



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## EFICIÊNCIA DO SERVIÇO DE COLETA E PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Caique da Silva Della<sup>1</sup>, Ana Carolina Rosolen de Arruda<sup>2</sup>, Alexandre Pereira Salgado Junior<sup>3</sup>,  
Carlos Alberto Grespan Bonacim<sup>4</sup>

### RESUMO

Tendo em vista às crescentes preocupações ambientais relacionadas à geração e destinação dos resíduos, foi promulgada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos cujo objetivo é corrigir as fragilidades e problemas relacionados a essa questão. Em consonância às proposições da PNSR, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a eficiência do serviço de coleta e processamento de resíduos sólidos dos municípios brasileiros, por meio da ferramenta de análise envoltória de dados (DEA). Para estimativa de rendimentos satisfatórios, foi considerada a caracterização de *inputs* e *outputs*, recursos consumidos e resultados obtidos, respectivamente, do processo de gerenciamento de resíduos sólidos para uma amostra ajustada de 177 municípios, provendo categorização da eficiência quanto à regionalidade e gestão (pública e privada). Utilizando informações do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, para o ano de 2008, foi possível sugerir uma explicação sobre o desempenho dos municípios nesse ano. Os resultados principais mostram uma inclinação da eficiência para a região Centro-Sul com forte predomínio de empresas privadas, contratadas para execução das atividades de tratamento. Ademais, os resultados servem como orientação para os gestores no planejamento da prestação de serviços de coleta e processamento para o ordenamento de prioridades e a otimização operacional dos serviços.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos; Eficiência Operacional; Análise Envoltória de Dados (DEA)

### EFFICIENCY OF SERVICE COLLECTION AND SOLID WASTE PROCESSING: APPLICATION OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) IN BRAZILIAN MUNICIPALITIES

#### ABSTRACT

In view of the growing environmental concerns related to the generation and disposal of waste was promulgated in 2010 the National Solid Waste Policy whose aim is to fix the fragilities and problems related to this question. In accordance with the law's propositions the objective of this study was to evaluate the efficiency of the service of collecting and processing solid waste from municipalities, through the tool of data envelopment analysis (DEA). To estimate yields satisfactory, it was considered the characterization of inputs and outputs, results and resources consumed, respectively, of the process of solid waste management for a sample adjusted to 177, providing the categorization of efficiency on the regionalism and type of management (public and private). Using information from the National Information System on Sanitation for the year 2008, it was possible to suggest an explanation of the performance of cities in that year. The main results show a slope of efficiency for the Center-South region with a strong predominance of private companies that are contracted for carrying out the treatment activities. Furthermore, the results serve as a guide for managers in planning the provision of collection and processing for ordering priorities and operational optimization services.

**Keywords:** Solid Waste; Operational Efficiency; Data Envelopment Analysis (DEA)

Trabalho recebido em 22/11/2012 e aceito para publicação em 28/02/2013.

<sup>1</sup> Graduado em Ciências Contábeis pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP).

<sup>2</sup> Graduada em Economia Empresarial e Controladoria pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP).

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP).

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Contabilidade da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP-USP).

## 1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento urbano, junto à falta de preocupação com o meio ambiente nos últimos anos, acarretou diversas consequências negativas para a sociedade como, por exemplo, a contaminação do solo, a poluição do meio ambiente e a proliferação de doenças causada pelo acúmulo de lixo. É cada vez mais concreta a percepção de que a renovação e abundância dos recursos existentes na natureza são limitadas, e que é necessário analisar a utilização desses recursos sob um ponto de vista ambientalmente correto. Serviços considerados imprescindíveis de necessidade contínua, prestados à população em áreas urbanas, como saneamento, eletricidade e coleta de resíduos sólidos, estão sendo cada vez mais observados na perspectiva ambiental.

A coleta de resíduos, especificamente, sofreu modificações consideráveis no modo como é realizada desde os primórdios da automação de forças produtivas, em que as metas de conquista do mercado consumidor foram atreladas (MÉSZÁROS, 2002) ao faturamento com produtos de descarte rápido, manipulados a base do desperdício, o que em tese contribuiria para o aumento na de geração de resíduos.

Atualmente, o serviço de coleta se configura pela gestão múltipla: efetuada

pelo órgão público com natureza jurídica variável (administração pública direta, autarquia, empresa pública, ou mesmo sociedade de economia mista com administração pública); a privada (os municípios contratam empresas especializadas na coleta, pagando pela utilização de funcionários e máquinas); e Cooperativas /Associações de Catadores, o mais recente dos executores, que encontra dificuldades jurídicas, em relação à regulamentação dos profissionais, e estruturais (unidades de triagem, equipamentos).

Depois de coletados os resíduos sólidos domiciliares, públicos, dos serviços de saúde, construção civil, entre outros, o próximo passo culminará com o processamento desses resíduos: seja químico, físico ou biológico - quando se pensa em reutilização, reciclagem dos materiais, ou mesmo incineração -, até o simples armazenamento e depósito, como é o caso de lixões e aterros.

