



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS DOS ECOPONTOS DA CIDADE DE FORTALEZA NO CEARÁ PELO MODELO DEA SBM ORIENTADO A OUTPUT

* Adriano Ricardo Almeida Alexandre ¹
Marisete Dantas Aquino ¹
Hozana Raquel de Medeiros Garcia ¹
Antonio Clécio Fontelles Thomaz ²

EFFICIENCIES ANALYSIS OF ECOPOINTS OF FORTALEZA CITY IN CEARÁ BY MODEL DEA SBM ORIENTED OUTPUT

Recibido el 19 de noviembre de 2019; Aceptado el 7 de mayo de 2020

Abstract

This research was carried out to analyze the efficiency of the Ecopoints of the city of Fortaleza, in the state of Ceará, using the Data Envelopment Analysis (DEA) model that uses the Slacks-Based Measure (SBR) method oriented to output (products) with variable scales (SBM- O- V). The Decision Making Unit (DMUs) of the model are twenty-five Ecopoints, where there are two incentive collection programs, the "Recicla Fortaleza" and "E-carroceiro". The inputs of the model are the production of construction waste (rubbish), cutting and pruning vegetation, bulky waste (useless as old furniture, refrigerator and others), OGR (oil and fat in general), recyclable waste with the outputs from the revenues from bonuses in reais (R\$) of OGR and recyclable waste. The efficiencies found by the SBR-O-V model of classical and inverted boundaries are transformed into composite efficiencies and these into standardized ones. A scaling of standardized efficiencies from least efficient to most efficient is demonstrated. The scheduling analysis indicates the least efficient Ecopoints and which management attitudes should be taken seeking a maximization of production with the minimization of bonuses.

Keywords: analyze the efficiencies of Ecopoints, DEA SBM oriented to output, standardized efficiencies, incentive urban collection programs.

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

² Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Av. Mister Hull, s/n, Pici, Fortaleza, Ceará, CEP: 60455-760, Brasil, Email: adricaral@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa deteve-se a análise das eficiências dos Ecopontos da cidade de Fortaleza, no estado do Ceará através do modelo DEA (Data Envelopment Analysis) utilizando o método SBR (Slacks-Based Measure) orientado a output (produtos) com escalas variáveis (SBM- O- V). As DMUs (Decision Making Unit) do modelo são vinte e cinco Ecopontos, onde existem dois programas de coleta incentivada, o programa “Recicla Fortaleza” e “E- carroceiro”. Os inputs do modelo são as produções de resíduos da construção civil (entulhos), corte e podas de vegetação mais os resíduos volumosos (inservíveis como mobília velha, geladeira e outros), OGR (óleo e gorduras em geral), resíduos recicláveis com os outputs advindos das receitas com as bonificações em reais (R\$) do OGR e resíduos recicláveis. As eficiências encontradas pelo modelo SBR- O- V das fronteiras clássicas e invertidas são transformadas em eficiências compostas e essas em normatizadas. Um escalonamento das eficiências normatizadas das menos eficientes a mais eficiente é demonstrado. A análise do escalonamento indica os Ecopontos menos eficientes e quais atitudes gerenciais devem ser tomadas buscando uma maximização da produção com a minimização das bonificações.

Palavras chave: análise das eficiências dos Ecopontos, DEA SBM orientado a *output*, eficiências normatizadas, programas de incentivo à coleta urbana.

Introdução

A cidade de Fortaleza no estado do Ceará (CE), localizado na região Nordeste do Brasil, possui, de acordo com o último censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a maior densidade de habitantes por quilômetro quadrado entre as capitais dos Estados Federativos do Brasil, sendo 7.786.44 hab./km² (IBGE, 2010), com uma população estimada em 2018 de 2.643.247 pessoas (IBGE, 2019). Esta alta concentração populacional provoca grandes problemas no cotidiano da cidade como controle urbano, sobrecarga no sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário, assim como outros impactos danosos à vida da população. Um grande impacto associado a esta cidade é a geração de resíduos sólidos, crescente a cada ano e associado a um descarte irregular em vias e logradouros públicos e privados de resíduos principalmente de origem da construção civil, vegetais (poda e cortes de vegetação), com o surgimento de locais denominados pela população e operadores do sistema de limpeza pública como “*pontos de lixo*”.

