

AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA COLETA SELETIVA: USANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

RESUMO

A geração excessiva de resíduos sólidos, revelada nos últimos anos, tornou-se um fator agravante para o desenvolvimento sustentável em todo o planeta, o que motivou a agenda 21 a preconizar o tratamento hierárquico para a gestão de resíduos, fundamentada na política dos 3 R'S, com objetivo de amenizar a problemática causada pelos mesmos. No Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, entende que a coleta seletiva seja uma das principais alternativas para a gestão sustentável dos resíduos sólidos. Porém, esta vem passando por diversas dificuldades no país, o que impossibilita a evolução dos programas implantados nos municípios. Assim, o objetivo deste artigo é demonstrar a evolução dos programas de coleta seletiva nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte, usando Análise Envoltória de Dados (DEA). Neste, foi possível identificar que os principais problemas que interferem na evolução dos programas estão relacionados ao uso excessivo dos insumos e a baixa produção dos programas.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduos Sólidos; Desenvolvimento Sustentável.

EVALUATION OF THE EVOLUTION OF THE SELECTIVE COLLECTION: USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

ABSTRACT

The excessive generation of solid waste, revealed in recent years, has become an aggravating factor for sustainable development around the world, what prompted the Agenda 21 to advocate the hierarchical treatment for waste management, based on the 3 R S policy, in order to alleviate the problems caused by them. In Brazil, the National Solid Waste Policy believes that the selective collection is one of the main alternatives to the sustainable management of solid waste. However, this has been going through various difficulties in the country, which prevents the evolution of the programs implemented in the municipalities. Thus, the aim of this article is to demonstrate the evolution of selective collection programs in the municipalities of the State of Rio Grande do Norte, using data envelopment analysis (DEA). It was possible to identify that the main problems which affect the progress of the programs are related to excessive use of inputs and low production of the programs.

KEYWORDS: Solid waste; Sustainable Development.

*Revista Ibero-Americana de
Ciências Ambientais, Aquidabã,
v.5, n.1, Dez 2013, Jan, Fev, Mar,
Abr, Mai 2014.*

ISSN 2179-6858

SECTION: Articles
**TOPIC: Saneamento e Tratamento
de Resíduos**



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2014.001.0017

Evaristo Moreira Freire

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7061081298536686>
evaristo@domusfarma.com.br

Elís Regina Costa de Moraes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1621529280559168>
elisregina@ufersa.edu.br

Received: 28/05/2013

Approved: 15/12/2014

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Referencing this:

FREIRE, E. M.; MORAIS, E. R. C.. Avaliação da evolução da coleta seletiva: usando análise envoltória de dados (DEA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.5, n.1, p.242-249, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2014.001.0017>

INTRODUÇÃO

A produção excessiva de resíduos sólidos, revelada no final do século XX, tem se configurado como um dos maiores problemas para a gestão pública, pois se de um lado, em vários locais do mundo, já faltam espaço para dispor os resíduos, do outro, os municípios enfrentam dificuldades técnicas e administrativas para realizar uma gestão eficiente dos mesmos, o que torna a problemática gerada pelos resíduos sólidos um grande desafio. Assim, é possível afirmar que um dos grandes desafios ambientais das cidades contemporâneas é dar um tratamento adequado a geração excessiva de resíduos sólidos, tais como papel, papelão, embalagens, os restos orgânicos, entre outros, visto que, o acelerado processo de urbanização e a alta concentração populacional nas cidades, assim como a produção desmesurada de resíduos, decorrente dos padrões insustentáveis de produção e consumo, transformaram os resíduos sólidos em um fator agravante do desenvolvimento sustentável.

Segundo a agenda 21, o consumo não sustentável e o aumento na quantidade e variedade dos resíduos sólidos, observado na década de 1990, já apresentava uma tendência de aumento considerável na quantidade de resíduos produzida e que esta produção poderia aumentar em até 5 vezes em aproximadamente 30 anos, o que poderia comprometer o conceito de desenvolvimento sustentável, publicado no relatório de Brundtland. Assim, a agenda 21, fundamentada na política dos 3 R'S, sugere o tratamento hierárquico para os resíduos sólidos: a redução ao mínimo, a reutilização ao máximo e a reciclagem, ou seja, a política dos 3R'S como uma forma de contribuir com a gestão dos resíduos sólidos (GRS) e o desenvolvimento sustentável (CNUMAD, 1996).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada em 2010, considera a importância da implantação da coleta seletiva com a participação de pessoas de baixa renda, como um meio propício para contribuir com a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e determina que esta seja incluída como uma estratégia mínima no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS), entre outras, a fim de reduzir a quantidade de rejeitos destinados para disposição final, como também contribuir com as dimensões econômica, social e ambiental.