A proporção entre o volume de resíduos processados e a quantidade de recursos consumidos e a projeção desse indicador possibilita uma análise do panorama dos resíduos sólidos dos municípios brasileiros permitindo sugerir a revisão no uso dos recursos com base na regionalidade e tipo de gestão aplicada, planejando, desta forma, um desempenho desejável.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar a eficiência do serviço de coleta e processamento em municípios brasileiros no intuito de identificar pontos deficientes no procedimento por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA).

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nessa parte do trabalho, discutem-se os principais aspectos legais e pesquisas vinculadas ao tema de resíduos sólidos.

### **2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos**

A Lei nº. 12.305, sancionada em 2 de Agosto de 2010, estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e suas respectivas diretrizes administrativas. Essa lei surgiu para combater as fragilidades do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, para estimular práticas e atitudes mais conscientes na cadeia produtiva e nos hábitos culturais da população e exigir que a destinação final dos resíduos seja feita de maneira adequada.

A PNRS pode ser considerada um marco legal de suma importância e, por isso, serve como suporte teórico para novas pesquisas em torno da eficiência relacionadas à gestão de resíduos sólidos, como o é neste trabalho. Logo, destacam-se nesta revisão os aspectos relacionados à última etapa do ciclo de vida do produto,

qual seja a disposição final e sua normatização operacional específica (pertinente à interpretação dos municípios).

Com o objetivo de aumentar o volume de resíduos coletados e processados a PNRS estabelece dispositivos para o incentivo à indústria de reciclagem e para a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Tais dispositivos agem em consonância às variáveis propostas neste estudo de eficiência.

A articulação do município com as demais esferas de poder é outro ponto crítico, a incumbência aos municípios, da gestão integrada dos resíduos sólidos, bem como a exigência de que o Estado priorize iniciativas dos municípios de soluções consorciadas ou compartilhadas, fomentam a difusão de ideias sustentáveis que influem no cenário de cuidados ao meio ambiente.

A seção IV da PNRS disserta a respeito da condição para que municípios tenham acesso a recursos da União. Os benefícios, ora incentivos ora financiamentos, primam os distritos que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para gestão de resíduos e aqueles que implantarem a coleta seletiva com participação de Cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis

formadas por pessoas físicas de baixa renda.

Em última análise, a prioridade na recepção de crédito vai ao encontro do que propõe este artigo, que é a identificação de pontos (de) eficientes, e, com base neles, traçar preferências na composição de insumos (*inputs*) para um produto final satisfatório (*output*). No caso, a escolha de municípios para destinação de recursos é fundamentada em razão das medidas adotadas por esses distritos que necessariamente afetem a eficiência do serviço de coleta de resíduos, positivamente (como foi interpretado nos dois parágrafos dispostos acima).

Quanto ao controle da Política Nacional de Resíduos Sólidos, há por meio da responsabilização de atores – poder público, setor empresarial, e a coletividade - que asseguram a observância de diretrizes e determinações impostas pela PNRS. Exemplo disso é a determinação que o responsável pela geração dos resíduos não se isenta, sendo pessoa física ou jurídica, de arcar com as consequências danosas (remuneração) oriundas do gerenciamento inadequado de resíduos e/ou rejeitos, mesmo quando da contratação de serviços de terceiros ou realização pelo poder público.

## **2.2 Estágio Atual: Como Está a Realidade dos Municípios?**

O saneamento é conceitualmente arraigado como uma atividade de limpeza do meio ambiente, como um conjunto de procedimentos para que se proporcione uma condição higiênica saudável por meio do abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e controle de pragas, agentes patogênicos.

Pensando na urgência de boas atitudes para modificar as situações alarmantes que estão a saúde pública e o tratamento de resíduos, é proposta (SOUZA; FREITAS, 2006) uma intervenção interdimensional de elementos físicos, sociais, econômicos, políticos e culturais no saneamento.

A constatação da existência de externalidades negativas, para a sociedade, provocadas pela ausência de saneamento básico é relatada nos trabalhos de Souza e Freitas também nos anos 2008 e 2009.

Pesquisas realizadas com a entrevista de pessoas relacionadas ao tema, utilizando a técnica do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC), permitiram avaliar a predominância do discurso preventivista na região sudeste e norte, sugerindo a possibilidade do reflexo de tal comportamento em todo território nacional. De todos os pontos levantados é válido destacar: (i) Sustentabilidade de ações e benefícios ao longo do tempo – é normal a observação por parte de profissionais da área de

saneamento, saúde, ambiente, bem como a população mais carente, de que os benefícios do saneamento são temporários, sendo utilizados como “moeda de troca” para conquista de vantagens políticas; (ii) Articulação entre setores – muitas vezes não há ou é tênue, visto que há decisões conflitantes entre os órgãos e uma sensação de que tudo o que é feito ocorre por obrigatoriedade, sem que haja vontade política de se realizar; (iii) Intervenção popular – é de suma importância a cumplicidade da população em todas as fases do projeto, para identificação de suas necessidades; (iv) Estratégias empregadas – a educação ambiental sanitária deve ser constante na conscientização da população; (v) Modelo de gestão – é de extrema conveniência e lucidez, que na complexidade do mundo atual, haja adaptação de tecnologias para as mais específicas condições de municípios.

Compete a este artigo, colaborar com a ruptura do comodismo político na elaboração do plano para o saneamento de distritos ao evidenciar falhas e apontar alternativas, que contribuam para a obtenção da eficiência do triângulo “saneamento-saúde-ambiente”.

