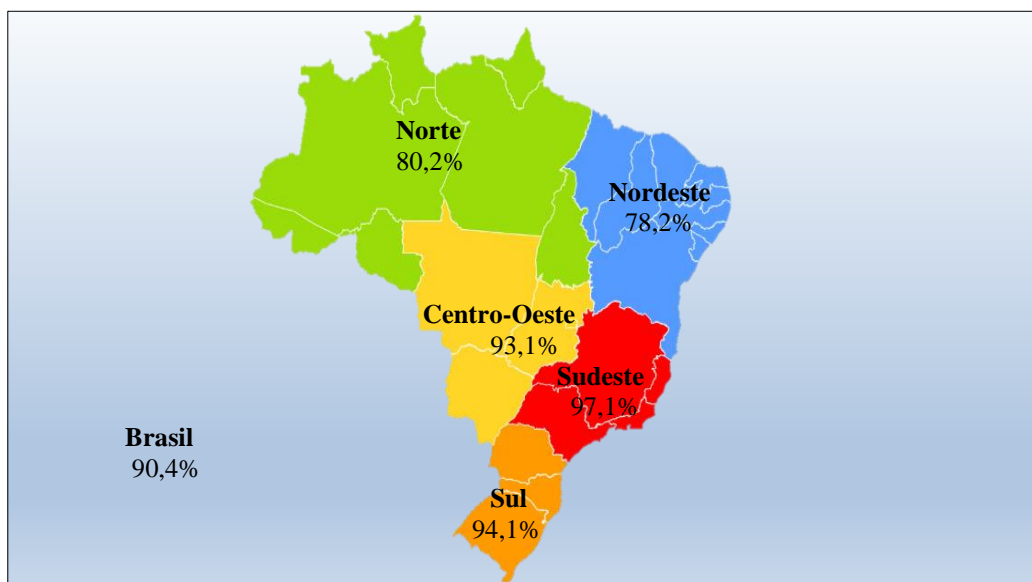
Realização:



Mesmo com o advento normativo, no Brasil, é difícil quantificar os RSU gerados per capita, pois, a disposição irregular, coleta informal e insuficiência do sistema de coleta pública impedem que parte dos resíduos sólidos gerados sejam coletados e contabilizados (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [IPEA], 2012). Esse impedimento, devido as ações irregulares, representa aproximadamente 20% dos resíduos gerados no país, segundo CEMPRE (2013).

A integralização normativa 2010 não é suficiente para eliminar a irregularidade de resíduos descartados em lixões clandestinos, como ocorre em algumas cidades. É necessário destacar que esse mesmo lixo, produzido pela sociedade, não sofre nenhuma mudança de classificação em seu nascedouro pela população, além de baixo índice de políticas públicas (Nascimento et al., 2015).

A narrativa de coleta de resíduos sólidos, nas áreas urbanas alcança quase que a totalidade dos domicílios em todas as regiões brasileiras com, aproximadamente, 98,4% de abrangência (IBGE, 2008; IPEA, 2012). Entretanto, se as áreas rurais também fossem consideradas, o índice de alcance da coleta de resíduos sólidos diminui significativamente, principalmente nas regiões Nordeste e Norte, conforme se observa na Figura 1.



**Figura 1** - Índice de abrangência do serviço de coleta de RSU por região  
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2014) e Nascimento et al., (2015)

Diante das evidências apresentadas, bem como o baixo índice de políticas públicas conforme afirmam Nascimento et al., (2015), alguns estudos apresentam técnicas para mensurar a eficiência dos governos locais na geração e coleta de resíduos sólidos urbanos. Essas técnicas, tem como lastro de sustentação a DEA, assim vejamos:

Para obter uma medida satisfatória da eficiência produtiva de unidades tomadoras de decisão, Charnes et al., (1978) propuseram um modelo levando em conta todas as entradas e saídas



de operação na coleta de resíduo sólido.

Esses autores obtiveram uma estimativa relevante da produção por meio da DEA. O modelo desenvolvido consiste numa programação linear (LP) para comparar a eficiência relativa de uma unidade de referência em relação a outras, no conjunto de amostras. Assim, a DMU de referência é tecnicamente eficiente se não for possível melhorar nenhuma das suas entradas ou saídas (Sengupta, 1996). Essa análise permite realizar um benchmarking entre as DMUs analisadas e identificar o melhor uso das entradas ou saídas num dado conjunto.

Simar e Wilson (2007) propuseram a abordagem DEA em dois estágios. A eficiência é estimada no primeiro estágio. Em seguida, a eficiência é regredida em covariáveis, diferentes das variáveis usadas no primeiro estágio. Nesta pesquisa, elas são representadas pelas variáveis ambientais.

