



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

EFICIÊNCIA NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: uma abordagem utilizando análise envoltória de dados (DEA) em municípios de Pernambuco

ISLLA THAIRINE DA SILVA SOARES
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO (UPE)

JOSÉ LUIZ ALVES
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO (UPE)

ITALO CAVALCANTE DA SILVA SOARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

SANDRO VALENÇA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

EFICIÊNCIA NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: uma abordagem utilizando análise envoltória de dados (DEA) em municípios de Pernambuco

1 INTRODUÇÃO

O padrão de consumo da sociedade mudou ao longo do tempo, tornando-se cada vez mais intenso. Com o incentivo ao consumo pelo mercado, foi inevitável a grande produção de Resíduos Sólidos (RS). Somado ao fator consumo, o crescimento acelerado e desordenado das cidades brasileiras favoreceu ao aumento na quantidade de produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (BRASIL, 2019a).

Essa temática atraiu a atenção de órgãos públicos e privados, das universidades e da sociedade nas últimas décadas, na tentativa de encontrar meios (econômicos, sociais e ambientais) viáveis de continuar mantendo os atuais padrões de produção e consumo, com menor degradação do ambiente urbano (PEREIRA; CURI; CURI, 2018).

O estudo da gestão dos resíduos sólidos urbanos é cada vez mais relevante pela constatação no aumento da produção dos resíduos, advindos do crescimento populacional e dos padrões atuais de consumo, e pela sua importância quanto à promoção de políticas públicas inovadoras, com a cooperação intermunicipal e as formas emergentes de governança regional (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018). O principal objetivo do gerenciamento dos RSU é proteger a saúde da população, promover a qualidade ambiental, para desenvolver a sustentabilidade e fornecer suporte para a produtividade econômica (KARAK *et al.*, 2012).

Por ser uma temática relevante ao desenvolvimento sustentável da sociedade, mecanismos de regulamentação e controle foram elaborados e implementados, a fim de melhorar o gerenciamento dos Resíduos Sólidos no País. Entre as principais Leis, destacam-se a Lei nº 11.445/2007 (Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico); a Lei nº 12.35/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos); e a Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco Legal de Saneamento Básico).

Com prescrições e exigências bem definidas, o Governo Federal, os Estados, os Municípios precisam seguir as recomendações para que gerenciem seus Resíduos de maneira ambientalmente sustentável. Apesar dos esforços, há muito desafio em gerir de maneira eficiente os Resíduos Sólidos Urbanos (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015; BRASIL, 2019).

Mas, até mesmo para identificar as dificuldades enfrentadas na gestão dos RSU pelas autoridades, é necessário medir a eficiência: só se gerencia aquilo que se mede (DEMING, 1990). Neste contexto, o presente artigo se propôs a mensurar a eficiência relativa na gestão de resíduos sólidos urbanos de municípios de Pernambuco. A partir desta análise, será possível estabelecer parâmetros de benchmarking entre os municípios.

Gerir os Resíduos Sólidos Urbanos de maneira adequada vai além do cumprimento de uma legislação específica, é questão de proporcionar bem-estar social à coletividade (SILVA FILHO, 2012). E poder comparar e relacionar municípios que coadunem em diversos aspectos é de grande valia para as autoridades, pois toma-se como referência uma entidade conhecida e próxima da conjuntura existente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resíduos sólidos

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), resíduo sólido pode ser definido como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder

ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Ainda consoante com a PNRS (2010), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são aqueles provenientes das atividades domésticas, juntamente com os resíduos de limpeza urbana, gerados na varrição, limpeza de logradouros e vias públicas. Eles podem ser classificados como matéria orgânica, papel e papelão, plástico, vidro, metais e outros.

O gerenciamento dos resíduos sólidos envolve coleta, transporte, tratamento e destinação final adequada pela ótica ambiental. O caráter integrado da gestão dos RS deve ser alcançado a partir da associação entre aspectos sociais, ambientais e econômicos que envolvem o setor de saneamento básico como um todo, juntamente com o desenvolvimento de políticas públicas intersetoriais (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018). E, um dos motivos para que o tema seja considerado tão complexo é o fato de todas as instituições que se interligam, de alguma maneira, com resíduos sólidos e meio ambiente devem ser levadas em consideração nas análises realizadas sobre tal matéria (MARCHI, 2015; CASTILLO-GIMÉNEZ; MONTAÑÉS; PICAZO-TADEO, 2019).

A gestão integrada dos RS é de responsabilidade do Distrito Federal e dos Municípios nos seus respectivos territórios (BRASIL, 2010). Porém, há uma grande problemática quanto ao gerenciamento desses resíduos sólidos, em muitos municípios, pois a temática só virou pauta de políticas públicas quando esta já era considerada um problema sanitário (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015). É possível analisar, principalmente, em grandes centros urbanos, que, além da questão da correta destinação dos materiais, que é deficitária em diversos municípios do País, o tratamento desses resíduos ainda é negligenciado (REICHERT; MENDES, 2014). Segundo dados do SNIS – RS (BRASIL, 2019), apenas 38,1% dos municípios do Brasil declararam a existência de coleta seletiva sob quaisquer modalidades no ano de 2018.

Dentre alguns entraves à adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos estão questões que abrangem recursos materiais, pessoais e financeiros dentro da esfera municipal. A pequena capacidade gerencial e o baixo volume orçamentário dos municípios dificultam o tratamento dos resíduos de maneira sustentavelmente adequado (HEBER; SILVA, 2014). Inclusive, para Marchi (2015) o “gerenciamento municipal é o maior problema para a melhoria da área de resíduos sólidos urbanos no Brasil”, justamente por tais fragilidades supracitadas.

A maneira mais sustentável de se tratar tal problemática seria através de sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (REICHERT; MENDES, 2014), como adotado em alguns países, por exemplo, Áustria e Alemanha (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020; CASTILLO-GIMÉNEZ; MONTAÑÉS; PICAZO-TADEO, 2019). O processo deve “englobar etapas articuladas entre si, desde a não geração até a disposição final” (ZANTA; FERREIRA, p.1, 2003), No Brasil, ainda se aplicam soluções isoladas e estanques (MORAES, 2003). Santiago e Dias (2012) ratificam que a complexidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos obriga que tal manejo seja realizado de maneira consistente. Por ser complexa, a gestão dos resíduos sólidos deve abarcar questões que envolvam os produtos em si (como o combate ao desperdício, o ciclo de vida do produto, etc) e deve ser intersetorializada, envolvendo as diversas secretarias municipais que tenham relação direta ou indireta com o tema.