### **2.3 Avaliação de Eficiência do Modelo de Tratamento de Resíduos Sólidos Atual**

A competitividade acentuada nos mais diversos ramos de negócio é desafiadora aos gestores que cada vez mais buscam novas formas de reagir em tempo hábil às decisões do mercado concorrente. Sobrepondo a simples reatividade, o planejamento estratégico de custos, a agregação de valor na cadeia produtiva, foco em relevância, materialidade e controles internos estão sendo sinônimos de confiabilidade para o engajamento em formação de preços e retornos ao investimento. Esse comportamento de respostas ligeiras e agressivas, aperfeiçoado ao longo prazo (proatividade), no entanto, é pautado em ganhos monetários, sem apego aos danos que ocasionam ao meio natural.

Rohrich; Cunha (2004) ratificam isso no estudo analítico da gestão ambiental em nosso país ao citarem que “o Brasil tem visto a destruição ambiental como aceitável preço a ser pago pelo progresso econômico ou como uma prioridade menor considerando suas necessidades”. Mesmo assim, é ingenuidade não verificar que, atualmente, muito está sendo feito para mudar esse quadro injusto: o desenvolvimento de tecnologias limpas, o controle de resíduos devido à adaptação aos regulamentos e exigências sociais, a realização de pesquisas para reformulação de produtos, e a opção gradativa por recursos renováveis e fornecedores não

poluidores são algumas das atenções adquiridas por organizações conscientes da realidade.

Talvez um ponto-chave para disseminação da causa ambiental entre a cultura empresarial brasileira, ou mesmo de nações em desenvolvimento, de tal forma corriqueira e definitiva quanto à apreensão em decisões de financiamento e aplicação de recursos, seja projetar a eficiência aos procedimentos de coleta e tratamento de resíduos. Justamente ela, o âmago de qualquer atividade lucrativa, poderá servir à equiparação de uma unidade econômica produtiva ao serviço de destinação final de produtos/embalagens descartadas. (VELLANI; RIBEIRO, 2009).

Com a eficiência, o planejamento de recursos e investimento em processos prioritários para serviços, que beneficiem a sociedade e o meio ambiente, seriam de tamanha grandeza que ficariam tangíveis a empresas e indústrias (elas, assim, teriam a percepção de desempenho do serviço como um exemplo de modelo a ser reaplicado).

Eficiência no tratamento de resíduos sólidos como planejamento de recursos é avaliado, consoante Tonetto Filho; Bonacim (2011), pela capacidade do Estado em gerenciar custos do orçamento público de forma a não prejudicar outros gastos potenciais com educação, saúde, transportes e infraestrutura. Para que não se prejudique a destinação atual, eles

propõem a criação de dois modelos de internalização de custos privados: um seria a atuação de um mercado específico na bolsa de valores para a negociação dos CICPs, em que o Estado teria o papel de fiscalizar se a produção de lixo pelas empresas, com valores registrados no SNIS, equivale à quantidade comprada de contratos que representem a produção do material gerado; e o outro a aplicação de um imposto pigouviano federal em empresas geradoras de materiais que apresentem como ciclo de vida final os aterros sanitários, com criação, também, do Fundo Nacional de Gestão dos Resíduos Sólidos para acesso a essa nova verba, cujo excedente financeiro seria aplicado em programas educativos e de conscientização da população sobre coleta seletiva e demais aspectos.

Em relação à eficiência como investimento em processos prioritários, este artigo analisará quando verificar a condição sistêmica do serviço de coleta e processamento de resíduos sólidos em municípios brasileiros. Consentindo que “apesar da aceitação geral da prevenção como prioridade máxima para diminuição de resíduos, a maioria de recursos e esforços reguladores do governo estão ainda orientados no sentido de controle da poluição” (SCHMIDHEINY, 1992), o objetivo é avaliar a operação coordenada estritamente pelo poder público, sem a

abordagem de empresas geradoras como já ocorre na referência do parágrafo anterior, indicando melhorias e consolidando o que é benéfico na proporção de insumos e resultados. Portanto, a opção por funcionários, maquinários, quantidades coletadas será orientada para a transformação em quantidades processadas ideais às particularidades de certos distritos (entrada, processamento, e saída).

Este estudo visa esmaecer o desempenho comedido do serviço de destinação final para que se tenha uma competição mais justa com as empresas que produzem toneladas de resíduos ininterruptamente.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo tem como finalidade a interpretação analítica da eficiência do serviço de coleta e processamento de resíduos sólidos prestados aos municípios brasileiros por meio da aplicação da ferramenta de Análise Envoltória de Dados (DEA).

#### 3.1 Coleta de Dados

As informações foram obtidas junto ao site do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para o ano de 2008. Essa base de dados segue um modelo auto-declaratório em que os municípios enviam dados atendendo à solicitação do Ministério das Cidades para

participação do trabalho de Diagnósticos do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. A princípio, a base de dados contava com informações para um total de 372 municípios.

Contudo, para utilização de uma amostra coerente, foi necessária a exclusão de algumas cidades por apresentarem omissões e erros. A amostra, então, ficou ajustada em 177 municípios.