A proposta condiciona a separabilidade das variáveis utilizadas no primeiro e no segundo estágio é requerida. As variáveis utilizadas no segundo estágio podem afetar os escores de eficiência, mas não afetam diretamente as entradas ou saídas do primeiro estágio. As variáveis devem ser fatores explicativos da eficiência técnica obtida. Caso não exista a separação, a estimativa de dois estágios é comprometida (Simar & Wilson, 2007; Daraio et al., 2010).

A abordagem DEA em dois estágios tem sido utilizada em pesquisas científicas recentes para atividades públicas e privadas (Simar & Wilson 2007; Daraio et al., 2010; Abrate et al., 2013; Chang et al., 2013; Benito et al., 2014; Benito, Solana & López 2014; Benito, Guillamón & Ríos 2017; Lopes, Prior & Zafra Gomez 2017), por obter resultados mais robustos e eficientes em relação as modalidades técnicas de um estágio (Lopez et al., 2017).

Benito et al., (2014) verificaram o que determina a eficiência das entidades espanholas locais na prestação de serviços públicos de limpeza de ruas e coleta de lixo, utilizando a DEA em dois estágios. Os autores utilizaram como variáveis de saída (*outputs*) no primeiro estágio a produção anual de resíduos em toneladas e o índice de adequação do serviço. As variáveis de entrada (*inputs*) foram o custo per capita da coleta de resíduos sólidos e limpeza de rua.

No segundo estágio os autores utilizaram como variáveis exógenas para o modelo: a renda per capita em euros, a densidade populacional por área urbana, o índice de importância para o turismo, índice da atividade econômica municipal, sinal político e o tipo de gerenciamento público ou privado. Os resultados revelaram que a eficiência na gestão do serviço diminui quando o rendimento e a densidade populacional nos municípios aumentam. O sinal político do partido do governante e o tipo de gerenciamento utilizado na prestação do serviço, afetam a eficiência. São mais eficientes os municípios governados por partidos progressistas e por serviços prestados pela organização privada.

Utilizando a DEA e análise de regressão em segundo estágio, Chang et al., (2013) estimaram o efeito da aprendizagem organizacional. Os autores avaliaram o desempenho relativo dos sistemas de reciclagem da gestão de resíduos sólidos 23 governos locais em Taiwan, no período de 2001 a 2009. As variáveis de entrada utilizadas no primeiro estágio foram a estimativa do coeficiente e o efeito da aprendizagem, horas de mão de obra, quantidade de equipamentos utilizados e o orçamento local. As variáveis de saída foram a reciclagem per capita e lixo coletado. Os resultados demonstram que é relevante integrar o efeito de aprendizagem organizacional na avaliação do desempenho da reciclagem.

Rogge e Jaeger (2012) propuseram uma versão ajustada de entrada compartilhada da técnica de medição de eficiência com DEA, para avaliar o desempenho de 293 municípios de Flandres, na Bélgica. Nesta configuração, o *input* custos de resíduos é compartilhado entre os esforços de tratamento de múltiplas frações de resíduos sólidos municipais. Os resultados apontaram que o custo médio dos municípios é relativamente baixo para as frações de resíduos.

Ichinose et al., (2013) mensuraram a eficiência produtiva da logística de resíduos sólidos municipais com modelos DEA para dados transversais de prefeituras em Java, no Japão. Os *outputs* utilizados foram os resíduos sólidos domésticos e industriais. Os *inputs* foram o capital, a mão de obra, e a quantidade de trabalhadores empregados. Os resultados apontam que operadores públicos e privados utilizam tecnologias de produção diferentes, e operadores privados são mais eficientes na coleta de resíduos sólidos. No entanto, no setor privado a relação de trabalho afeta negativamente a eficiência. As prefeituras ineficientes na logística de descarte dos resíduos, descartam maiores volumes em aterro ilegal de resíduos industriais.

Lopez et al., (2017) analisaram a eficiência de escala de diferentes modelos de gerenciamento do serviço de coleta e tratamento de resíduos sólidos em municípios espanhóis, com população entre 10 e 50 mil habitantes, no período de 2002 a 2014. Os resultados revelam uma relação positiva entre a eficiência e o tamanho do município. Cidades com populações maiores apresentaram, em média, maior eficiência. O custo da coleta de resíduos sólidos foi utilizado como *input*. Os *outputs* foram a produção anual de lixo (em toneladas), a periodicidade da coleta e o número de contentores de resíduos localizados em vias públicas. Os resultados sugerem que a eficiência do serviço de coleta de resíduos é mais baixa nos municípios menores, com população de 1 a 5 mil habitantes. No entanto, uma maior eficiência está associada ao maior tamanho do município e à forma de gerenciamento conjunto do serviço.