“Gerir os Resíduos Sólidos Urbanos de uma maneira integral significa limpar o município e processar os resíduos sólidos, utilizando as tecnologias mais compatíveis à realidade local, dando-se destinação final ambientalmente segura” (MARCHI, 2015). Segundo a PNRS (2010), a gestão dos RSU deve ser concebida como um sistema integrado, visto que

abrange fatores sociais, econômicos, ambientais, sanitários, culturais, políticos, tecnológicos, legais, entre outros.

Além da importância pela conjuntura ambiental atual, os resíduos sólidos são importantes indicadores socioeconômicos, tanto em relação à quantidade de rejeitos produzidos por uma população, quanto pelo tipo de resíduo que se está produzindo (NASCIMENTO *et al.*, 2015). Mais uma vez, entender o processo de produção, tratamento e destinação dos resíduos é uma questão estratégica para a sociedade.

Nesse processo de gestão dos resíduos sólidos urbanos, há a necessidade de se existir uma corresponsabilização entre a população e as autoridades públicas, devido ao papel que cada uma assume nesse sistema. A sociedade, por ser produtora dos resíduos sólidos urbanos, e os municípios, que são os principais responsáveis pelo seu gerenciamento (BRASIL, 2010) precisam se integrar para discutir questões referentes aos RSU (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

2.2 Arcabouços legais sobre resíduos sólidos

Com todas as transformações na sociedade e dada a relevância do tema, foram instituídas no Brasil algumas leis que tratam especificamente sobre resíduos sólidos e questões que perpassam o assunto.

A Lei 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Política Federal de Saneamento Básico. Esta Lei determina que o titular do serviço público de saneamento básico deve elaborar um plano de saneamento básico. O objetivo da instituição dessa política é a busca pela elevação da qualidade de vida da população, com a universalização do atendimento em abastecimento de água, esgotamento sanitário e a prestação desses serviços com qualidade e preços adequados.

A Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi o grande marco regulatório para a área de estudo. A PNRS objetiva a implementação de uma destinação ambientalmente adequada dos RSU em todo o país. De acordo com a PNRS, é necessário incentivar e priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, para que de fato se considere um resíduo sólido, quando há a disposição final dos rejeitos. A PNRS impõe deveres sobre o gerenciamento dos RS não apenas para o poder público, mas também para os empresários e os cidadãos.

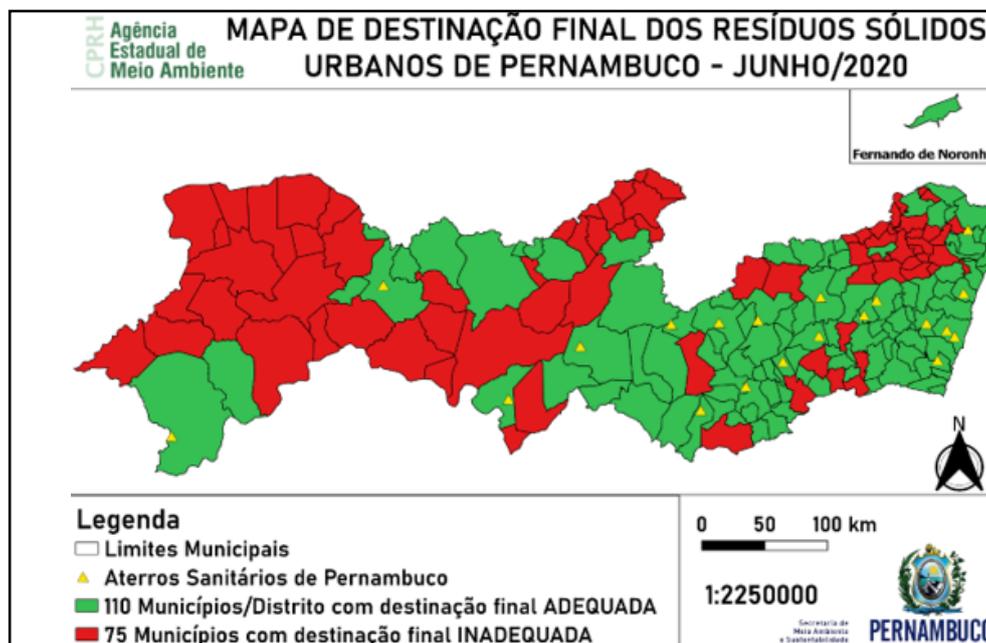
Com a implementação da PNRS, os municípios brasileiros ficaram obrigados a elaborar um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos para obterem recursos federais para gerenciar os resíduos sólidos. Alguns municípios ainda não conseguiram efetivar seus planos municipais, sendo apenas 54,8% deles que possuem o Plano Integrado de Resíduos Sólidos (MUNIC, 2017), revelando um grande desafio para se conseguir efetivar o Plano Nacional. Mas, apesar das adversidades, a meta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020) é que 100% dos municípios do Brasil tenham seus planos de gestão integrada de resíduos elaborados até 2040.

A PNRS ocupou-se, também, em tratar sobre a destinação final dos rejeitos. Segundo a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), os municípios teriam um prazo de quatro anos após sua publicação para descartarem de forma ambientalmente adequada os seus Resíduos Sólidos. Mas, de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020), em 2018 – ano em que já havia se exaurido o prazo estipulado pela PNRS para o descarte impróprio – 40,5% dos municípios brasileiros ainda destinavam seus RSU de forma inadequada em vazadouros a céu aberto ou aterros controlados.