Vale ressaltar que, embora, essa redução diminua a possibilidade de inferência estatística, ela não invalida esta pesquisa. Pois, o conjunto de municípios restantes englobam todas as regiões brasileiras com áreas que possuem desde 2.361 até 10.990.249 habitantes beneficiados pelos serviços de saneamento básico.

#### 3.2 Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*)

De acordo com Banker, Charnes e Cooper (1984) a análise envoltória de dados, ou *Data Envelopment Analysis* (DEA), é uma técnica utilizada para avaliar a performance de um conjunto de entidades que são chamadas de *Decision Making Units* (DMUs) ou unidades tomadoras de decisão, que convertem múltiplas entradas (*inputs*) em múltiplas saídas (*outputs*).

Segundo os autores, a definição de DMU é genérica e flexível podendo ser organizações propriamente ditas, ou também unidades internas de uma mesma organização ou até mesmo programas de atividades, desde que utilizem processos tecnológicos semelhantes para transformar os mesmos insumos e recursos em produtos e resultados semelhantes.

A análise envoltória de dados pode ser definida como uma técnica de pesquisa operacional que se baseia em programação linear e tem por objetivo comparar o desempenho operacional de unidades de produção quanto à transformação de seus insumos em produtos, buscando a construção de uma fronteira de produção. Trata-se de uma técnica de análise de eficiência, definindo-a não de forma absoluta, mas sim de forma relativa entre as unidades estudadas (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984).

As variáveis utilizadas na aplicação da DEA (cálculo da eficiência relativa das DMUs) são divididas, por natureza, em *inputs* (entradas/insumos do sistema) e *outputs* (saídas/produtos do sistema). Assim, conforme os autores mencionados anteriormente, na técnica DEA a taxa de eficiência relativa de uma DMU é igual à razão entre a soma ponderada dos *outputs* e a soma ponderada dos *inputs*, onde os pesos de ambos são selecionados de forma a maximizar a medida de eficiência de

cada DMU estudada, atendendo a condição de que o conjunto de pesos obtidos para cada DMU deve ser também possível para todas as outras, de forma que nenhuma DMU possa apresentar escore de eficiência maior que 1 (ou 100%).

A eficiência relativa da DMU é, por definição, a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*). A idéia inicial era a de incluir, na modelagem DEA, o máximo de variáveis (tanto de *inputs*, quanto de *outputs*) que explicassem a eficiência operacional. Esperava-se avaliar os efeitos dessas variáveis na eficiência operacional de cada Unidade.

Essa ideia foi descartada, pois, percebeu-se que a técnica de avaliação relativa de eficiência tem uma limitação: a sua baixa capacidade de ordenar as DMUs, pois quanto maior o número de variáveis em relação ao número de DMUs, menor será a capacidade de ordenação pelas eficiências, já que há a tendência de muitas DMUs ficarem na fronteira (máxima eficiência), conforme verificado na literatura em Lins e Angulo Meza (2000), Soares de Mello *et al.* (2003) e Senra *et al.* (2007).

A solução para essa limitação foi restringir o número de variáveis usadas no modelo, também preconizado na literatura. Ainda assim, a maioria dos trabalhos



publicados que fazem uso da DEA justifica a seleção de variáveis segundo a opinião de especialistas ou até mesmo da disponibilidade de dados (THANASSOULIS, 1996).

Aplicou-se uma metodologia para avaliação e seleção das variáveis oferecidas como *input* e *output*, mais conhecida como “*stepwise* exaustivo”, recomendada por Senra et al. (2007), pois segundo a literatura especializada uma grande quantidade de variáveis oferecidas como *input* e/ou *output* para a modelagem poderiam influenciar na sensibilidade do modelo, prejudicando os resultados desta pesquisa, conforme Lins e Angulo-Meza (2000), Adler et al. (2002). Após a aplicação da técnica *stepwise* de seleção de variáveis, selecionaram-se as seguintes variáveis:

- Recursos (*inputs*): (i) total de funcionários contratados; e (ii) total de equipamentos disponibilizados. Os

insumos (*inputs*) representam tudo o que será transformado na execução do processo, quais sejam, a força de trabalho humana e a forma mecânica;

- Serviços (*outputs*): (i) total de resíduos sólidos coletados; e (ii) total de resíduos sólidos processados.

Seguindo as recomendações da literatura, a modelagem DEA foi aplicada para cada par *input-output* possível obtendo-se os resultados a serem apresentados na próxima seção.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira tabela apresenta a porcentagem dos municípios considerados eficientes em cada região, note-se que neste artigo, é classificado como eficiente o município que obteve, no mínimo, 95% de eficiência. A análise das informações da tabela permite perceber quais regiões se destacam pela eficiência no serviço de coleta e processamento de resíduos:

**Tabela 1 – Porcentagem de Municípios Eficientes Por Regiões.**

Classificação	Municípios e regiões (%)	
Eficientes (27,65%)	Sudeste	14,71
	Sul	11,18
	Centro-oeste	1,18
	Nordeste	0,58
	Norte	0,00
Ineficientes (72,35%)	Sudeste	24,71
	Sul	20,59
	Centro-oeste	11,18
	Nordeste	8,23
	Norte	7,64

FONTE: Elaboração Própria

A maior eficiência está centralizada na região Sudeste, pois, além de 14,71% dos municípios da amostra serem eficientes nessa região, os resultados indicam que só o estado de São Paulo superou quase que o dobro o número de municípios dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, posicionados em segundo lugar no ranking de eficiência (região Sul). A chamada região “Centro Sul”, que engloba as regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste, é a que aponta como o lugar para as práticas mais bem efetuadas no tratamento de resíduos sólidos. Já as regiões Norte e Nordeste, ao contrário, podem ser consideradas ineficientes visto que há apenas um município (João Pessoa – PB) eficiente entre os demais trabalhados.