Preocupados com a avaliação da eficiência técnica e de escala de governos locais de Nova Gales do Sul, Worthington e Dolley (2001) usaram uma abordagem não paramétrica para mensurar a eficiência no serviço de gestão de resíduos domésticos.

Para o modelo DEA, os autores utilizaram as seguintes variáveis: propriedades que recebem serviço de gestão de resíduos domésticos, taxa de ocupação do município, densidade demográfica, distribuição da população, índice de custo de eliminação de resíduos e gasto com coleta, como *inputs*. Os *outputs* foram a quantidade de lixo coletado, total coletado de recicláveis e taxa de reciclagem implícita. No segundo estágio, foi analisado por meio de regressão, o efeito da classificação do governo local. Os resultados indicaram que locais urbanos desenvolvidos são menos eficientes quando comparados com locais rurais. Mas os locais rurais com crescimento significativo tendem a ser menores em eficiência que os demais.

Com base na literatura que envolve a análise de eficiência, este estudo busca identificar em segundo estágio se a eficiência é afetada pelas variáveis relacionadas com o tamanho da população, o tipo de gerenciamento utilizado na prestação do serviço, a coleta seletiva, a quantidade de resíduos reciclados e a cobrança específica pelo serviço.

Com base na literatura exposta, especificamente nos estudos com *inputs* e *outputs* em um estágio DEA, que sugerem relação negativa da eficiência à população (Benito et al., 2014), tem esta pesquisa, também, a incumbência em analisar essa relação negativa. Para isso, é construído a primeira hipótese de pesquisa:

Realização:



**H<sub>1</sub>:** Municípios de maior população tendem a ser mais eficiente na gestão de coleta de resíduos sólidos. Por meio dessa hipótese, espera-se ratificar relação positiva entre a população e a eficiência de gestão de resíduo sólido nos municípios.

Tomando como base a parceria na coleta seletiva entre agente público e privado (Ichinose et al., 2013), o estudo também pretende identificar a eficiência entre os serviços prestados por esses agentes, no que tange a qualidade e menor custo. Assim, constrói-se a segunda hipótese de pesquisa:

**H<sub>2</sub>:** Municípios com serviços de coleta seletiva de resíduos domiciliares executadas por agente privado tendem a ser mais eficientes.

### 3 Método da Pesquisa

A população deste estudo foi constituída pelos municípios com informações na base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Após análise nos municípios coletados da base de dados, foram excluídos os municípios com dados ausentes durante o período 2012 a 2015. Essa exclusão, resultou no saldo de 260 municípios com informações necessárias para fins deste estudo.

Esses municípios foram agrupados em cinco faixas populacionais, e classificadas em função da população total estimada declarada nos relatórios pela SNIS (2017), conforme demonstrado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Faixa populacional adota para a amostra

Faixa Populacional	Intervalo da Faixa em habitantes	Número de municípios
1	Até 10.000	78
2	De 10.001 a 30.000	73
3	De 30.001 a 100.000	61
4	De 100.001 a 500.000	39
5	Acima de 500.000	9
Total		260

**Fonte:** Elaborada pelos autores com dados da pesquisa

A expressiva quantidade de municípios excluídos, talvez esteja relacionada ao fato de não haver obrigatoriedade das informações ou auditoria sobre o que foi informado. Alguns municípios por exemplo, disponibilizam parcialmente os dados. Inclusive, a divulgação por parte do SNIS, ocorre de forma intempestiva, com um lapso temporal de aproximadamente dois anos. Isso limita a utilização dos dados por período e por quantidade de municípios. É possível também, que seja uma limitação desta pesquisa.

Vale salientar, a população brasileira é de aproximadamente 209,75 milhões de habitantes. Deste montante, 177,2 milhões corresponde a população urbana, para um total de 5.570 municípios. A regularidade da informação sobre coleta de resíduos sólidos urbanos é feita de forma voluntária pelos municípios.

Essa informação, voluntária, é realizada na base de dados do SNIS, conforme questionário



existente. O SNIS está ligado ao Ministério das Cidades desde o ano de 2002. Nesse mesmo ano, iniciou com a participação de 108 municípios, e em 2015, essa participação compreendeu 3.520 municípios disponibilizando informações sobre a coleta de resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2017). Entretanto, são poucos municípios a cumprir 100% das informações solicitadas pelo SNIS. Essa realidade, se confirma neste estudo, e ratifica a premissa da não obrigatoriedade.

A escolha por faixas populacionais é justificada pela diferença em massa per capita coletada e declarada pelo SNIS (2017). Para os municípios com até 30 mil habitantes, que representam 80% do total de municípios do país, a massa coletada per capita é de 0,90 kg/habitante/dia. Já para os municípios de 1 a 3 milhões de habitantes a massa coletada per capita é de 1,15kg/habitante/dia, sendo o indicador médio do país de 1,00kg/habitante/dia.