No intuito de minimizar a existência desses “*pontos de lixo*”, ocorreram incrementos superiores da coleta de resíduos públicos (RPU) em relação aos resíduos domiciliares (RDO). Define-se como resíduos públicos (RPU) aqueles que têm origem nas atividades da limpeza pública como varrição de ruas, praças, faixa de praia, limpeza de feiras livres, capina e roçada de sarjetas e áreas públicas, retiradas de depósitos clandestinos em terrenos baldios, públicos e outras operações de limpeza de logradouros públicos (Barros, 2012). A maior parcela dos resíduos públicos são os provenientes da coleta daqueles depositados nos “*pontos de lixo*”. Os resíduos domiciliares (RDO) são descritos como a soma dos resíduos de origem nos domicílios residenciais e estabelecimentos comerciais com coleta regular por agentes públicos ou privados. Grande parte desses resíduos é

proveniente da coleta regular e sistemática, provida pelo agente público, embora exista a coleta contratada por agentes privados que fazem também parte do RDO.

A Tabela 1 exposta abaixo descreve os incrementos da coleta do RDO, RPU e população da cidade de Fortaleza no período de 2013 a 2017, conforme dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Fortaleza (SCSP/PMF, 2018).

Tabela 1. Evolução do RDO, RPU, e população da cidade de Fortaleza(CE) no período de 2013 a 2017

Ano	RDO (ton)	Incremento(%)	RPU(ton)	Incremento(%)	População (habitantes)
2013	857161.10	0.0	1185883.50	0.0	2551806
2014	762292.60	-11.07	1334.12.90	11.12	2571896
2015	774701.50	1.63	1028802.40	-29.69	2591188
2016	804085.50	3.79	832215.20	-23.62	2609716
2017	809282.10	0.65	649113.80	-28.21	2627482

Fonte: SCSP/PMF (2018)

Apesar do esforço demandado pelos agentes públicos da cidade, o número de “*pontos de lixo*” aumentou de maneira expressiva em 2016, conforme Tabela 2, tornando pouco efetiva a ação desses agentes.

Tabela 2. A evolução do quantitativo de “*pontos de lixos*” na cidade Fortaleza (CE), período de 2013 a 2018

Secretarias Regionais (SR)	2013 (Dez)	2014 (Dez)	2015 (Dez)	2016 (Dez)	2017 (Dez)	2018 (Ago)
SR I	176	142	126	203	128	103
SR II	380	271	300	282	131	108
SR III	117	100	97	136	104	85
SR IV	200	150	160	149	114	92
SR V	254	237	286	373	212	103
SR VI	416	359	347	648	338	313
TOTAL	1543	1259	1316	1791	1027	804

Fonte: SCSP/PMF (2018)

A Tabela 2 demonstra que apesar de possuir incrementos na coleta dos resíduos, principalmente os públicos (RPU), o sistema de limpeza pública da cidade de Fortaleza (CE) estava com problemas com o descarte clandestino de resíduos sólidos em diferentes regiões da cidade e necessita de

outras soluções mais adequadas do que implementar um aumento nas operações de coleta. Os dados desta tabela foram também cedidos da SCSP/PMF (2018).

Várias análises foram realizadas e baseando-se nas propostas de estudos dos aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais, na implementação de novas tecnologias propostas por Lima *et al.* (2013), encontrou-se uma solução de localização de unidades de transbordo para recebimentos por entrega voluntária de pequenas quantidades de resíduos oriundos da construção civil, da poda e corte de espécies vegetais e volumosos (inservíveis como mobílias velhas, geladeiras e outros), surgindo assim os Ecopontos em 2016 como forma de atenuar o problema.

Os Ecopontos foram a solução encontrada para minimizar o descarte clandestino de resíduos sólidos na cidade de Fortaleza. Porém eles não foram as únicas ferramentas utilizadas, outros programas foram implementados, a saber: a coleta seletiva incentivada com troca de bônus de energia elétrica por materiais recicláveis nos Ecopontos, com parceria entre distribuidora de energia e Prefeitura de Fortaleza (programa Recicla Fortaleza); a coleta de resíduos inertes como os oriundos da construção civil, poda e cortes de plantas por carroceiros cadastrados em troca de bônus na conta de energia e pecuniários (programa E- carroceiros) com destinação aos Ecopontos; legislação e fiscalização mais abrangentes e rígidas com multas majoradas estabelecidas por novas leis; requalificação de espaços vazios como terrenos baldios e imóveis desocupados, por pinturas nos muros com lemas socioambientais, plantação de mudas nos passeios, parcerias público privadas em algumas das ações nestes espaços; e educação ambiental com parcerias com a comunidade do entorno dos pontos de lixo, cadastramento de carroceiros avulsos da área, divulgação de proposituras ambientais com apoio de agentes de saúde, unidades escolares e outros órgãos municipais, estaduais e federais próximos aos locais do descarte clandestino.