Segundo ABRELPE (2010) dos 5.565 municípios brasileiros, 3.205 (57,6%) apresentavam programas de coleta seletiva. No entanto, apesar de ser expressiva a quantidade de municípios que indicam a existência de coleta seletiva, em muitos casos, tais 'atividades resumem-se na disponibilização de pontos de entrega voluntária à população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços'. Para o CEMPRE (2010), esta realidade é bem diferente, visto que, este aponta, em pesquisa realizada em 2010, que apenas 443 municípios brasileiros têm programas de coleta seletiva em atividade, ou seja, 8 % dos municípios e em consequência disso apenas cerca de 22 milhões de brasileiros têm acesso

a programas municipais de coleta seletiva, o que corresponde, apenas, a 12 % da população brasileira.

Explica Arcila (2008), que a realidade nos municípios do Nordeste brasileiro e no Rio Grande do Norte é bem diferente dos municípios do Brasil, pois segundo a autora, em 2008, apenas 27 dos municípios do Nordeste e dois do Rio Grande do Norte possuíam coleta seletiva. Já a pesquisa nacional de saneamento básico (IBGE, 2010) demonstra uma evolução da coleta seletiva no Estado do Rio Grande do Norte e indica 12 dos 167 municípios com programas em atividade, ou seja, um percentual de 7,2 %, sendo que em alguns destes municípios as atividades se encontram em fase de iniciação, mesmo assim, o Estado fica abaixo da média nacional que é de 8 %. No entanto, estas pesquisas não analisam a eficiência relativa dos programas, assim, não conseguem identificar quais problemas impedem a evolução do sistema em âmbito local. Dessa forma o objetivo deste artigo é demonstrar a evolução temporal dos programas de coleta seletiva nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte, usando Análise Envoltória de Dados (DEA).

METODOLOGIA

O Estado do Rio Grande do Norte localiza-se na região nordeste do país, possui uma população de 3.168.027 habitantes com área territorial de 52.810,699 km² e um total de 167 municípios, desses apenas oito municípios apresentaram dados para análise, que são: Areia Branca (AB), Mossoró (MO), Governador Dix-sept Rosado (GR), Taboleiro Grande (TG), Lucrécia (LC), Macau (MC), Natal (NA) e Arez (AR). O município de Taboleiro Grande, ainda não tem controle da pesagem mensal dos resíduos, impossibilitando uma definição de média mensal. Assim, para este estudo usou-se um número aproximado que equivale a menor média produzida pelas outras unidades.

Para coleta de dados foram elaborados questionários, fundamentados em 6 indicadores de referência da coleta seletiva, propostos por BRINGHENTI (2004), que são: 1) Cobertura de atendimento do programa (hab); 2) Índice de Recuperação de Materiais Recicláveis (%); 3) Quantidade mensal coletada seletivamente (t/mês); 4) Custo de triagem (R\$/t); 5) Quantidade de itens de materiais recicláveis comercializados (un); e, 6) Custo total do programa (R\$). Os questionários foram respondidos pelos responsáveis pela gestão de resíduos dos municípios selecionados e nos casos dos municípios que mantêm associações e/ou cooperativas, buscou-se informações complementares, junto aos seus respectivos representantes. Os dados foram coletados no período de março a novembro de 2012.

Foram coletados dados referentes à produção mensal de 2008, período em que teve início a maioria dos programas de coleta seletiva no Estado, considerado primeiro período e os dados mensais do início de 2012, considerado segundo período. Os municípios foram analisados como unidades diferentes em cada período, porém os municípios de Lucrécia e Taboleiro Grande foram considerados nulos para esta análise por não apresentar dados em 2008, o que possibilitou um

conjunto de 12 programas para análise. Nesta análise, considerou-se os municípios com população de até 15.000 habitantes, como sendo de pequeno porte e de maior porte aquelas com mais de 15.000 habitantes.

Após a análise dos questionários, foi possível identificar apenas três variáveis consistentes entre os municípios pesquisados, que são: número de catadores envolvidos na coleta seletiva (CA), Veículos Metros Cúbicos destinados ao transporte dos materiais (Vm^3) e Resíduos Coletados em quilograma/mês (RC).

Assim, percebeu-se que o sistema para analisar a evolução dos programas de coleta seletiva no Estado em análise era composto por três variáveis, sendo dois insumos (CA- Vm^3) e um produto (RC). As variáveis foram estudadas por meio da Análise envoltória de dados (DEA), que foi utilizada para medir a eficiência relativa de unidades organizacionais, designadas por DMUs (*Decision Making Unit*), a partir da capacidade de transformação de *inputs* (insumos) em *outputs* (produtos) que cada DMU apresenta. Neste trabalho, as DMUs correspondem aos programas de coleta seletiva mantidos pelos municípios.