Outro fator que justifica a faixa populacional é a comparabilidade entre características comuns, uma vez que pequenos municípios tendem a ter padrão e estrutura diferenciada, em relação a municípios densamente populosos.

Farrel (1957), em razão da dificuldade de padronização, sugere dividir as observações em grupos aproximadamente iguais e aplicar o método de agrupamento na análise a cada um dos grupos separadamente. Desta forma, são evitados os problemas de comparabilidade dos dados.

Ji e Li (2010) afirmam que a DEA obteve atenção considerável como uma ferramenta gerencial para medir o desempenho das organizações, e tem sido utilizada amplamente para avaliar a eficiência dos setores público e privado. A eficiência é um conceito relativo, que compara o que foi e o que poderia ter sido produzido. É uma relação de produtividade, com *output* (variáveis de saída) dividido por *input* (variáveis de entrada). O método DEA visa maximizar a eficiência da produtividade, que é a razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir.

Neste estudo, a DEA é utilizada para avaliar a eficiência da gestão de coleta de resíduos sólidos em relação a produtividade das DMUs (municípios), com base em três variáveis de *input* e três variáveis de *output*, conforme consta na Tabela 4.

**Tabela 4 - Variáveis DEA – primeiro estágio**

Status	Variáveis	Símbolo	Descrição
<b>Inputs</b>	População Urbana Atendida	Urbpatt	População urbana do município atendida, com serviço de coleta de resíduos. Unidade: Habitante.
	Despesa Total	Texpense	Valor anual da soma das despesas com serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos, dos agentes públicos e privados. Unidade: R\$/ano.
	Funcionários Total	Temploy	Quantidade total de trabalhadores remunerados dos agentes públicos ou privados, dos serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos, no final do ano de referência. Unidade: Empregados
<b>Outputs</b>	Produtividade Total	Tproduct	Valor anual da soma das quantidades totais de resíduos domésticos e públicos coletados por todos os agentes, exceto cooperativas de catadores. Unidade: Tonelada/ano.
	Coleta per capita	Collecpc	Massa de resíduo doméstico/público coletada em quilos per capita em relação à população Urbana. Unidade: Kg/(habitante x dia).
	Custo por tonelada	Coston	Custo unitário da coleta de resíduo doméstico e público. Unidade: R\$/tonelada.

**Fonte:** Elaborada pelos autores com os dados da pesquisa

O foco principal nesse estágio da análise, é detectar a eficiência relativa dos municípios e verificar se uma determinada faixa populacional surge como referência eficiente. No segundo estágio (ver Tabla 5), o modelo de regressão é aplicado aos resultados obtidos no primeiro estágio, no intuito de identificar a influência de variáveis sobre a eficiência dos municípios na prestação de serviços de coleta de resíduos sólidos.

**Tabela 5** - Variáveis e definições para segundo estágio

Variável	Símbolo	Sinal Esperado	Descrição
Score Eficiência dos municípios	Effic		Score de eficiência dos municípios (Estágio 1)
População total	Tpop	±	Soma das populações urbana e rural de um município no ano de referência. Unidade: habitante.
Reciclagem	Recycl	+	Quantidade anual de materiais recicláveis recuperados (exceto matéria orgânica e rejeitos), coletados de forma seletiva ou não, decorrente da ação dos agentes público e privado. Unidade: tonelada/ano.
Gerenciamento	D_Manag	+	Responsável pela gestão do serviço coleta, se agente público ou privado. Informação de natureza qualitativa, sendo uma variável Dummy. Unidade: “1” para gerenciador privado e “0” para gerenciador público.
Pagamento	D_Paym	+	Existência de cobrança específica pelos serviços regulares de coleta de Resíduos. Informação de natureza qualitativa, sendo variável Dummy. Unidade: “1” se há pagamento e “0” se não há pagamento.
Coleta seletiva	D_Garbcoll	+	Ocorrência do serviço de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares executado por agente público ou privado. Informação de natureza qualitativa, sendo variável Dummy. Unidade: “1” se há coleta seletiva e “0” se não há coleta seletiva.
Local de descarte	D_Placdisp	±	Tipo da unidade de descarte dos resíduos: se aterro sanitário, aterro controlado ou lixão. Informação de natureza qualitativa, sendo variável Dummy de duas colunas. Coluna1: 1 para Aterro Sanitário, 0 Aterro Controlado e 0 Lixão; Coluna2: 0 para Aterro Sanitário, 1 Aterro Controlado e 0 Lixão.