Em Pernambuco, 59,46% dos municípios destinam seus Resíduos Sólidos Urbanos para Aterros Sanitários com a devida licença ambiental, o que corresponde a 109 municípios mais o distrito estadual de Fernando de Noronha, enquanto 75 municípios do Estado ainda dispõem seus RSU em vazadouros a céu aberto, uma forma de destinação final inadequada (CPRH, 2020) (Figura 1). Pernambuco possui 20 aterros sanitários licenciados em funcionamento (CPRH, 2020),

mas de acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERNAMBUCO, 2012), seriam necessários 54 aterros sanitários licenciados para atender a demanda dos cidadãos.

Figura 01: Mapa de Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do Estado de Pernambuco, em junho/2020.



Fonte: CPRH, 2020.

A instituição da PNRS é de grande relevância visto que explicita a necessidade de se haver metodologias aplicáveis às peculiaridades de cada local, a fim de que aquilo que foi instituído como meta em tal legislação seja alcançada. Além disso, ela estimula a pesquisa, as tecnologias sustentáveis e o controle social (mais uma vez o incentivo à participação ativa da sociedade).

JABBOUR *et al.* (2014) confirmam que a PNRS se torna também uma ferramenta indispensável para o alerta sobre a atualidade e importância que deve ser dada ao gerenciamento dos Resíduos Sólidos. A partir de suas diretrizes e seus desdobramentos, a PNRS permite que o tema Resíduos Sólidos necessite de mais estudos acadêmicos e planejamentos estratégicos por parte das autoridades. De acordo com Pereira (2018), nos dias atuais, a PNRS é o “principal instrumento regulador da problemática dos RSU, que se torna, a cada dia, mais grave no que concerne aos seus efeitos”.

Por ser atual, relevante e alarmante, o tema Resíduos Sólidos está em constante debate e reavaliação. Em 2020 foi sancionada a Lei 14.026/2020 (BRASIL, 2020a), conhecida como Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, que dilatou o prazo para que a disposição final de rejeitos fosse realizada de maneira ambientalmente adequada pelos municípios. A nova data limite estabelecida é 31 de dezembro de 2020, mas, especificamente, para Municípios que ainda não elaboraram o Plano intermunicipal de RS ou Plano Municipal de gestão integrada de RS até este dia. Para aqueles que possuem o Plano de RS e dispuserem de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, terão prazos estendidos de acordo com sua quantidade populacional e a regionalização territorial, podendo chegar até 2 de agosto de 2024.

2.3 Análise envoltória de dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês *Data Envelopment Analysis*) é um método não-paramétrico (não parte de uma definição prévia de uma expressão matemática que

modula os dados da pesquisa), utilizado para calcular a eficiência comparada de unidades de produção. Ela utiliza a programação matemática para medir a eficiência relativa de unidades organizatórias (SIMÕES; MARQUES, 2009). Para ROSANO-PENA (2012), é uma técnica para apoio à decisão de natureza multicritério, que possibilita modelar a complexidade de unidades produtivas, já que, nesse caso, se utilizam múltiplos insumos na produção de múltiplos bens/serviços (SOUZA *et al.*, 2017).

A origem do DEA é datada de 1978, com o trabalho acadêmico de E. Rhodes, sob a supervisão de W. W. Cooper. Cada vez mais há estudos sobre a ferramenta DEA, principalmente pela sua alta aplicabilidade para diversos contextos de DMU, pela possibilidade de se encontrar melhores práticas para aquele cenário, na identificação de DMU ineficientes, na estimativa de ganhos potenciais de eficiência (SIMÕES; MARQUES, 2009; VILELA; NAGANO; MERLO, 2007). Além disso, por ser um método objetivo, que não necessita da opinião do decisor para a tomada de decisão, é bem aceito pela sociedade acadêmica (SENRA *et al.*, 2007).

Eficiência tem relação direta com a utilização de recursos de maneira otimizada, a fim de minimizar a relação insumos – produtos. De acordo com ROSANO- PENA (2012) “eficiência é um dos mais importantes indicadores da qualidade de qualquer sistema”.

Cada unidade de trabalho comparada é chamada de DMU (Decision Making Units). E para se calcular a eficiência relativa dessas DMUs são necessárias as variáveis de entrada / insumos do sistema (*inputs*) e as de saída/produtos do sistema (*outputs*), definidas pelo decisor. As DMUs realizam tarefas similares e se diferenciam pelas quantidades dos *inputs* que consomem e dos *outputs* que resultam (CARMO; TÁVORA JUNIOR, 2003).

Senra (2007) explica que “a eficiência relativa de cada DMU é definida como a razão da soma ponderada de seus produtos (*outputs*) pela soma ponderada dos insumos necessários para gerá-los (*inputs*)”, calculada através de programação linear. Ou seja, o método confronta os *inputs* e *outputs* de cada unidade e determina seus índices de eficiência relativa, permitindo assim práticas de *benchmarking* e possibilitando identificar as mudanças necessárias para que as unidades ineficientes se tornem eficientes (ROSANO-PENA, 2012).

Como é uma ferramenta que analisa o desempenho relativo, é possível comparar as unidades tomadoras de decisão entre si. A partir do resultado encontrado, é identificado a DMU eficiente entre as estudadas. Isso permite que haja um *benchmarking*, mas apenas entre as unidades consideradas no estudo, pois foram submetidos aos mesmos tipos de insumos para produzir os mesmos bens/serviços (PENA, 2008). Com esses índices, além de se conseguir encontrar as melhores práticas, é possível identificar as unidades ineficientes e elaborar estratégias que propicie as mudanças necessárias nos níveis de insumos e produtos para que as últimas unidades se tornem eficiente. As Unidades Tomadoras de Decisão são consideradas eficientes quando obtêm um índice igual a 1,0 na fronteira de eficiência.

A aplicabilidade da ferramenta DEA em diversos contextos e situações práticas a torna uma metodologia que cresce em número de publicações em diversas áreas de estudo (EMROUZNEJAD; YANG, 2018; VILELA; NAVAGO; MERLO, 2007). Em relação ao tema Resíduos Sólidos, o uso ainda é limitado, mas crescente em interesse pela comunidade científica que estuda sobre o tema (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020).