No ambiente do Ecoponto desenvolve-se estes dois programas, um ligado à coleta de resíduos recicláveis (programa Recicla Fortaleza) e o outro o programa “E-carroceiro” de coleta de resíduos inertes (resíduos da construção civil, podas e cortes de plantas, volumosos) e também resíduos recicláveis realizados por carroceiros cadastrados. Os programas “Recicla Fortaleza” e “E-carroceiro” bonificam os participantes e fazem parte da coleta seletiva incentivada, porém a maior parte dos resíduos da construção civil, volumosos e podas são entregues de forma voluntária nos Ecopontos pelos municípios.

O presente artigo propõe uma análise da eficiência de 25 (vinte e cinco) Ecopontos no período de junho a agosto de 2019 através do modelo DEA (*Data Envelopment Analysis*) ou Análise Envoltória de Dados com o objetivo de melhorar os programas e otimizar seus custos nos diversos Ecopontos analisados.

Metodologia

Toda estrutura funcional seja pública ou privada, utiliza insumos como materiais, mão-de-obra, recursos e equipamentos para a produção denominados entradas e pelo inglês *inputs*; que são transformados em um ambiente onde as unidades produtoras são as unidades tomadoras das decisões sobre a produção advindo do inglês, *Decision Making Unit* (DMU) para transformação em bens e serviços denominados saídas ou *output* em inglês.

Para entender melhor a metodologia descrevem-se as definições de eficácia, produtividade e eficiência. Eficácia é a capacidade de uma unidade produtora atingir uma meta de produção. Produtividade é a razão ou proporção entre as entradas (*inputs*) necessárias para gerar bens e serviços ou saídas (*outputs*) das DMUs. Eficiência é uma comparação entre os recursos disponíveis e o que foi transformado em produtos, com o que poderiam ser produzidos utilizando a mesma quantidade de recursos existentes nas DMUs. De acordo com Lovell (1993), eficiência é a razão entre os valores alcançados e valores ótimos de *inputs* e *outputs* das unidades tomadoras de decisão. Logo a eficiência é uma unidade comparativa das DMUs.

A Análise Envoltória de Dados ou método DEA (*Data Envelopment Analysis*) é uma técnica não paramétrica de programação matemática que utilizam fronteiras para servir de referência da eficiência para cada unidade produtiva. No DEA as DMUs executam atividades similares só se diferenciam na quantidade de *inputs* que consomem e *outputs* que resultam, onde as fronteiras da eficiência servem como meta para cada unidade tomadora de decisão.

A vantagem da técnica DEA é a avaliação com uso de vários indicadores de desempenho, permitindo que a análise da eficiência seja de forma multicriterial, analisando todas as performances das DMUs e os seus indicadores críticos de desempenho (Das Dores, 2017). Existe Análise Envoltória de Dados com diversos modelos de fronteiras sendo os mais clássicos: o CCR das iniciais dos criadores Charnes, Cooper e Rhodes e o BCC das iniciais de Banker, Charnes e Cooper.

O modelo CCR conhecido também como *Constant Returns to Scale* (CRS), envolve os dados com retornos constantes de escala, onde as variações nas entradas (*inputs*) produzem variações proporcionais nas saídas (*outputs*), criando uma fronteira linear. (Charnes et al., 1978). O modelo BCC de Baker et al. (1984), também conhecido por *Variable Returns to Scale* (VRS), implica em rendimentos de escalas não constantes ou rendimentos variáveis, formando uma convexidade da fronteira da eficiência. Neste modelo BCC permite-se que unidades operando com baixos valores de *inputs* tenham rendimentos crescentes e operando com altos valores tenham rendimentos decrescentes. Os dois modelos CCR e BCC podem ser orientados a *output* ou *input*. A Figura 1 demonstra as fronteiras de eficiência dos dois modelos.

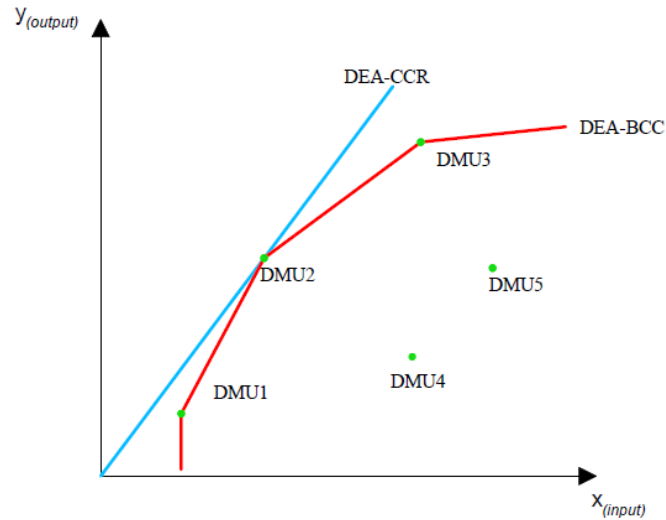


Figura 1. Fronteiras de eficiência CCR e BCC

O modelo DEA adotado neste estudo é *Slacks-Based Measure* (SBM), proposto por Tone (2001) que incorpora folgas intrínsecas a cada DMU, sendo indicado para avaliar DMUs que tenham diferenças de tamanho entre si. A solução desse modelo do Problema de Programação Linear (PPL) é apresentada pela Equação (1).