**Fonte:** Elaborada pelos autores com dados da pesquisa

O procedimento de estimativa em duas etapas, para explicar o impacto de variáveis ambientais na eficiência, segue a proposta semi-paramétrica de Simar e Wilson (2007). Para os autores, os quais fatores ambientais não afetam o conjunto alcançável ou sua fronteira, porque só

afetam o processo de produção por meio da probabilidade de serem mais ou menos eficientes. Dessa forma, espera-se que a ocorrência das variáveis tenha a perspectiva de influenciar os municípios a serem mais eficientes.

Os dados foram analisados no software Stata, por meio do comando introduzido por Ji e Lee (2010) para a DEA e para a regressão na análise em segundo estágio.

A pesquisa tem como limitação o acesso aos dados dos anos recentes, uma vez que há um lapso temporal de disponibilização dos dados de aproximadamente dois anos. No que tange a coleta de resíduos sólidos, neste estudo não se analisou os resíduos sólidos da saúde nem resíduos da construção civil. Foi utilizado o modelo de segundo estágio semi-paramétrico proposto por Simar e Wilson (2007).

As variáveis ambientais que poderiam influenciar a eficiência do serviço de coleta, tais como as características geográficas, demográficas e socioeconômicas dos municípios, não foram consideradas neste estudo.

### 3. Resultados e Discussões

Foram utilizadas como variáveis de *input* a quantidade total de funcionários. Não foi discriminado se os funcionários estavam envolvidos diretamente na coleta de resíduos, em atividade administrativa ou de gestão para não causar um viés quanto ao gasto, uma vez que o gasto total com coleta é o foco do estudo. De modo similar, não houve discriminação quanto ao gasto total da atividade de coleta em operacional ou administrativo.

A população urbana atendida foi inserida pelo fato de ser um indicador de atendimento do município. Sobre as variáveis utilizadas como *output*, a quantidade total de toneladas de resíduos coletados informado por cada município, a coleta per capita que considera tudo que foi coletado em relação aos habitantes, e o custo por tonelada como indicador que relaciona o gasto total em valor monetário com a quantidade total de toneladas coletadas.

Apresenta-se na Tabela 6 a estatística descritiva das variáveis do primeiro e segundo estágio.

A população urbana atendida variou entre 600 habitantes para os menores municípios e acima de um milhão de habitantes para os maiores municípios da amostra, sendo a média da população em torno de 120 mil habitantes. Já a despesa total variou entre \$45 mil a \$2 bilhões, sendo a média da amostra 14 milhões. A quantidade de funcionários variou entre dois e 18 mil funcionários. Em relação as variáveis de segundo estágio, a eficiência da amostra teve média de 0,64, numa escala de 0 a 1, e a média de materiais recicláveis foi de 612 toneladas/ano.

**Tabela 6** - Estatísticas descritivas das variáveis do primeiro e segundo estágios

Variável	Média	Desvio padrão.	Mínimo	Máximo
Primeiro Estágio				
dmu	130,5	75,09109	1	260
Urbpatt	121.577,9	749.419	646	1.19e+07
Texpense	1,44e+07	1,13e+08	45.740,4	2,09e+09
Temploy	191,6875	966,3027	2	18.693
Tproduct	46.816,45	29.1867,1	110	5.342.080
Collecpc	0,9450096	0,5676797	0,11	3,96
Costton	135,5649	91,06534	10,85	440
Segundo Estágio				
Effic	0,6440537	0,2531185	0,0823277	1
Tpop	129.211,2	75.7072,6	1.576	1,20e+07
Recycl	612,1572	3.168,531	0	65839,7
D_Manag	0,4269231	0,4948689	0	1
D_Paym	0,5682692	0,4955557	0	1
D_Garbcot	0,5173077	0,4999408	0	1
D_Placedisp	0,4538462	0,4981048	0	1
D_Placedisl	0,2903846	0,4541583	0	1

**Fonte:** Elaborada pelos autores com dados da pesquisa

Apenas 17% dos municípios apresentaram eficiência pelo score do primeiro estágio, e tornaram-se referência. A eficiência foi percebida em maior percentual nos grupos com maior população, sendo 36% e 84% para população da faixa quatro (100.001 a 500.000) e da faixa 5 (acima de 500.000), respectivamente. Para os municípios com menos de 10 mil habitantes, o percentual de municípios eficientes foi de aproximadamente 10%.

Anualmente, a eficiência apresentou-se constante, sendo que no ano 1, 15% dos municípios foram eficientes, e para os anos seguintes o percentual foi de 18% aproximadamente.

Quanto ao segundo estágio, a eficiência obtida foi considerada como variável dependente. Como regressores foram utilizados: a população total do município, uma vez que pesquisas indicam ser uma variável que influencia a eficiência; a quantidade de material reciclado em toneladas; a gestão do serviço de coleta de resíduos, se pública ou privada.

Os dados fornecidos pelos municípios não identificam claramente se a gestão é pública ou privada, a pesquisa identificou tal variável de forma intuitiva: maior percentual de gastos totais declarados de origem pública como gestão pública, e os demais declarados com maiores gastos de origem privada como sendo de gestão privada.