É inevitável a especulação a respeito do número de municípios da região “Centro-Sul” dentro do total de municípios na amostra. A região Sudeste, por exemplo, representa um número praticamente três vezes maior de municípios do que aquele verificado da região Norte (tabela 4). Os resultados alcançados não seriam, desta forma, viesados?

A probabilidade de municípios eficientes na região Sudeste não seria naturalmente maior por essa vantagem estatística? Realmente o número de municípios é um fator primordial. Contudo, qualitativamente, após uma série

de mudanças no banco de dados original para banir erros grosseiros e falta de informações, a amostra ajustada é prudente para análises neste artigo, ainda mais por não excluir do conjunto as principais capitais de cada região brasileira. Ou seja, cada região, por qualquer tamanho amostral que possua, não teve sua representatividade em operações de coleta (e processamento de resíduos) alterada. Se cidades de menor porte em determinados estados do Sudeste superaram a eficiência de grandes capitais das regiões Norte e Nordeste, isso ocorreu por maior capacitação delas ao gerenciarem a alocação dos recursos, levando-as a se classificarem como mais eficientes que as demais.

Considerando que o modelo atual do tratamento de rejeitos está concentrado nas mãos do poder público, o governo, seguido pelas prefeituras, aplica recursos previstos no orçamento aprovado para empreendimento do saneamento básico nos municípios. O que percebemos tradicionalmente na execução orçamentária é que muitas vezes ela não é funcional, o dinheiro acaba por ser vinculado arbitrariamente, o que muitas vezes se traduz em sobras nos projetos de menor importância e falta em outros de maior prioridade. As prioridades aqui serão as variáveis e municípios que gerem eficiência, e também os incentivos que

existam para a prática de readaptação e planejamento operacional.

Essa postura aliada às informações de eficiência geradas pela aplicação do DEA em todos os *inputs* e *outputs* de cada município, independente de divisão por executores ou tipo de processamento, abre oportunidade para sugerirmos algumas medidas que podem servir de modelo para tomada de decisões. Seguem elas:

- As regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste não devem reduzir a estrutura do serviço de coleta e processamento existente. O aumento, do descarte de produtos, embalagens, deverá ser encarado de um período a outro com a ampliação do número de empregados e equipamentos em proporção consonante com a verificada para esses insumos na classificação de eficiência. Cada município deverá se programar para que o orçamento de recursos preveja a necessidade de contratações e aquisições diretas bem como expansão de custos com atividades empresariais de tratamento de resíduos.

- As regiões Norte e Nordeste devem rever a quantidade de insumos de modo que se verifique eficiência.

A composição equilibrada, de *inputs* e *outputs*, pode ser facilitada com inclusão do potencial de trabalho de associações e cooperativa de catadores e a prática de reciclagem. Para isso, os gestores municipais devem incentivar a

regularização dessa atividade, oferecendo estrutura e remuneração. Além desse investimento, o compartilhamento de informações a respeito de recursos utilizados por municípios de maior eficiência pode estabelecer uma orientação primária para o propósito de gerenciamento de *inputs* e *outputs*.

Adiante, as sugestões estarão voltadas para a decisão entre quantidade de variáveis, de acordo com o tipo de gestão e processamento aos quais estejam submetidas predominantemente em cada região.

As tabelas apresentadas a seguir demonstram de que forma a eficiência se relaciona com as estatísticas da amostra.

#### 4. 1 Estatísticas Descritivas

Realizou-se um mapeamento estatístico do serviço de coleta e processamento de resíduos sólidos. A obtenção de inferências e de apontamentos lógicos quanto à sobreposição do tipo de gestão em *inputs* e a qualidade do processamento em *outputs* para o contexto nacional e regional propiciarão o foco da análise deste artigo.

Na base de dados, a divisão em tipos de gestão permite o cálculo da proporção de empregados, equipamentos e coleta de acordo com a sua classificação em público, privado, e de associação / Cooperativas de catadores. Para a amostra de 177

municípios, o quadro abaixo demonstra qual a participação do tipo de gerenciamento em cada um dos fatores no serviço de coleta.

**Tabela 2** – Participação do Tipo de Gestão do Serviço – Coleta de Resíduos Sólidos

<b>Participação do Tipo de Gestão do Serviço - Coleta de Resíduos Sólidos</b>						
Tipo de Gestão	Empregados		Equipamentos		Resíduos Coletados	
	Tonelada	%	Tonelada	%	Tonelada	%
Gestão Pública	49.494	46,96%	321	28,66%	3.589.509,34	10,94%
Gestão Privada	55.124	52,30%	799	71,34%	26.882.969,27	81,97%
Gestão Coop/Assoc	783	0,74%	0	0,00%	2.325.254,32	7,09%
Total	105.401	100,00%	1.120	100,00%	32.797.732,93	100,00%

**FONTE:** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2008.

O predomínio do trabalho de empresas contratadas para o serviço é frequente para as três variáveis, o que pode ser indício da preferência dos órgãos municipais em delegar essa tarefa à estrutura privada que, naturalmente, pode apresentar um volume de *inputs* maior devido à especialização do negócio, aporte de capital diferenciado, flexibilidade de custos, existência do contrato de trabalho não estável, etc.