Entre as alternativas e modelos da técnica DEA, destacam-se os dois modelos clássicos da ferramenta, o modelo CCR conhecido como constant returns to scale (CRS) e o BCC (Banker-Charnes-Cooper), também chamado de VRS (variable returns to scale). Para essa pesquisa, utilizou-se o modelo BCC com orientação para *inputs*, que foi justificado pelo fato dos municípios apresentarem características muito diferentes e retornos variáveis de escala. Para analisar os dados, optou-se pelo SIADV₃ – SISTEMA INTEGRADO DE APOIO À DECISÃO (MEZA et al, 2003).

A eficiência que cada programa assume, em comparação ao grupo, compreende uma posição de valores entre 0 e 1, ou seja, a eficiência 1 que a técnica DEA identifica em uma unidade, significa que o programa está produzindo de forma eficiente, enquanto que os valores identificados abaixo de 1 para alguns programas, significa que existe alguma falha no processo produtivo e que estes devem buscar maior adequação na produção. Assim, considera-se que os programas eficientes são apenas aquelas que atingiram a classificação 1.

A análise da evolução temporal permite identificar como alguns programas ineficientes superaram as dificuldades em busca da eficiência. A sugestão de metas para os programas ineficientes visa maximizar a produção e minimizar o uso dos insumos. No entanto, a sugestão de uma única meta pode não ser interessante para o tomador de decisão, assim, buscou-se identificar na técnica, percentuais dos municípios eficientes que apresentam melhor relação entre os insumos e a produção para sugerir metas para os municípios que necessitam implementar melhorias. De acordo com Simões e Marque (2009, p.290), após a definição das unidades eficientes, “a técnica DEA possibilita identificar *peers (best practices)* para cada operador, bem como os seus valores-alvo (*targets*) para os diferentes *inputs* e *outputs*”.

RESULTADOS

Análise da evolução temporal

Dentre os municípios avaliados, observou-se que 50 % dos programas de coleta seletiva são ineficientes. Percebeu-se ainda, que a maior parte das ineficiências aparece no período de 2008, ou seja, no início da implantação dos programas e que os motivos que levaram os programas a ineficiência foram o excesso de uso dos insumos CA e Vm³ e a baixa produção de RC, quando comparadas com os programas que apresentam eficiência, necessitando assim, de uma melhor adequação entre os investimentos e a produção (Tabela 2).

Observa-se situação semelhante nos estudos de Simões e Marque (2009), que utilizaram a ferramenta DEA para avaliarem o desempenho dos serviços dos resíduos sólidos em Portugal e concluíram que os níveis de ineficiência dos operadores portugueses para o ano de 2005 foram relativamente significativos, caso as entidades operassem de modo eficiente ocorreria uma redução dos custos superior a 100 milhões de euros.

Tabela 2: Investimentos e produção dos programas nos dois períodos.

Municípios	Insumo 1 (CA)	Insumo 2 (Vm ³)	Produtos (RC)	Eficiência %	Situação
Areia Branca	10	45	3.000	0,30	Ineficiente
Arez	3	9	3.000	1,00	Eficiente
G. D. Rosado	6	9	6.500	0,70	Ineficiente
Macau	20	12	7.170	0,43	Ineficiente
Mossoró	112	24	25.000	0,43	Ineficiente
Natal	350	192	240.000	0,62	Ineficiente
			-----2012-----		
Areia Branca	20	12	30.000	1,00	Eficiente
Arez	3	9	6.000	1,00	Eficiente
G. D. Rosado	3	6	3.000	1,00	Eficiente
Lucrecia	5	24	3.000	0,60	Ineficiente
Macau	25	12	10.755	0,52	Ineficiente
Mossoró	56	72	166.000	1,00	Eficiente
Natal	200	156	298.000	1,00	Eficiente
T. Grande	4	3	3.000	1,00	Eficiente

Com relação à evolução temporal dos municípios, percebeu-se que existiu uma adequação da maioria dos programas ineficientes em busca da eficiência, visto que, em 2008, dos seis municípios avaliados, apenas Arez foi considerado eficiente (Tabela 3).

Tabela 3: Análise da evolução temporal dos programas nos municípios.

Municípios	Período	
	2008	2012
Areia Branca	0,30	1,00
Arez	1,00	1,00
G. Dix-sept Rosado	0,70	1,00
Macau	0,43	0,52
Mossoró	0,43	1,00
Natal	0,62	1,00

Macau foi o único município que começou o programa de forma ineficiente e permanece ineficiente, apresentando pouca evolução com a experiência (Tabela 3), visto que, desde o início o programa apresenta excesso no uso dos insumos e com baixa produtividade.