Avaliar e medir a eficiência do desempenho, principalmente econômico, do setor de Resíduos tem sido um objeto de estudo crescente no meio acadêmico (SIMÕES; MARQUES, 2012). Neste contexto, a DEA é uma ferramenta conveniente e adequada para ser utilizada como metodologia em pesquisas com o objeto de estudo em questão. Inclusive, dentre os métodos não-paramétricos, a DEA é a metodologia mais representativa para avaliar eficiências de concessionárias de serviços de RS (SIMÕES; MARQUES, 2012).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo utilizou-se a ferramenta matemática Análise Envoltória de Dados (DEA), uma técnica de programação linear usada para medir desempenho operacional relativo entre Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units* - DMU) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), que vem ganhando cada vez mais espaço em publicações que versam sobre o setor de Resíduos Sólidos (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020). A escolha por esta técnica justifica-se porque ela minimiza a interferência de suposições dos agentes na tomada de decisão e por considerar múltiplos recursos e produtos no processo (ALMEIDA, 2018).

Considerar simultaneamente múltiplas entradas e saídas no sistema, que não precisam possuir a mesma unidade de medida, e ser uma técnica não-paramétrica, em que os dados não precisam se adequar a uma fórmula matemática pré-estabelecida, são algumas das grandes vantagens na utilização da DEA como ferramenta para cálculo de eficiência relativa (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020; SOUZA *et al.*, 2017).

Golany & Roll (1989) sugeriram a implementação do DEA em três fases principais:

1ª Fase - Definição e seleção das DMU analisadas;

2ª Fase - Seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*) a serem utilizadas no estudo;

3ª Fase - Aplicação da DEA, de acordo com o modelo e orientação escolhidos.

Os dados quantitativos relativos às DMU e aos *inputs* e *outputs* foram coletados a partir de dados secundários disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS-PE), Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana do Recife e outras fontes de documentos oficiais.

3.1 Seleção das DMU

O *locus* do presente estudo foi o Estado de Pernambuco, com 185 municípios (IBGE, 2020), por ser a principal localidade de interesse acadêmico dos autores. Ao utilizar a DEA, é fundamental considerar unidades para análise (DMUs) que estejam sob condições “de mercado” comparáveis e que possuam um grau de homogeneidade de análise (OLIVEIRA; LIBONI, 2019; ANGULO-MEZA, 1998).

Dessa forma, para definir quais os municípios fariam parte da amostra de DMU, utilizou-se como critério de seleção o Produto Interno Bruto (PIB) municipal que ultrapassou R\$ 2 bilhões no ano de 2017 (IBGE, 2017). Os municípios selecionados foram Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Cabo de Santo Agostinho, Caruaru, Petrolina, Olinda, Paulista, Igarassu e, Abreu e Lima (Recife foi excluída do rol por possuir PIB muito acima da média das demais e, as cidades de Goiana, Vitória de Santo Antão e Garanhuns não fizeram parte da lista por falta de dados disponíveis).

Além de utilizar um fundamento econômico, todos os municípios supracitados destinam seus RSU de maneira ambientalmente adequada em aterros sanitários com licenças de operação (LO) vigentes (CPRH, 2020) e possuem uma taxa de cobertura da coleta de resíduos domésticos em mais de 91% em relação à população urbana, estando entre os 95,4% dos municípios brasileiros que apresentam esta taxa entre os índices de 85% e 100% (BRASIL, 2019) (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização das DMU selecionadas

Município	Produto Interno Bruto (PIB) municipal (R\$1.000) 2017	População estimada 2019	Destino Final dos RSU 2020	Taxa de cobertura da coleta RDO em relação à pop. Urbana (%) 2018	Mesorregião de Pernambuco
Jaboatão dos Guararapes	13,545,569	706,867	Aterro Sanitário CTR Candeias - Ecopesa Ambiental	100	Região Metropolitana do Recife
Ipojuca	10,879,739	97,669	Aterro Sanitário Municipal do Ipojuca	91.24	Região Metropolitana do Recife
Cabo de Santo Agostinho	9,964,401	208,944	Aterro Sanitário CTR Candeias - Ecopesa Ambiental	100	Região Metropolitana do Recife
Caruaru	6,877,208	365,278	Aterro Sanitário de Caruaru - CTR Caruaru	100	Agreste Pernambucano
Petrolina	5,990,719	354,317	Aterro Sanitário CTR Petrolina	100	São Francisco Pernambucano
Olinda	5,438,691	393,115	Aterro Sanitário CTR PE - Ecoparque	100	Região Metropolitana do Recife
Paulista	4,019,150	334,376	Aterro Sanitário CTR PE - Ecoparque	99.96	Região Metropolitana do Recife
Igarassu	2,479,117	118,370	Aterro Sanitário CTR PE - Ecoparque	100	Região Metropolitana do Recife
Abreu e Lima	2,003,665	100,346	Aterro Sanitário CTR PE - Ecoparque	100	Região Metropolitana do Recife

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE (2017); IBGE (2019); CPRH (2020); SNIS-RS, BRASIL (2019)

3.2 Seleção das variáveis

Para medir a eficiência das unidades produtivas (DMU), é necessário relacionar os *inputs* e *outputs* do sistema. Os *inputs* são as entradas/insumos consumidas no processo para produzir determinadas saídas/produtos.

A quantidade adequada de variáveis (*input/output*) necessárias na aplicação dos modelos tradicionais de DEA (CCR e BCC) deve levar em consideração a Regra de Ouro (Golden Rule) estabelecida por Banker *et al* (1989) (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007), que afirma que o número de DMU deve ser pelo menos igual a três vezes a soma total do número de variáveis ou igual ao produto dessas variáveis, de modo que gere maior quantidade de DMU. Nesse estudo, uma das análises utilizou-se de 1 *input* e 1 *output*, e as demais, 1 *input* e 2 *outputs* cada, de forma a acomodar o número de DMU definidos na fase anterior.

A escolha das entradas e saídas baseou-se em publicações científicas anteriores que avaliaram a performance na Gestão de RSU utilizando a DEA como metodologia e pela disponibilidade dos dados nas bases de dados pesquisadas. Neste estudo foram realizadas três associações entre *inputs* e *outputs* distintas, de forma que a Regra de Ouro fosse respeitada e que houvesse análises mais aprofundadas e completas.