$$\min_{\lambda, s^-, s^+} \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad \text{Equação (1)}$$

Sujeito à:
 $x_o = X\lambda + s^-$
 $y_o = Y\lambda - s^+$
 $\lambda \geq 0; s^+ \geq 0; s^- \geq 0$

Onde:
 ρ é a eficiência das DMUs
 λ são os pesos dos *inputs* e *outputs*
 s^- são as folgas dos *inputs*
 s^+ são as folgas dos *outputs*

Este modelo admite duas propriedades: P1) a aferição da eficiência é invariável (constante) em relação à unidade de análise de cada *input* e *output*, ou seja, o numerador e denominador da equação 1 são medidos na mesma unidade; e P2) em cada folga de input e output a mensuração é classificada como monotônica e decrescente, ou seja, mantendo constantes os demais termos, o valor da função objetivo reduz após aumentos em s_i^- e s_r^+ (Cooper *et al.*, 2007).

O modelo *SBM* escolhido é o orientado a *output* expresso pela Equação (2) demonstrada abaixo:

$$\rho_0^* = \min_{\lambda, s^+} = \frac{1}{1 + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{s_i^+}{y_{ro}}} \quad \text{Equação (2)}$$

Sujeito à:
 $y_o = Y\lambda - s^+$
 $\lambda \geq 0; s^+ \geq 0$

Os modelos DEA realizam análises independentes das opiniões de gestores e decisores, porém podem apresentar falsas eficiências para muitas DMUs, onde muitas delas têm 100% de eficiência, provocando assim baixa discriminação entre elas. Isso deve-se a forma benevolente que o modelo pode executar pela análise de somente algumas variáveis que são mais favoráveis a essas DMUs.

Para resolver este problema Entani et al. (2002) e Yamada et al. (1994) propuseram a fronteira invertida ou análise pela fronteira pessimista que analisa pelas ineficiências das DMUs. Isto é realizado pela troca dos *inputs* pelos *ouputs*, sendo a fronteira invertida formada pelas referências das DMUs com as piores condutas gerenciais. A Figura 2 abaixo demonstra um modelo DEA-BCC com estas fronteiras otimista ou clássica, pessimista ou invertida.

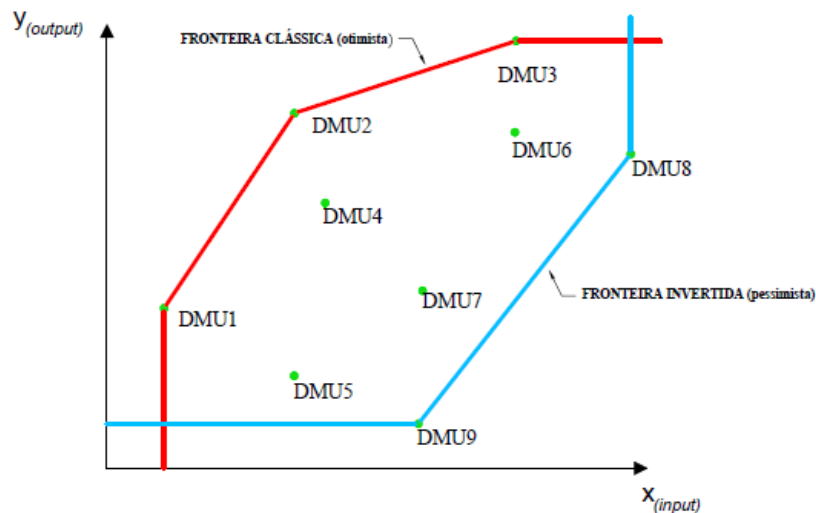


Figura 2. Fronteira clássica (otimista) e fronteira invertida (pessimista)

Leta *et al.* (2005) utilizaram uma eficiência composta traduzida por uma eficiência intermediária entre uma averiguação otimista e pessimista dos DMUs, obtida pela média aritmética entre as fronteiras otimistas e pessimistas conforme Equação (3) listada abaixo:

$$\text{Eficiência composta} = \frac{\text{Eficiência otimista} + \text{Eficiência pessimista} + 1}{2} \quad \text{Equação (3)}$$

No intuito de aprimorar ainda mais, propuseram um índice de eficiência normatizada como sendo a pela razão entre a eficiência composta e eficiência máxima, de acordo com a Equação (4).

$$\text{Eficiência normatizada} = \frac{\text{Eficiência composta}}{\text{Eficiência máxima}} \quad \text{Equação (4)}$$

A eficiência máxima é o maior valor de eficiência composta dentro do universo de DMUs avaliadas pelo modelo proposto.