O pagamento específico pelo serviço de coleta também é uma variável citada na literatura como influenciadora, independentemente do tipo da gestão do serviço. A existência de coleta seletiva, uma vez que nem todo material reciclado é proveniente de coleta seletiva. E o local de descarte dos resíduos, se aterro sanitário, aterro controlado ou lixão. O lixão é atualmente o mais usado e também aquele que mais prejudica o meio ambiente.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do segundo estágio, modelo Simar e Wilson (2010).



O sinal negativo para o coeficiente população total (Tpop), sugere que cidades com maior população enfrentam maiores dificuldades na prestação do serviço. Esse resultado não confirma H<sub>1</sub>, ou seja, municípios com maior população tendem a ser ineficiente na gestão de coleta de resíduos sólidos. Como também, não identificou significância estatística em relação ao tamanho da população, divergindo dos resultados encontrados por estudos similares (Ichinose et al., 2013; Benito et al., 2014).

**Tabela 7 - Efeitos dos regressores sobre a eficiência**

Eficiência	Coef.	Bootstrap Std. Err.	Z	P> z	Percentil Intervalo de confiança a 95%	
Effic						
Tpop	-5.69e-09	1.81e-08	-0.31	0.754	-3.44e-08	3.55e-08
Recycl	.0000104	6.02e-06	1.73	**0.083	4.27e-07	.0000242
D_Manag	.1353186	.0185528	7.29	*0.000	.0968891	.169897
D_Paym	-.0282797	.0182775	-1.55	0.122	-.063642	.006727
D_Garbccl	.0456	.0205837	2.22	*0.027	.0056652	.0842912
D_Placedisp	-.051477	.0245616	-2.02	*0.043	-.1032803	-.0036919
D_Placedisl	-.0484436	.0250732	-1.93	**0.053	-.0991529	-.0024385
_cons	.5576222	.0188956	29.51	0.000	.5222947	.5968619
/sigma	.2285945	.0081938	27.90	0.000	.2124838	.2434615

Nota. (\*) nível de significância de 95%; (\*\*) nível de significância de 90%.

**Fonte:** Elaborada pelos autores com dados da pesquisa

Quando analisado por faixa de população, também, não foi encontrado significância estatística entre as variáveis, uma vez que todas as faixas mantiveram um padrão semelhante. Entretanto, reflete positivamente no aumento da densidade populacional não planejada e na diversidade do desenvolvimento econômico no país, municípios populosos. Já a variável material reciclável recuperado (Recycl), coleta de forma seletiva ou não, influencia a eficiência de forma positiva a um nível de significância de 90%.

Nascimento et al., (2015) aponta que progressos na gestão de resíduos sólidos através de melhoria de reciclagem são frequentemente alcançados em países desenvolvidos, e que as prioridades de gerenciamento são diversas em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isso pode explicar a pouca influência na gestão do serviço de coleta de resíduos, uma vez que a reciclagem de materiais requer investimentos financeiros e humanos, no sentido do gerenciamento, conscientização e educação da população.

A forma de gestão do serviço de coleta (D\_Manag) é mais eficiente em municípios com gestão privatizada. Esse resultado confirma H<sub>2</sub>, em que os serviços de coleta seletiva tendem a ser mais eficiente quando realizada por agentes privados, e corrobora com Bel e Miralles (2003), Bloomfield (2006), Ichinose et al., (2013) e Benito et al., (2014) – quando afirmam que a eficiência aumenta se a gestão é privada. Esses autores defendem que gestão de resíduos sólidos devem ocorrer pela iniciativa privada, porque reduz os custos de fornecimento do serviço, mantém a qualidade do serviço e aplica inovações tecnológicas que alguns municípios não podem oferecer com os recursos disponíveis. Entretanto, com base nos achados deste estudo, pode-se inferir que

uma administração privada não garante serviço de qualidade em todas as áreas de maneira homogeneia.

A existência de cobrança específica pelos serviços regulares de coleta de resíduos (D\_Paym) não apresenta relação com a eficiência dos municípios quanto a coleta. Já a ocorrência do serviço de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares (D\_Garbcoll) possui relação positiva com a eficiência.

Quanto ao local de descarte dos resíduos (D\_Placedisp), que é considerado um desafio para as organizações públicas e privadas, devido a eliminação precária no país, (Chaves et al., 2014), apresenta grau de significância estatística em 95% na eficiência de gestão de resíduos sólidos.