Na primeira análise adotou-se apenas 1 *input* e 1 *output* como variáveis, de forma a fazer uma relação direta entre custo de coleta e quantidade coletada, que são as variáveis mais utilizadas nos estudos prévios sobre RSU com a aplicação do DEA (SOARES; ALVES; SOARES; VALENÇA, 2021). Como *input* usou-se “Custo Unitário da Coleta (R\$/ton)” (Tabela 2). A escolha do *output* emprega a quantidade de resíduos coletados como uma saída do sistema.

Os dados para preencher as variáveis foram coletados no Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos – SNIS-RS: 2018 (BRASIL, 2019).

Tabela 2: *inputs e outputs* da análise 1

DEA - Avaliação do gerenciamento de RSU – Análise 1			
	MUNICÍPIO	INPUT 1	OUTPUT 1
		Custo unitário da coleta (R\$/Tonelada)	Quantidade total de resíduos coletados (Tonelada/ano)
DMU 1	Jaboatão dos Guararapes	111.38	172120.2
DMU 2	Ipojuca	111.49	50000.0
DMU 3	Cabo de Santo Agostinho	55.54	120022.8
DMU 4	Caruaru	91.36	127521.3
DMU 5	Petrolina	123.14	87706.4
DMU 6	Olinda	125.46	146181.9
DMU 7	Paulista	205.82	89292.00
DMU 8	Igarassu	91.05	32916.6
DMU 9	Abreu e Lima	135.89	24671.6

Fonte: Elaboração própria com base nos dados SNIS – Brasil (2019)

Para uma segunda análise de eficiência relativa via DEA, a partir de uma nova relação *input-output*, utilizou-se o mesmo *input* 1, o mesmo *output* 1 (utilizados na análise 1), mas considerou-se, também, outro *output*: a “Produtividade média dos empregados na coleta (coletadores + motoristas) na coleta (rdo + rpu) em relação à massa coletada (kg/empreg/dia)”, por já fornecer um indicador de produtividade e relacioná-lo à mão de obra (Tabela 3).

Tabela 3: *inputs e outputs* da análise 2

DEA - Avaliação do gerenciamento de RSU – Análise 2				
	MUNICÍPIO	INPUT 1	OUTPUT 1	OUTPUT 2
		Custo unitário da coleta (R\$/Tonelada)	Quantidade total de resíduos coletados (Tonelada/ano)	Produtividade média dos empregados na coleta (coletadores + motoristas) na coleta (rdo + rpu) em relação à massa coletada (Kg/empregado x dia)
DMU 1	Jaboatão dos Guararapes	111.38	172120.2	1104.2
DMU 2	Ipojuca	111.49	50000.0	3549.88
DMU 3	Cabo de Santo Agostinho	55.54	120022.8	3143.11
DMU 4	Caruaru	91.36	127521.3	2425.1
DMU 5	Petrolina	123.14	87706.4	3018.7
DMU 6	Olinda	125.46	146181.9	2275.05
DMU 7	Paulista	205.82	89292.00	1927.55
DMU 8	Igarassu	91.05	32916.6	1669.28
DMU 9	Abreu e Lima	135.89	24671.6	1519.31

Fonte: Elaboração própria com base nos dados SNIS – Brasil (2019)

Para a análise 3, utilizou-se como *outputs* do sistema a “Produtividade Média dos Empregados na coleta em relação à massa coletada” (usada anteriormente na análise 2) e “População Urbana Atendida” (Tabela 4).

Tabela 4: *inputs* e *outputs* da análise 3

DEA - Avaliação do gerenciamento de RSU – Análise 3				
	MUNICÍPIO	INPUT 1	OUTPUT 1	OUTPUT 2
		Custo unitário da coleta (R\$/Tonelada)	Produtividade média dos empregados na coleta (coletadores + motoristas) na coleta (rdo + rpu) em relação à massa coletada (Kg/empregado x dia)	População Urbana Atendida (Habitantes)
DMU 1	Jaboatão dos Guararapes	111.38	1104.2	682458
DMU 2	Ipojuca	111.49	3549.88	64000
DMU 3	Cabo de Santo Agostinho	55.54	3143.11	185998
DMU 4	Caruaru	91.36	2425.1	316842
DMU 5	Petrolina	123.14	3018.7	256429
DMU 6	Olinda	125.46	2275.05	384111
DMU 7	Paulista	205.82	1927.55	329000
DMU 8	Igarassu	91.05	1669.28	106470
DMU 9	Abreu e Lima	135.89	1519.31	91389

Fonte: Elaboração própria com base em Dados SNIS – Brasil (2019)

3.3 Aplicação da DEA

O modelo DEA escolhido para ser utilizado no presente estudo foi o proposto por Banker, Charnes & Cooper (1984). Conhecido como BCC (inicial de cada sobrenome dos estudiosos), este modelo admite retornos variáveis de escala (Variable Returns to Scale - VRS), o que significa que um aumento proporcional de insumo não provoca necessariamente um aumento proporcional na saída.

A fórmula a seguir apresenta o modelo eficiente do método BCC, onde h_o é a eficiência da DMU_o em análise; x_{ik} representa o *input* i da DMU_k; y_{jk} representa o *output* j da DMU_k; v_i é o peso atribuído ao *input* i ; u_j é o peso atribuído ao *output* j ; u^* é um fator de escala.

$$\max h_o = \sum_{j=1}^m u_j y_{j_o} + u^*$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{i_o} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{j_k} - \sum_{i=1}^n v_i x_{i_k} \leq 0, \quad k = 1, \dots, s$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y$$

$$u^* \in \mathfrak{R}$$

A abordagem da maioria das análises deste estudo foi orientada ao *output* (análises 2 e 3). Neste caso, mantém-se os *inputs* constantes e busca-se melhorar o desempenho da entrega. Para uma assertividade maior na análise do objetivo proposto, a orientação ao produto sugere uma busca no aumento de entregas à sociedade com as mesmas condições de fatores produtivos.