A Gestão pública é regular, praticamente se iguala às Associações no quesito coleta o que deveria ser diferente visto que conta, na extensão do território brasileiro, com uma população de trabalhadores significativa, sem contar o capital representado por uma boa estrutura de maquinários frente à ínfima relação de ferramentas utilizadas pelos catadores, nenhum equipamento, nessa amostra.

O *output* analisado neste trabalho se refere aos resíduos coletados e processados, mensurados pelo seu peso em toneladas. Entende-se como processado a quantidade de lixo que, depois de separada, compactada, terá como destino lixões, aterros, entre outros (agrupamento de unidades diversas como Cooperativas, incineradores, usinas de compostagem), sendo dispostos a céu aberto, enterrados, e sofrendo alterações para reutilização no processo produtivo, respectivamente.

Assim como as demais variáveis, é possível verificar a predominância para os tipos de processamento. Ela justifica o que já sabemos há muito tempo: escassez de áreas para disposição dos lixos. Aterros e lixões são, realmente, as opções para destinação dos rejeitos mais utilizadas. Seja pela facilidade ou baixo custo operacional, a soberania deles engloba mais da metade das unidades de

gerenciamento dispostas em nossos municípios. Confira a seguir:

**Tabela 3** – Tipo de Processamento dos Resíduos Sólidos

<b>Tipo de Processamento de Resíduos</b>		
	<b>Tonelada</b>	<b>%</b>
Lixão	1.449.868,00	3,74%
Aterro	20.284.643,00	52,36%
Outros	17.004.746,00	43,90%
Total	38.739.257,00	100,00%

**FONTE:** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2008.

Após essas constatações do tipo de gestão e processamento, é válido que se estabeleça uma comparação entre as regiões brasileiras a fim de verificar comportamentos mais específicos para que as recomendações ao planejamento dos gestores sejam direcionadas às realidades particularizadas dos municípios dessas regiões.

Para tanto, os municípios foram agrupados inicialmente por região do país e depois, em um segundo estágio pelas características das operadoras: (i) por tipo de gestão; (ii) e de processamento. Isto, pois, é prerrogativa da Análise por Envoltória de Dados (DEA) a comparabilidade das Unidades de Análise, as DMUs. Por exemplo, o padrão de

segmentação predominante da variável de gestão ou processamento do recorte “região” serviu como “rótulo” atribuído para aquela região.

Assim, se na região sul do país, o tipo de gestão predominante era privado, esta região foi rotulada como sendo de gestão privada. Vale ressaltar que o peso de resíduos coletados será menor que o de processados quando o município recebe efluentes de outras cidades só para tratamento. Já o contrário ocorre quando o município dispensar parte do lixo coletado para tratamento em localidades próximas.

**Tabela 4** – Predominância do Tipo de Gestão e Processamento nas Regiões Brasileiras

<b>Predominância do Tipo de Gestão e Processamento nas Regiões Brasileiras</b>					
<b>Região</b>	<b>Variáveis</b>				<b>Nº de Municípios</b>
	<b>Empregados (u)</b>	<b>Equipamentos (u)</b>	<b>Coleta (t)</b>	<b>Processamento (t)</b>	
<b>Norte</b> Real expectativa de quantidade da variável predominante encontra-se entre:	<b>Privada</b> 23 a 527	<b>Pública</b> 1 a 4	<b>Pública</b> 4.506,94 a 19.450,02	<b>Lixão</b> 3.656,58 a 22.195,42	19
<b>Nordeste</b> Real expectativa de quantidade da variável predominante encontra-se entre:	<b>Pública</b> 76 a 251	<b>Pública</b> 1 a 2	<b>Privada</b> 25.203,93 a 158.501,1	<b>Aterro Sanitário</b> 40.186,24 a 236.061,09	43
<b>Centro-Oeste</b> Real expectativa de quantidade da variável predominante encontra-se entre:	<b>Pública</b> 0 a 793	<b>Pública</b> 1 a 3	<b>Pública</b> 0 a 84.615,95	<b>Aterro Sanitário</b> 0 a 474.330,7	18
<b>Sul</b> Real expectativa de quantidade da variável predominante encontra-se entre:	<b>Privada</b> 46 a 370	<b>Privada</b> 2 a 5	<b>Privada</b> 0 a 493.100,1	<b>Aterro Sanitário</b> 10.826,79 a 104.547,6	35
<b>Sudeste</b> Real expectativa de quantidade da variável predominante encontra-se entre:	<b>Pública</b> 0 a 1.041	<b>Privada</b> 4 a 9	<b>Privada</b> 11.814,9 a 329.315,9	<b>Lixão</b> 32.641,21 a 118.165,8	62

**FONTE:** Elaboração Própria

O nível de confiança para todas as amostras foi de 95%. Os limites inferiores com “0” em algumas variáveis foram arredondados dessa maneira para eliminar a situação de se considerar valores negativos em medidas como unidade (arredondadas também a números inteiros) e toneladas.