As DMUs do estudo são os 25 (vinte e cinco) Ecopontos pertencentes à Prefeitura de Municipal de Fortaleza (PMF). A análise desses se dá através do modelo DEA com o método escolhido sendo o SBM orientado a *output* com taxas variáveis (SBM- O- V). Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos por cessão da SCSP/PMF (2019) do seu Relatório de Gestão Mensal dos Resíduos Sólidos de Fortaleza.

Resultados e discussões

Os dados de *input* são as produções dos resíduos oriundos da construção civil (entulhos); a soma dos resíduos das podas e cortes de espécies vegetais com resíduos inservíveis definidos como mobílias velhas, geladeiras e outros (volumosos); o óleo proveniente das frituras dos alimentos (OGR, óleos e gorduras residuais) e o somatório dos resíduos recicláveis compostos por papel, metais e plásticos (recicláveis). Os *outputs* do modelo são as receitas (Rec. OGR e Rec. Recicláveis) provenientes dos bônus pagos aos habitantes da cidade de Fortaleza que aderiram ao projeto recicla Fortaleza em abatimentos na conta de energia elétrica ou bônus em dinheiro pela entrega do OGR e resíduos recicláveis.

A Tabela 3 explicita a classificação dos tipos de objetos que compõem os materiais recicláveis recebidos no Ecoponto pelo programa Recicla Fortaleza com os seus devidos valores das bonificações em reais (R\$) no ano 2019. O método SBM orientado a *output* com taxas variáveis (SBM- O- V) é o método mais adequado, pois permite a análise das DMUs com *inputs* e *outputs* em unidades diferentes, que é o caso do estudo, pois todos os *inputs* são em quilogramas (Kg) com exceção do OGR que é em litros (L). Os *outputs*, entretanto, possuem a mesma unidade, no caso a unidade monetária real (R\$).

A tabela 4 mostra os dados utilizados como *inputs* (I) e *outputs* (O) dos Ecopontos no período de junho a agosto de 2019, utilizados na análise pelo modelo DEA SBM- O- V.

Tabela 3. Classificação dos objetos por tipo de resíduos recicláveis com os seus respectivos preços em 2019.

Resíduos	Tipo	Unidade	Valores (R\$)
metal	latão	Kg	1.50
vidro	cerveja garrafa	Kg	0.01
vidro	caco branco	Kg	0.01
metal	bronze	Kg	3.00
papel	papel branco	Kg	0.10
vidro	coquinho	Kg	0.01
metal	chumbo	Kg	0.70
vidro	garrafão	Kg	0.01
papel	papel misto	Kg	0.02
vidro	litro branco	Kg	0.01
metal	aço inox 304	Kg	0.20
metal	ferro fundido	Kg	0.10
vidro	long neck	Kg	0.01
plástico	pet	Kg	0.35
metal	alumínio fundido	Kg	1.00
metal	lata alumínio	Kg	2.00
vidro	pote	Kg	0.01
plástico	pvc	Kg	0.35
metal	bateria	Kg	0.25
metal	panela aluminio	Kg	1.65
plástico	longa vida	Kg	0.02
vidro	caco colorido	Kg	0.01
papel	jornal	Kg	0.02
vidro	garrafa pote	Kg	0.01
metal	ferro batido	Kg	0.10
vidro	litro preto	Kg	0.01
papel	papelão	Kg	0.12
OGR	óleo de cozinha	L	0.20
metal	aço inox 430	Kg	0.30
metal	lata aço	Kg	0.10
metal	panela aluminio com cabo	Kg	2.20
plástico	plástico filme	Kg	0.35

Fonte: SCSP/ PMF (2019)

Os dados das Tabelas 3 e 4 foram obtidos da Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Urbanos, órgão pertencente à Prefeitura Municipal de Fortaleza no período de junho a agosto de 2019, das rotinas de coleta do município e dos programas “E- carroceiro” e “Recicla Fortaleza” (SCSP/PMF, 2019).