Na análise 1, a orientação do sistema foi ao *input*. Neste caso, a entrega de resultados continua fixa, e busca-se reduzir os recursos. O orçamento é uma das grandes preocupações quando se analisa a gestão dos RSU (SIMÕES; MARQUES, 2012). Além disso, essa decisão deveu-se ao fato de todas as DMU possuírem uma cobertura de coleta em mais de 90%, ou seja, conseguindo coletar a quantidade necessária. O que se analisou foi se esse resultado foi alcançado com o consumo ideal de insumos.

Para a etapa de utilização da ferramenta de Análise por Envoltória de Dados, utilizou-se o *Software* de Análises de Envoltória de Dados – DEA-SAED V 1.0 (SURCO; WILHELM, 2004), programa de licença livre desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. O DEA-SAED é programado essencialmente de forma matemática (quantitativa) e os resultados apresentados foram interpretados de modo a apontar as potencialidades e fragilidades dos municípios.

Com os resultados fornecidos pelo *software*, partiu-se para uma análise descritiva dos dados. As eficiências das DMU foram confrontadas e buscou-se associações de *benchmarking* entre elas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente estudo foram realizadas três análises de eficiência da gestão dos RSU dos municípios da amostra. Em cada uma das análises, os *inputs* e *outputs* foram alterados para que se pudesse obter diagnósticos sob diferentes perspectivas, com a expectativa de um panorama geral com maior robustez.

A eficiência gerada na aplicação do DEA revela apenas uma eficiência relativa entre as DMUs estudadas. Apesar de alguns municípios atestarem em algumas análises como eficientes, é fundamental que continue havendo esforços por parte de cada decisor para melhorar o desempenho do gerenciamento dos RSU.

4.1 Análise 1

A primeira análise de eficiência realizada neste estudo utilizou o modelo BCC da Análise Envoltória de Dados, com a abordagem orientada ao *input*, e com apenas 2 variáveis: 1 entrada e 1 saída. Como entrada foi considerado o “Custo Unitário da Coleta” e, como saída foi a “Quantidade total de resíduos coletados” (Tabela 2).

Essa análise foi orientada ao *input* para se ter um comparativo entre as DMU em relação aos gastos que possuem com a coleta. Como o custo é um indicador preocupante na gestão dos Resíduos Sólidos (SIMÕES; MARQUES, 2012), é importante ter o panorama de gastos em relação à quantidade coletada. Essa relação, neste caso, também é relevante porque os municípios em questão possuem uma cobertura de coleta de mais 90% de seus territórios urbanos (CPRH, 2020), ou seja, a quantidade coletada é aquela que o município demanda.

O Ordenamento das DMU em relação as suas eficiências relativas mostraram-se conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Ranking de eficiências relativas – análise 1

ORDEM	DMU	MUNICÍPIO	SCORE
1	DMU3	Cabo de Santo Agostinho	1.00000
1	DMU1	Jaboatão dos Guararapes	1.00000
2	DMU4	Caruaru	0.69590
3	DMU6	Olinda	0.66618
4	DMU8	Igarassu	0.60999
5	DMU2	Ipojuca	0.49816

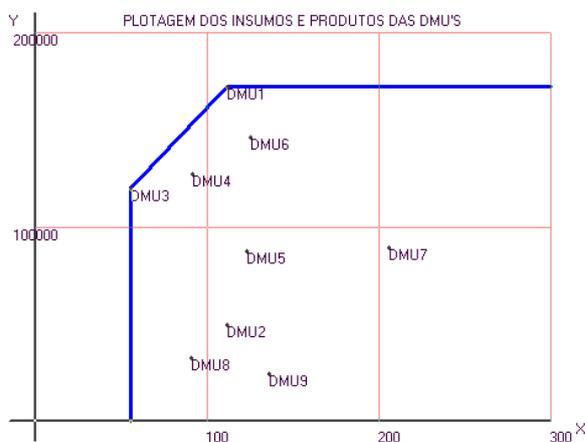
6	DMU5	Petrolina	0.45103
7	DMU9	Abreu e Lima	0.40871
8	DMU7	Paulista	0.26985

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados apresentados pelo DEA-SAED

Levando-se em consideração os custos que os municípios possuem com a coleta e a quantidade de resíduos coletados, as DMU que se revelaram eficientes foram Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes. O Cabo de Santo Agostinho, inclusive, foi o município com menor custo unitário declarado para atender a coleta necessária de sua região. A DMU com pior desempenho relativo foi Paulista, isto porque é o município com maior custo unitário despendido sem o devido retorno na quantidade de resíduos coletado. Em outras palavras, Paulista é a DMU que consome mais insumo para fornecer um resultado comparado com as demais. Abreu e Lima foi a DMU com 2º pior desempenho relativo.

A figura 2 ratifica a posição de eficiência relativa das DMU3 e DMU1, e as de piores ineficiências relativas para a DMU7 e DMU9, entre as comparadas. Os decisores que estão na fronteira de eficiência (DMU3 e DMU1) são as consideradas eficientes; e quanto mais distante da fronteira de eficiência (DMU7 e DMU9), pior eficiência dos decisores, já que exige um maior esforço de deslocamento em direção à fronteira de eficiência.

Figura 2: Fronteira de eficiência – Análise 1



Fonte: Gráfico gerado pelo DEA-SAED (2021).

A DEA, além de gerar a eficiência relativa, revela o *benchmarking* de cada DMU ineficiente. Nesse caso, a DMU7 (Paulista) teria que diminuir 73% de seu custo unitário com coleta para ter o resultado de eficiência apresentado pela DMU3 (Cabo de Santo Agostinho). A DMU9 (Abreu e Lima) precisaria reduzir 59% dos seus custos com coleta para ser comparável à *benchmarking* DMU3.

4.2 Análise 2

A análise 2 teve o modelo DEA-BCC orientado ao *output*. Nesse caso, admite-se que os *inputs* do sistema ficam fixos e que a DMU busque melhorar a entrega do resultado. Como o *input* utilizado foi o custo unitário da coleta, e normalmente é um indicador planejado pelo orçamento municipal, a busca dessa análise é como pode-se melhorar os resultados.