Devido à redução do número de municípios em cada amostra regional, principalmente a região Centro-Oeste, o nível de confiança se amplia demasiadamente, superando, nesses casos,

a média. Mesmo assim, não atrapalha o objetivo da comparabilidade entre regiões e tipos de variáveis.

De tudo o que pode ser observado há ênfase para inexistência do predomínio da gestão de Cooperativas em qualquer região assim como nenhum outro tipo de processamento se sobrepõe ao lixão e aterro sanitário. Ou seja, a situação do serviço é generalizada, sem desvios abruptos de distinção.

Na análise envoltória de dados foi possível definir em quais regiões a

proporção de *inputs* está gerando mais eficiência na geração de *outputs*. Enquanto que na estatística descritiva se tem a noção de que alterações podem ser feitas para adequação de quantidades a um limite ideal. Para definir tal fronteira, é preciso comparar a estatística de cada região com a

de nível nacional, escolhendo os dados relacionados ao predomínio de gestão ou processamento na região. As estatísticas descritivas das variáveis da amostra dos 177 municípios são sintetizadas abaixo:

**Tabela 5** – Resumo da Estatística Descritiva dos Municípios Brasileiros com Divisão por Gestão – Serviço de Coleta

Estatística	Empregados		Equipamentos		Resíduos Coletados	
	Pública	Privada	Pública	Privada	Pública	Privada
Média	279,62	311,43	1,81	4,51	20.279,71	151.881,18
Nível de Confiança	203,07	158,63	0,46	1,15	13.526,17	79.447,92
Limite Inferior	77	153	1	3	6.753,54	72.433,26
Limite Superior	483	470	2	6	33.805,89	231.329,11

FONTE: Elaboração Própria

**Tabela 6** – Resumo da Estatística Descritiva dos Municípios Brasileiros com Divisão por Tipo de Processamento

Estatística	Resíduos Processados	
	Aterros	Lixão
Média	114.602,50	8.191,34
Nível de Confiança	42.434,61	7.549,93
Limite Inferior	72.167,89	641,41
Limite Superior	157.037,12	15.741,28

FONTE: Elaboração Própria

Todas as informações estatísticas viabilizam dizer algo. Os equipamentos, por exemplo, de algumas empresas privadas (limite superior regional 9) na região Sudeste podem ser reduzidos, dado o limite nacional (limite superior 6) ser inferior. Ou opinar que o processamento de resíduos em aterros na região Nordeste está além do limite nacional, no entanto, Sul e Sudeste estão aquém. Quanto aos

empregados, privados, a região Norte pode admitir que algumas empresas contratadas para o tratamento de resíduos reduzam o número de trabalhadores a uma quantidade próxima do limite nacional (de 527 a 470). Já, para essa mesma região, um aumento da quantidade coletada poderia ser incentivada pelo poder público municipal, dado o limite superior de toneladas

nacional ser maior para executores públicos.

#### 4.2 Cruzamento da DEA com Estatísticas Descritivas

Cruzando-se as estatísticas dos municípios com a quantificação de eficiência dos mesmos, por regiões do Brasil, é possível apontar algumas sugestões para o planejamento dos municípios visando o bom desempenho no serviço de coleta e processamento de resíduos sólidos. Para as regiões, estabelece-se que:

- Norte e Nordeste: A maioria dos municípios foi considerada ineficiente. Isso pode ter ocorrido devido, principalmente, ao fato de que ambas as regiões apresentaram processamento superior de toneladas de resíduos em relação ao limite máximo da quantidade processada em lixões e aterros do território nacional. Isto, à custa de uma quantidade coletada dentro das expectativas para as duas regiões e pares de *inputs* abaixo e acima dos limites projetados para o país nas regiões Nordeste e Norte, respectivamente. Assim, é necessário que os lixões e aterros sejam “desafogados” porque estão condicionando nessas áreas uma quantidade de rejeitos muito acima do que é esperado nos demais municípios brasileiros. O conselho, portanto, é para que os municípios utilizem outras formas de processamento do lixo

melhorando, portanto, sua eficiência. As usinas de reciclagem seriam uma ótima alternativa, com oportunidades de trabalho a uma parte da população economicamente ativa que muitas vezes sai desses locais a procura de oportunidades em metrópoles no Sudeste do país.

- Centro-Sul: As regiões que apresentaram mais municípios eficientes. Observando as estatísticas (principalmente das regiões Sul e Sudeste que tiveram desvios mais adequados pelo próprio tamanho amostral) é perceptível que, dada uma determinada condição de *inputs*, a quantidade coletada prevalece nas três regiões, superando o limite superior nacional de toneladas coletadas. Já a quantidade processada em aterros é menor do que o limite nacional para as regiões Sul e Sudeste. Ou seja, com uma inversão de resultados em relação às regiões Norte e Nordeste (menores quantidades coletadas e processamento concentrado em um tipo de *output*), a eficiência é ratificada, realmente, pela opção dos municípios em utilizar unidades de processamento diversas, após conferir uma quantidade coletada acima do ideal. O conselho é para que ocorram alterações incrementais no número de equipamentos e empregados dessas regiões. E que esforços sejam feitos para que a predominância do tipo de processamento se altere algum dia.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi utilizar a análise envoltória de dados (DEA) para a revisão do modelo de coleta e processamento de resíduos sólidos hoje, constatando eficiência operacional, nas múltiplas condições de região e gestão, para o gerenciamento de recursos consumidos e resultados obtidos em atividades dessa estirpe.