Tabela 4. Dados de *Inputs(I)* e *Outputs(O)* dos DMUs no período de junho a agosto de 2019

DMUs (Ecopontos)	(I)Entulho (kg)	(I)Volumosos (Kg)	(I)OGR (L)	(O)Rec. OGR (R\$)	(I)Recicláveis (Kg)	(O)Rec. Recicláveis (R\$)
Aerolândia	86330.00	31951.54	86.13	17.20	4015.09	646.80
Álvaro Weyne ^(*)	468250.00	108568.07	92.00	18.40	5922.84	818.30
Aracapé	19690.00	21496.96	40.50	8.10	2427.69	379.44
Barra do Ceará ^(*)	572865.00	78615.00	121.50	31.70	11068.87	2126.41
Bonsucesso	73215.00	79889.10	37.00	7.40	373.75	68.55
Centro II	99530.00	81394.10	126.00	25.20	8881.70	1383.36
Cidade dos Funcionários	228265.00	179800.00	19.51	3.90	3793.26	496.81
Conj. Ceará I ^(*)	104865.00	17057.71	4.85	0.97	3302.51	459.34
Conjunto Esperança	203015.00	95179.37	48.50	9.70	5872.28	824.58
Cocó	196245.00	97014.93	83.60	16.72	8277.51	1076.28
Damas	414810.00	142813.10	126.00	25.20	8696.27	793.93
Fátima	255480.00	132313.63	171.54	34.24	24747.55	2779.04
Jacarecanga ^(*)	728830.00	225950.00	136.00	27.20	8341.66	1041.97
Jangurussu ^(*)	86620.00	90358.66	70.85	14.17	12742.09	1526.69
Jardim Cearense	129595.00	113666.23	42.20	8.44	6272.75	811.21
Jovita Feitosa ^(*)	702480.00	139693.74	186.00	37.20	8632.39	1081.90
Leste Oeste ^(*)	1554100.00	188529.78	37.00	7.40	14120.69	1403.27
Luciano Cavalcante	96780.00	98639.53	14.50	3.13	7252.02	788.61
Mondubim	34000.00	30003.47	80.52	16.09	2974.91	423.62
Parque Dois Irmãos	60960.00	25569.76	100.35	20.07	2031.95	414.51
Parreão	155970.00	120689.40	75.55	15.11	17852.76	1583.80
São Bento ^(*)	36425.00	13463.83	25.00	5.00	4934.06	665.06
Sítio São João	259165.00	74694.00	137.00	27.40	6761.90	1709.45
Vila Ellery ^(*)	609865.00	84949.72	17.00	3.40	3245.50	488.83
Vila Velha ^(*)	103465.00	60914.13	69.00	17.40	1363.14	153.02
Média	291232.60	93328.63	77.92	16.03	7356.21	957.79

Fonte: SCSP/PMF (2019). Nota: DMUs assinaladas com (*) possuem o programa E- carroceiro

Os resultados das análises das eficiências das DMUs no modelo DEA SBM- O- V são calculados pelo aplicativo *DEA-Solver pro versão 7.0*. Os dados obtidos de eficiência clássica (Efi. clássica), eficiência invertida (Efi. Invertida), eficiência composta (Efi. Composta) e eficiência normalizada (Efi. Normalizada) das diversas DMUs são mostrados na Tabela 5, revelada abaixo.

Tabela 5. Eficiências Clássicas, Invertidas, Compostas e Normalizadas das DMUs

DMUs (ECOPONTOS)	Efi. Clássica	Efi. Invertida	Efi . Composta	Efi. Normalizada
São Bento ^(*)	1.0000	0.1261	0.9370	1.0000
Aracapé	1.0000	0.1430	0.9285	0.9910
Jangurussu ^(*)	1.0000	0.2032	0.8984	0.9588
Centro II	1.0000	0.2724	0.8638	0.9219
Sítio São João	1.0000	0.4733	0.7633	0.8147
Jardim Cearense	0.8673	0.3889	0.7392	0.7889
Cocó	0.8437	0.4335	0.7051	0.7526
Barra do Ceará ^(*)	1.0000	0.6539	0.6731	0.7184
Conj. Esperança	0.8328	0.4898	0.6715	0.7167
Vila Velha ^(*)	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Bonsucesso	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Parque Dois Irmãos	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Conj. Ceará I ^(*)	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Mondubim	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Luciano Cavalcante	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Leste Oeste ^(*)	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Fátima	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Jovita Feitosa ^(*)	1.0000	1.0000	0.5000	0.5336
Álvaro Weyne	0.7529	0.7629	0.4950	0.5283
Parreão	0.9725	1.0000	0.4862	0.5190
Vila Ellery ^(*)	0.9450	1.0000	0.4725	0.5043
Aerolândia	0.9417	1.0000	0.4709	0.5026
Cidade dos Funcionários	0.8391	1.0000	0.4196	0.4478
Jacarecanga ^(*)	0.7011	1.0000	0.3505	0.3741
Damas	0.5722	1.0000	0.2861	0.3053

Nota: DMUs assinaladas com (*) possuem o programa E- carroceiro

Conforme Tabela 5, temos baixa discriminação na análise dos Ecopontos tanto na clássica como na invertida com 15 (quinze) DMUs 100% (cem por cento) eficientes e ineficientes, sendo, portanto, necessário o uso da eficiência composta e normalizada proposto por Leta *et al.* (2005) e Araújo *et al.* (2018).