A tentativa de erradicar os lixões e com isso proteger o meio ambiente e a saúde humana tem falhado ao longo dos anos. Os resíduos só devem ser eliminados quando não houver possibilidade de reciclagem ou reutilização (Chaves et al., 2014). Os resultados deste estudo apontam que o lixão se relaciona de forma negativa com a eficiência da gestão do serviço de coleta de resíduos. Sendo o local de descarte mais utilizado e, na maioria dos casos, não possui licença ambiental.

#### 4. Considerações Finais

Esta pesquisa analisa quais variáveis endógenas influenciam na eficiência técnica da prestação serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos nos governos locais brasileiros, com a utilização de DEA em estimação de dois estágios, por proporcionar um maior refinamento e robustez nos resultados da pesquisa, durante o período de quatro anos. Para isso, constitui duas hipóteses de pesquisas. Os coeficientes fornecem evidências de que a eficiência é afetada pela forma de gestão dos resíduos, e corrobora com a literatura que identifica tal relação.

Os resultados fornecem uma visão da estrutura da função de coleta de resíduos sólidos no país, e ainda, preliminarmente, proporciona a possibilidade de análise na identificação de benchmarking. O comprometimento com as finanças e com o meio ambiente por parte da gestão pública precisa ser mais efetivo.

Políticas públicas precisam ser desenvolvidas no sentido de estimular e proporcionar a reciclagem dos resíduos, bem como o atendimento ao despejo dos resíduos numa estrutura que comprometa o mínimo possível o meio ambiente. Sugere-se investir em aterros sanitários, autorizados e inspecionados. A reciclagem, coleta seletiva e o descarte dos resíduos em local adequado são métodos pouco desenvolvidos.

A ausência destes contribui para a proliferação de doenças e degradação do meio ambiente. A realização da coleta seletiva deve ser estimulada, pois dessa forma há a interação entre sociedade e poder público como facilitador da concepção de uma nova cultura, adequada aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

O estudo teve como limitação a disponibilização dos dados. Não faz parte do escopo do estudo os gastos com coleta de resíduos da saúde e da construção civil, bem como variáveis geográficas, demográficas e socioeconômicas. Sugere-se que futuras pesquisas ampliem o número de municípios, e insiram variáveis geográficas, demográficas e socioeconômicas. Como os resultados indicaram melhor eficiência na gestão do serviço privado, sugere-se analisar o impacto

do ciclo eleitoral na gestão dos resíduos sólidos urbanos no âmbito da gestão pública.

## Referências

- Abrate, G., Boffa, F., Erbetta, F. & Vannoni, D. (2013). *Corruption. Accountability and Efficiency, An Application to Municipal Solid Waste Services*. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/tur/wpapnw/022.html>.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2014). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>.
- Andrade, E. S. M., Cosenzab, J. P. & Rosa, L. P. (2013). Evidenciação do risco empresarial e ambiental diante das mudanças climáticas e do aquecimento global. *Rev. Cont Org* 17(2013). DOI: <http://dx.doi.org/10.11606%2Frco.v7i17.56691>
- Bel, G. & Miralles, A. (2003). Factors influencing the privatization of urban solid waste collection in Spain. *Urban Stud*, 40, pp, 1323-1334.
- Benito, B., Solana, J. & Moreno, M. R. (2014). Explaining efficiency in municipal services providers. *J Prod Anal*, 42, 225-240. DOI: 10.1007/s11123-013-0358-7: 3
- Benito, B., Solana, J. & López, P. (2014). Determinants of Spanish regions' tourism performance: a two-stage, double-bootstrap data envelopment analysis. *Tourism Economics*, 20 (5), 987–1012. DOI:10.5367/te.2013.0327.
- Benito, B., Guillamón, M. D. & Ríos, A. N. (2017). The electoral budget cycle on municipal waste collection expenditure. *Applied Economics*, DOI:10.1080/00036846.2016.1276 278.
- Bloomfield P. (2006). The challenging business of long-term public-private partnerships: reflections on local experience. *Public Adm Rev*, pp, 66, 400–411. DOI: 10.1111/j.1540-6210.2006.00597.x.
- Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (2007). Diretrizes nacionais para o saneamento básico e constituição do comitê interministerial de saneamento básico. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)
- Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. (2010). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 03 ago de 2010.