O *input* considerado foi o “Custo Unitário da Coleta” e os *outputs* “Quantidade de resíduos coletados” e “Produtividade média dos empregados em relação à massa coletada” (Tabela 3). O que se espera é que com o custo que possuem, os municípios apresentem maior produtividade dos recursos humanos envolvidos com a coleta e que a quantidade coletada seja próxima à capacidade de coleta.

Após a aplicação do modelo DEA-BCC-*output* com os dados da Tabela 3, obteve-se os índices de eficiência de acordo com a Tabela 6:

Tabela 6: Ranking de eficiências relativas – Análise 2

ORDEM	DMU	MUNICÍPIOS	SCORE
1	DMU3	Cabo de Santo Agostinho	1.00000
1	DMU2	Ipojuca	1.00000
1	DMU6	Olinda	1.00000
1	DMU1	Jaboatão dos Guararapes	1.00000
2	DMU4	Caruaru	0.93755
3	DMU5	Petrolina	0.91872
4	DMU7	Paulista	0.68631
5	DMU8	Igarassu	0.49078
6	DMU9	Abreu e Lima	0.43294

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados apresentados pelo DEA-SAED

Observa-se na Tabela 6 que há 4 DMU eficientes quando se leva em consideração a quantidade coletada e a produtividade dos trabalhadores como saídas do sistema. Os municípios de Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda e Jaboatão dos Guararapes (DMU3, DMU2, DMU6 e DMU1, respectivamente) são consideradas eficientes. Com o custo desembolsado pelos municípios, eles conseguem ter uma satisfatória capacidade de coleta em quantidade de resíduos, associado a uma produtividade compatível ao que entregam de resultado.

As DMU com piores performances foram Abreu e Lima (DMU9) e Igarassu (DMU8). Para equipararem-se ao desempenho das DMU eficientes seria necessário aumentarem a produtividade média das pessoas que trabalham com a coleta e/ou expandir a capacidade de quantidade de coleta de resíduos.

No caso de Abreu e Lima (DMU9), seria necessário ou aumentar em 130% a produtividade média dos trabalhadores, ou a capacidade de quantidade de resíduos coletados para se equiparar ao desempenho das DMUS *benchmarking* DMU2 e DMU3. O município de Igarassu, que também tem como *benchmarking* referência DMU2 e DMU3, teria que aumentar a produtividade média dos trabalhadores em 103% ou ampliar em 129% a sua atual capacidade de coleta de resíduos (em quantidade de toneladas).

4.3 Análise 3

Na 3ª análise dos dados também se levou em consideração o modelo DEA-BCC orientado ao *output*. O “Custo Unitário com Coleta” permaneceu sendo o *input* do sistema e as variáveis empregadas como *output* foram “Produtividade média dos empregados na coleta em relação à massa coletada” e a “População urbana atendida” (Tabela 4). Um indicador de produtividade dos recursos humanos favorece a interpretação da eficiência, por possuir uma relação direta, e a população atendida demonstra a quantidade de pessoas beneficiadas com a eficiência da gestão dos RSU.

A Tabela 7 mostra o ranking dos municípios eficientes em relação às variáveis analisadas.

Tabela 7: Ranking de eficiências relativas – Análise 3

ORDEM	DMU	MUNICÍPIO	SCORE
1	DMU5	Petrolina	1.00000
1	DMU1	Jaboatão dos Guararapes	1.00000
1	DMU3	Cabo de Santo Agostinho	1.00000

1	DMU2	Ipojuca	1.00000
2	DMU6	Olinda	0.95927
3	DMU4	Caruaru	0.94120
4	DMU7	Paulista	0.81659
5	DMU8	Igarassu	0.53133
6	DMU9	Abreu e Lima	0.47539

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados apresentados pelo DEA-SAED

A partir dos dados exibidos na Tabela 7, as DMUS eficientes foram Petrolina, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (DMU5, DMU1, DMU3, DMU2, respectivamente). A grande novidade nesse resultado foi o município de Petrolina aparecer como a DMU mais eficiente, pois foi a única análise em que um município que não pertence à Região Metropolitana do Recife apareceu com Score 1,0 e com maior frequência como *benchmark* para as demais DMU.

Abreu e Lima e Igarassu, assim como na análise 2, são as DMU com pior eficiência relativa em comparação com as demais DMU e, curiosamente, as únicas DMU que não foram sugeridas a DMU5 (Petrolina) como *benchmark*, podendo indicar, inclusive, um esforço muito grande para se chegar à eficiência do considerado mais eficiente.

4.4 Desempenho global

Nas 3 análises realizadas, as DMU1 e DMU3 (Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho, respectivamente) foram consideradas eficientes. Tanto na relação “Custo X Quantidade Coletada” ou com a inserção da variável de “Produtividade de Recursos Humanos envolvidos no sistema”, esses decisores obtiveram desempenho eficiente.

Analisando os menores scores apresentados, o município de Abreu e Lima (DMU9) manifestou os piores resultados globais, estando entre as 2 últimas posições nas 3 análises realizadas. O Custo Unitário da Coleta dos resíduos está muito alto para o resultado que esse município está entregando à sociedade, em forma de produtividade média dos trabalhadores, quantidade de resíduos coletados e população atendida.

O município de Igarassu apresentou um desempenho ruim nas análises em que se levou em consideração a Produtividade média dos empregados em relação à massa coletada. A prefeitura deve rever a quantidade de trabalhadores envolvidos na coleta de resíduos, para que o indicador produtividade média aumente e produza um resultado de eficiência melhor.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi calcular a eficiência relativa da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos entre municípios do Estado de Pernambuco, por meio da ferramenta Análise Envoltória de Dados. Foi utilizado o método DEA-BCC, com orientação ao *input*, em uma das análises, e orientação ao *output*, nas outras 2 análises.

Mesmo levando-se em consideração diferentes variáveis nas análises, os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho foram considerados DMU eficientes em todas elas. A gestão dos RSU praticado por essas DMU devem servir de parâmetro local entre as outras DMU analisadas nesse estudo.