Diversos trabalhos detiveram-se ao estudo com o escalonamento das eficiências, considerando as eficientes com o número 1 e a menos eficientes com valores próximos de zero, pelo modelo DEA. Pode-se citar Rogee e De Jaeeger (2012), Gonzales-Garcia *et al.* (2018). Os estudos de Das Dores (2017) e Araújo *et al.* (2018) entretanto realizaram este escalonamento utilizando como parâmetro a eficiência normalizada (Efi. Normalizada), que é a realizada nesta pesquisa.

Na Figura 3 visualiza as eficiências normalizadas em escala crescentes, onde podemos ver uma distribuição indo das menos eficientes aos mais eficientes. Consideram-se as deficitárias, ou seja, que necessitam de intervenções gerenciais urgentes, as que apresentam o valor abaixo de 0.5 ou 50% (cinquenta por cento) dos resultados das Efi. Normalizadas.

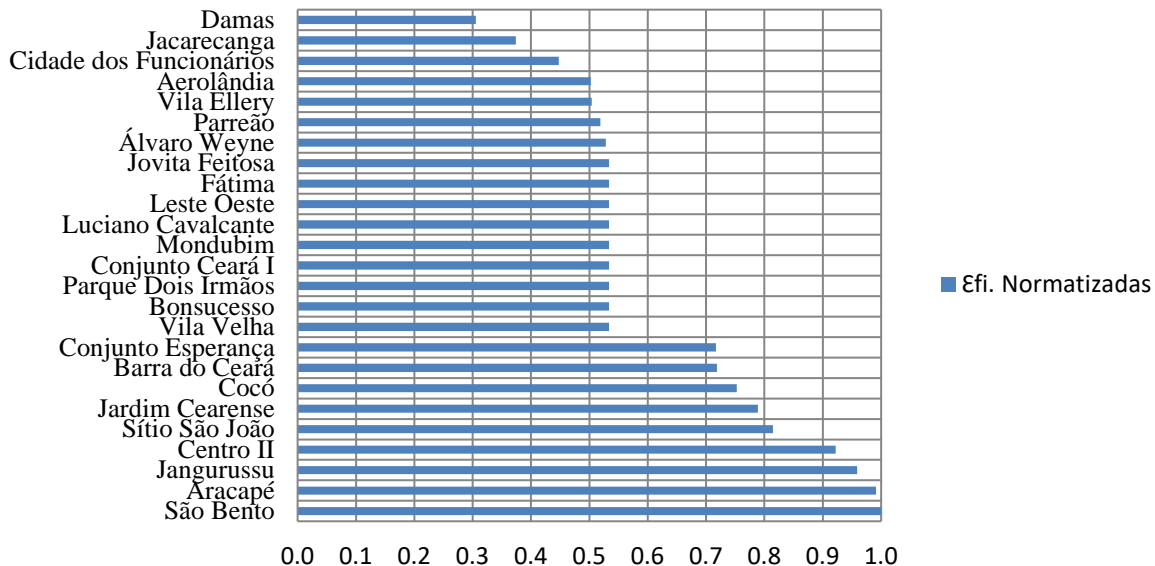


Figura 3. Gráfico das Efi. Normalizadas em escala crescente por Ecoporto

Analisando Figura 3 observa-se que 03(três) Ecoportos tem eficiências abaixo de 0.5 (50%) a saber: Damas, Jacarecanga e Cidade dos Funcionários. O Ecoporto Jacarecanga tem 0.3714 (31.74%) de eficiência apesar de possuir o programa “E-carroceiro” que remuneram pessoas cadastradas a entregar resíduos inertes (entulhos e volumosos), sendo também possuidor do programa “Recicla Fortaleza”.

O Ecoporto Leste-Oeste apesar de ter a maior produção de entulho de todos (1554100 kg) tem eficiência razoável de 0.5336 (53.56%). Caso assemelhado acontece no Ecoporto Fátima,

detentor de maior bonificação de todos (R\$ 2779.04) e maior produção de recicláveis (24747.55 Kg), porém com rendimentos inadequados de inertes, acarretando com isso um rendimento de 0.5336 (53.56%) em relação aos outros.

O Ecoponto melhor avaliado é o São Bento, onde programas como “E-carroceiro” e “Recicla Fortaleza” estão com resultados satisfatórios, provando uma melhor interação entre catadores cadastrados (carroceiros) envolvidos também na coleta de recicláveis, assim como uma interação eficiente com a comunidade do seu entorno. Na busca de melhor eficiência, deve-se atentar sempre este processo de interação entre comunidade e catadores cadastrados para melhor aproveitamento dos dois programas.