- Chang, D. S., Liu, W. & Yeh, L. T. (2013). Incorporating the learning effect into data envelopment analysis to measure MSW recycling performance. *European Journal of Operational Research*, 229, pp, 496–504. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.026>.
- Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, pp, 429-444.
- Chaves, G. L. D., Santos, J. L. & Rocha, S. M. S. (2014). The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: a Brazilian case review. *Waste Management & Research*, 32(9) Supplement, pp, 19–31. DOI: 10.1177/0734242X14541987.
- Contreras, F., Ishii, S., Aramaki, T., Hanaki, K. & Connors, S. (2010). Drivers in current and future municipal solid waste management systems: Cases in Yokohama and Boston. *Waste Management & Research*, 28 (1), pp, 76-93. DOI: 10.1177/0734242X09349417.
- Compromisso Empresarial para Reciclagem. (2013). *Cempre review*. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>.
- Daraio, C., Simar, L. & Wilson, P.W. (2010). *Testing whether two-stage estimation is meaningful in non-parametric models of production*. Discussion paper #1031... Institut de Statistique, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- EuroActiv (2014). *Waste business 'very vulnerable to corruption'*. Disponível em: <http://www.euractiv.com/section/sustainable-dev/news/waste-business-very-vulnerable-to-corruption/>.
- Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120 (3), pp, 253-290.
- Hoornweg, D. and BhadaTata, P. (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. The World Bank Urban Development Series, 15, pp, 8-10.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). *Perfil dos municípios brasileiros 2013*. Recuperado de <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>.
- Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. (2008). *Pesquisa nacional de saneamento básico 2008*. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao\\_devida/pnsb2008/PNSB2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao_devida/pnsb2008/PNSB2008.pdf).



- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Sinopse Censo Demográfico 1960-2010*. Disponível em: [https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse\\_tab\\_brasil\\_zip.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_brasil_zip.shtm)
- Ichinose, D., Yamamoto, M. & Yoshida, Y. (2013). Productive efficiency of public and private solid waste logistics and its implications for waste management policy. *IATSS Research*, 36, pp, 98–105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.01.002>.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2012). *Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos - relatório de pesquisa*. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf).
- Ji, Y. B. & Li, C. (2010). Data envelopment analysis. *The Stata Journal*, 10 (2), pp, 267–280.
- Liu, C. e Wu, X.W. (2010). Factors influencing municipal solid waste generation in China: a multiple statistical analysis study. *Waste Management & Research*, 29(4) pp, 371-378. DOI:10.1177/0734242X10380114.
- Lopes, P. G., Prior, D. & Zafra Gomez, J. L. (2017). Temporal scale efficiency in DEA panel data estimations: An application to the solid waste disposal service in Spain. *Omega*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2017.03.005>.
- Nakamura, C. Y., Marques, E., Vilela, P., Oda, T., Lima, L., Costa, R., & Azevedo, I. C. (2014). Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. *Águas Subterrâneas*, 28(2), pp, 28-40.
- Nascimento, V. F., Sobral, A. C., Andrade, P. R. & Metto, J. P. H. B. (2015). Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Rev. Ambient. Água* 10 (4), pp, 890-902. DOI: [doi:10.4136/ambi-agua.1635](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1635).
- Organization for Economic Co-operation and Development. (2003). *Environmental indicators: development, measurement and use*. Reference paper. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>.
- Paro, A. C., Costa, F. C., & Coelho, S. T. (2008). Estudo comparativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração. *Revista Brasileira de Energia*, 14(2), pp, 113-125.
- Pereira, A. C., Melo, S. B., Slomoski, V. G. & Weffort, E. F. J. (2013). Percepções de gestores sobre as contribuições do processo de certificação ISO 14001 nas práticas de gestão ambiental. *Rev. Cont Org* 17(2013) pp, 74-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/rco.v7i17.56665>

- Rogge, N. & DeJaeger, S. (2012). Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. *Waste Management*, 32, pp, 1968–1978. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.021>.
- Saeed M.O., Hassan M. N. & Mujeebu M. A. (2009). Assessment of municipal solid waste generation and recyclable materials potential in Kuala Lumpur, Malaysia. *Waste Management*, 29, pp, 2209-2213. DOI:10.1016/j.wasman.2009.02.017.
- Sengupta, J. K. (1996) Data envelopment analysis: a new tool for improving managerial efficiency. *International Journal of Systems Science*, 27 (12), pp, 1205-1210, DOI: 10.1080/00207729608929327.
- Simar, S. & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136, pp, 31–64.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2017). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2015*. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/diagnostico\\_residuos-solidos/diagnostico-rs-2015](http://www.snis.gov.br/diagnostico_residuos-solidos/diagnostico-rs-2015).
- Stata (2017). Stata: Release 15. *Statistical Software*. College Station, TX: StataCorp LLC.
- Stewart, T. J. (1996). Relationships between Data Envelopment Analysis and Multicriteria Decision Analysis. *The Journal of the Operational Research Society*, 47 (5), pp, 654-665.
- Stolp, C. (1999). Strengths and Weaknesses of Data Envelopment Analysis: An Urban and Regional Perspective. *LBJ School Cornput., Environ and Urban Systems*, 14, pp, 03-116.
- Worthington, A. C. & Dolley, B. E. (2001). Measuring Efficiency in Local Government: An Analysis of New South Wales Municipalities' Domestic Waste Management Function. *Policy Studies Journal*, 29, pp, 232-249.