A limitação do estudo foi a utilização de uma base de dados, ao invés de uma técnica de amostragem que permitiria estatísticas conclusivas. Além disso, a amostra ajustada dessa base relaciona informações do ano de 2008, únicas disponíveis, o que, com certeza, leva ao enfraquecimento dos resultados demonstrados nestes parágrafos. Isso significa que outras aplicações de variáveis em outros períodos poderiam obter resultados diferentes dos apresentados.

Foi apurado um mapa de eficiência que aponta a região Centro-Sul como o local com maior quantidade de municípios que otimizam a utilização de *inputs*, equipamentos e empregados, na geração de *outputs* (coleta e processamento). Somando-se a essa designação, os atributos “gestão privada” e “aterro sanitário” assumiram o predomínio das estatísticas. Tanto os números obtidos quanto as sugestões para atitudes políticas de

planejamento (aumento da quantidade coletada e diversificação de unidades de processamento, por exemplo) foram postos como medidas auxiliares, devido às restrições da metodologia aplicada.

Por fim, todas as seções do trabalho conduziram o leitor, de alguma maneira, ao reconhecimento da importância desse tema de pesquisa para que mudanças benéficas, ao menos conscientes, sejam encaradas por políticos no momento em que se planejem e discutam projetos de implantação e manutenção do serviço de destinação de resíduos. Mas o que realmente deve ser contemplado neste trabalho é o desenvolvimento de um instrumento que capacite a população a ter um olhar mais preciso e qualitativo para os problemas ambientais e a capacite ao questionamento de premissas e de convenções ultrapassadas assumidas por atitudes arbitrárias de seus dirigentes.

## 6. REFERÊNCIAS

- BANKER, R.D., CHARNES A., COOPER W.W; Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, **Management Science**, v.30, n.9, pp. 1078-1092,1984.
- LINS, M. P. E; ANGULO MEZA, L.; **Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2000.

- LOBATO, K.C.D.; LIMA, J.P.; Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, pp. 347-356, 2010.
- MÉSZÁROS, I. **Para além do capital**. São Paulo: Bontempo, 2002.
- OHIRA, T. H.; SHIROTA, R.; Eficiência Econômica: uma aplicação do modelo de fronteira estocástica em empresas de saneamento. **Anais do XXXIII Encontro Nacional de Economia - ANPEC**, 2005.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – CASA CIVIL. **Lei 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 18 de nov. 2010.
- ROHRICH, S.S.; CUNHA, J.C.. A proposição de uma taxonomia para análise da gestão ambiental no Brasil. **Ver. Adm. Contemp.**, v. 8, n. 4, pp. 91-97, 2004.
- SALGADO JUNIOR, A.P.; BONACIM, C.A.G.; PACAGNELLA JUNIOR, A.C.; Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v.11, n.3, p. 494-513, 2009.
- SCHMIDHEINY, S.; **Mudando o rumo**. Rio de Janeiro: FGV, 1992.
- SENRA, L. A. C; NANJI, L. C.; MELLO, J.C. ANGULO MEZA, L.; Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional** [On Line], v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.
- SLOMSKI et al.; **Gestão de custos**: uma proposta de internalização de custos da destinação final relacionadas ao descarte do produto e/ou de sua embalagem aos custos de produção. 10º Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, 2010.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G.; SERAPIÃO, B.P.; ESTELLITA LINS, M.P. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003.
- SOUZA, C.M.N.; FREITAS, C.M.; O saneamento na ótica da prevenção de doenças e da promoção da saúde. In: XXX CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, Punta del Leste. **Anais Eletrônicos do XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 2006.
- SOUZA, C.M.N.; FREITAS, C.M.; O saneamento na ótica de profissionais de saneamento-saúde-ambiente: promoção da saúde ou prevenção de doenças?. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, pp.46-53, 2008.
- SOUZA, C.M.N.; FREITAS, C.M.; Discursos de usuários sobre uma intervenção em saneamento: uma análise na ótica da promoção da Saúde e da prevenção de doenças. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, pp.59-68, 2009.
- THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of different ability using Data Envelopment Analysis. **Journal**

- of the Operational Research Society**, v. 47, n. 1, p. 84-97, 1996.
- TONETTO FILHO, V.; BONACIM, C. A. G. Discussão sobre a gestão de custos com os resíduos sólidos no setor público a partir da proposta de internalização de custos privados. **Anais** do II CSEAR Conference - South America, 2011.
- VELLANI, C. L.; RIBEIRO, M. S. Sistema contábil para a gestão da ecoeficiência empresarial. **Revista Contabilidade & Finanças** (Online), v. 20, p. 25-43, 2009.
- ZANETI, I.C.B.B.; SÁ, L.M.B.M.; ALMEIDA, V.G.; Insustentabilidade e produção de resíduos: a face oculta do sistema do capital. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 173-192, 2009.