Conclusões

A ferramenta DEA com modelo SBM orientado a output com escalas variáveis (SBM- O-V) mostra-se como uma importante forma de análise dos programas “E- carroceiro” e “Recicla Fortaleza”, com indicativo de algumas mudanças na operação dos Ecopontos. Pode-se citar:

induzir maior participação dos carroceiros na entrega de resíduos recicláveis nos Ecopontos com o programa “Recicla Fortaleza”, naqueles com eficiências abaixo de 0.7 (70%); melhorar a comunicação com a população do entorno do Ecoponto para incentivar a entrega dos recicláveis com índices de eficiência menores que 0.6 (60%) associados a valores abaixo da média de recicláveis (7356.21 Kg) e ampliar o programa “E- carroceiro” para outros Ecopontos, principalmente os mais ineficientes de forma imediata, aumentando com isso a sua participação na produção de resíduos inertes (entulhos e volumosos).

Como se pode observar o uso do modelo DEA SBM- O- V é de importância relevante para maximizar os efeitos (produções de resíduos coletados) e minimiza os custos (bonificações) de maneira eficiente destes importantes programas de coleta de resíduos nos Ecopontos da cidade de Fortaleza.

Referências bibliográficas

- Araújo, L. P.de S., Paixão, A. N. da, Paixão, M. C. S. (2018) Análise da Eficiência Técnica da Prestação dos Serviços de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos nos Municípios Paraibanos, *XVIII Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas*, 5 a 9 de novembro em João Pessoa, Paraíba, Brasil. Acesso em 20 de maio de 2018, disponível em: http://www.ibraop.org.br/sinaop2018/wp-content/uploads/sites/6/2018/11/A11_Lucia.pdf
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science Inform*, **30**(9), 1078–1092.
- Barros, R. T. de V. (2012) Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos, editora Tessitura, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 423pp.

- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal Operational Research*, North-Holland Publishing, **2**(6), 429–444.
- Cooper, W., Seiford, L. M., Tone, K. (2007) *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Springer Science and Business Media Publishers, New York, USA, 483pp.
- Das Dores, C. C. C. (2017) *Análise da eficiência de unidades de saúde utilizando a metodologia DEA com ponderação de resultados: um estudo de caso das Policlínicas do Estado do Ceará*, Tese de mestrado em Ciência da Computação, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 59pp.
- Entani, T., Maeda, Y., Tanaka, H. (2002) Dual models of interval DEA and its extension to interval data, *European Journal of Operational Research*, Elsevier, **136**(1), 32–45.
- Gonzalez-Garcia, S., Manteiga, R., Moreira, M. T., Feijoo, G. (2018) Assessing the sustainability of Spanish cities considering environmental and socio-economic indicators, *Journal of Cleaner Production*, **178**, 599-610.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), Estimativa de população de residente em Fortaleza, ano 2018, Tabela 6579, Sistema IBGE de Recuperação Automática- SIDRA. Acesso em 13 de maio de 2019, disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>
- Leta, F. R., Mello, J. C., Gomes, E. G., Meza, L. A. (2005) Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos, *Investigação Operacional, APDIO-Associação Portuguesa de Investigação Operacional*, **25**(2), 229–242.
- Lima, J.D. de, Jucá, J. F. T., Nóbrega, C.C., Mariano, O. H. de, Júnior, F. H. C., Lima, M. T. C.de (2013), Modelo de Apoio à Decisão para Alternativas Tecnológicas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Nordeste do Brasil, *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, **6**(3), 11-28.
- Lovell, C. A. K. (1993) Production frontiers and productive efficiency, In Fried, H.O, Lovell, C. A. K., Schmidt, S. S. (Eds.) *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*, Oxford University Press, New York, USA, 3-67.
- Rogge, N; De Jaeeger, S. (2012) Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model, *Waste Management Journal*, **32**(10), 1968–1978.
- SCSP, Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Urbanos (2018), Coordenadoria Especial de Limpeza Urbana e Resíduos Sólidos, *Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza, 2013 a 2018*, Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF).
- SCSP, Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Urbanos (2019), Coordenadoria Especial de Limpeza Urbana e Resíduos Sólidos, *Relatório de Gestão Mensal de Resíduos Sólidos de Fortaleza*, Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF).
- Tone, K. A. (2001) Slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, *European journal of operational research*, Elsevier, **130**(3), 498–509.
- Yamada, Y., Matui, T., Sugiyama, M. (1994) New analysis of efficiency based on DEA, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **37**(2), 158–167.