Em contrapartida, independente das variáveis utilizadas, o município de Abreu e Lima apresentou um desempenho ruim em todas as análises observadas. O custo empregado na coleta dos resíduos está elevado em relação nível de entrega de resultados à sociedade, mostrando que há uma capacidade latente de melhorar a performance municipal.

É fundamental que os municípios consigam comparar seus desempenhos com outros municípios assemelháveis em alguns aspectos. O fato de todos os municípios serem regidos

pelo mesmo Governo Estadual e possuírem uma importância econômica relevante para o Estado, torna o estudo aplicável e oportuno.

Sugere-se novos estudos sobre a mensuração da eficiência do gerenciamento dos RSU pelos municípios brasileiros, inclusive com a aplicação da metodologia entre diferentes estados do país ou, até mesmo, comparando com outros municípios de outros países.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. S. **Eficiência dos serviços de segurança pública no Brasil**: uma análise por envoltória de dados. 2018. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ANGULO MEZA, L. **Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ**. 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W.; SWARTS, J.; THOMAS, D.A. An Introduction to Data Envelopment Analysis with Some of Its Models and Their Uses. **Research in Governmental and Nonprofit Accounting**, 5, 125-163, 1989.

BRASIL. **Lei 14.026, de 15 de julho de 2020**. Lei de Saneamento Básico – Atualização. Brasília, 15 de jul. 2020a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 24 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS; 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. Acesso em: 13 maio 2021.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 17 maio 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Versão para consulta pública. Brasília: Ministério das Cidades, 2019a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2020.

CARMO, C. M.; TÁVORA JUNIOR., J. L. Avaliação da eficiência técnica de empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. **Anais do XXXI Encontro Nacional de Economia – ANPEC**, Porto Seguro, 2003.

CASTILLO-GIMÉNEZ, J.; MONTAÑÉS, A.; PICAZO-TADEO, A. J. Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. **Waste Manag.**; 85:222-231, 2019.

CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E., Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal Of Operational Research**, 2(6), 429-444, 1978.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2ed. New York: Springer, 2007.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco. **Situação geral do estado de Pernambuco – 2020**. Disponível em:

http://www.cprh.pe.gov.br/Controle_Ambiental/dados_sobre_residuos_solidos_de_pernambuco/situacao_geral_do_estado_de_pernambuco/44062%3B40815%3B481401%3B0%3B0.asp. Acesso em: 12 Set 2021.

DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução da administração.** (Out of the crisis). Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 685-698, dez. 2015.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, 61, 4–8, (2018).

GIANNAKITSIDOU O, GIANNIKOS I, CHONDROU A. Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: A DEA application in MSW. **Waste Manag.**; 109:181-191; 2020.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **OMEGA. Journal of Management Science**, 17(3), 237-250, 1989.

HEBER, F.; SILVA, E. M. da. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 4, p. 913- 937, ago. 2014.

IBGE. **Estimativas da população IBGE – 2019.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=25272&t=resultados>. Acesso em: 13 out 2021.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios - 2017.** Disponível Em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 13 out. 2020.

JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C.; SARKIS, J.; GOVINDAN, K. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 16, n. 1, p. 7-9, 2014.

KARAK, T.; BHAGAT, R. M.; BHATTACHARYYA, P. Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 42:15, 1509-1630, 2012.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. de P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 24-51, jan. 2018.

MARCHI, C. M. D. F. Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. **Rev. Bras. Gest. Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 91- 105, abr. 2015.

MARQUES, R. C.; SIMÕES, P. Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. **Waste Management & Research**, 27(2), 188–196, 2009.

MORAES, L. R. **Gestão Integrada e Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: um desafio para os municípios e a sociedade.** 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237618751_GESTAO_INTEGRADA_E_SUSTENTAVEL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_UM_DESAFIO_PARA_OS_MUNICIPIOS_E_A_SOCIEDADE. Acesso em: 01 dez. 2020.

IBGE. **Perfil dos municípios brasileiros: 2017.** IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

NASCIMENTO, V. F. et al. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 889- 902, dez. 2015.

OLIVEIRA, B. G.; LIBONI, L. B. Proposta de indicador de eficiência da gestão pública municipal em promover desenvolvimento local. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 20, n. 3, p. 815-830, set., 2019.

PENA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Rev. adm. contemp.**, Curitiba, v. 12, n.1, p. 83-106, mar. 2008.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 471-483, jun. 2018.

PERNAMBUCO. Secretaria de meio ambiente. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco**. Recife: SEMAS, 2012. 304 p.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 301-313, set. 2014.

ROSANO-PENA, C. Eficiência e impacto do contexto na gestão através do DEA: o caso da UEG. **Prod.**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 778-787, dez. 2012.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 203-212, jun. 2012.

SENRA, L. F. A. de C. et al. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesqui. Oper.**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191- 207, ago. 2007.

SILVA FILHO, C. R. V. Os serviços de limpeza urbana e a PNRS. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. C. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri, SP: Manole, 2012. (Coleção Ambiental).

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Avaliação do desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 285- 294, jun. 2009.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. On the economic performance of the waste sector. A literature review. **Journal of Environmental Management**, 106, 40–47, 2012.

SOARES, I. T. S.; ALVES, J. L.; SOARES, I. C. S.; VALENÇA, S. Análise bibliométrica da eficiência na gestão de resíduos sólidos urbanos partir da análise envoltória de dados (DEA). In: Seminários em Administração - XXIV SEMEAD, 2021, São Paulo. **Anais**, nov., 2021.

SOUZA, V.; MELO, A. de S.; SOBRAL, M. F. F.; VALENÇA, M. N. Uso da análise envoltória de dados para mensuração da sustentabilidade de hotéis-fazenda em Pernambuco. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 18, n. 1, p. 41-57, Mar. 2017.

SURCO, D. F.; WILHELM, V. E. **DEA-SAED: software de análises envoltória de dados**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. Aplicação da Análise Envoltória de Dados em cooperativas de crédito rural. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 11, n. 2, p. 99-120, 2007.

YANG, Q.; FU, L.; LIU, X.; CHENG, M. Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 15(11), 2448, 2018.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A, Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHO JUNIOR, A.B. (Org.). Projeto PROSAB. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/RIMA, p. 1-18, 2003.