Areia Branca, que apresentava o menor índice de eficiência em 2008 (30 %), saiu da condição de ineficiente para eficiente (Tabela 3), visto que conseguiu superar algumas dificuldades apresentadas na primeira fase, ou seja, em 2008 este município apresentava excesso no uso do insumo Vm^3 ($45m^3$) com baixa produção de RC (3000 kg/mês), enquanto que em 2012 a utilização do insumo Vm^3 caiu para apenas ($12m^3$) e a sua produção aumentou para (30000 kg/mês) de RC. Este município também fez ajuste no insumo CA, saiu de 10 CA em 2008 para 20 CA em 2012 (Tabela 2).

Arez que tinha uma situação de fraca eficiência por apresentar baixa produtividade em 2008 galgou eficiência técnica em 2012. Visto que passou a produzir o dobro do que produzia em 2008 (Tabela 2). Arez foi o único programa que demonstrou ser eficiente nos dois períodos analisados (Tabela 3). Governador Dix-sept Rosado passou por muitas mudanças para se adequar, onde observou-se reduções, tanto nos insumos, quanto na produção, porém saiu da condição de ineficiente em 2008 para eficiência fraca em 2012 (Tabela 3).

Mossoró, no início de suas atividades, apresentava excessos no uso do insumo CA (112) e uma deficiência em Vm^3 ($24 m^3$), o que refletia na sua produção que era apenas de (25000 kg/mês) de RC. No entanto, este programa passou por adequações, e em 2012, o uso do insumo CA caiu para apenas (56) e Vm^3 aumentou para ($72 m^3$), com estas adequações este programa passou a produzir (166000 kg/mês) de RC, ou seja, teve um aumento de mais de seis vezes na sua produção (Tabela 2). Assim, este programa saiu da condição de ineficiente em 2008 e evoluiu para eficiente em 2012 (Tabela 3).

Finalmente, Natal era ineficiente em 2008 por apresentar uso excessivo dos insumos CA (350) e Vm^3 ($192 m^3$), com baixa produtividade, na medida em que produzia apenas (240000 kg/mês) de RC. Percebe-se neste caso, que o programa buscou maior adequação dos insumos, passando a utilizar apenas (200) CA e ($156 m^3$) de Vm^3 . Esta adequação ainda permitiu um pequeno aumento na produção de RC que passou para (298000 kg/mês) RC em 2012 (Tabela 2). Assim, este programa evoluiu da condição de ineficiente para eficiente em 2012 (Tabela 3).

A eficiência para companhias aéreas brasileiras, onde foram considerados os dados das companhias aéreas para os anos de 1998, 1999 e 2000, assim, os autores consideram uma mesma companhia em anos diferentes como uma unidade diferente. Segundo Gomes et al. (2003, p.329), “essa abordagem justifica-se por possibilitar a análise da evolução temporal de cada companhia”, o que permitiu verificar como cada companhia superou suas dificuldades, visto que a tecnologia permaneceu a mesma ao longo do período em análise. No estudo dos referidos autores, observou-se que algumas companhias repetiam-se como sugestão de metas, o que demonstrava a consistência na evolução temporal das mesmas. Situação semelhante foi observada nesta pesquisa, tanto no que se refere à evolução temporal (tabela 3), como nas

contribuições de metas, nas quais muitos programas se repetiram como sugestão de metas (Quadros 1).

Metas para os Programas Ineficientes

A aplicação do modelo DEA-BCC revelou uma relação de metas para os programas ineficientes. Os percentuais representam as contribuições dos programas eficientes na composição de novas metas para os programas que necessitam implementar melhorias (Quadro 1).

Quadro 1: Percentual de contribuição dos programas eficientes na formação de metas para os ineficientes.

Programas Ineficientes	Contribuição
Areia Branca 2008	Areia Branca 2012=100%
Governador Dix-Sept Rosado 2008	Areia Branca 2012=44% Taboleiro Grande 2012=54%
Macau 2008	Areia Branca 2012=15% Taboleiro Grande 2012=84%
Macau 2012	Areia Branca 2012=29% Taboleiro Grande 2012=70%
Mossoró 2008	Areia Branca 2012=81% Taboleiro Grande 2012=19%
Natal 2008	Mossoró 2012=44% Natal 2012=56%

Assim, identificou-se que Areia Branca 2008 tem como principal meta Areia Branca 2012 (Quadro 1), o que se confirma que houve uma adequação do programa em direção a sua meta, visto que o município galgou a eficiência técnica em 2012 (Tabela 3). Governador Dix-sept Rosado 2008 tem como meta Areia Branca 2012 e Taboleiro Grande 2012, significando que o tomador de decisão tem duas opções para adequar este programa.

Macau 2008 e Macau 2012, por apresentarem excesso no uso dos insumos e baixa produtividade, têm como principal meta Taboleiro Grande 2012 que apresenta os menores investimentos, indicando a necessidade de redução destes. No entanto, a técnica também sugere Areia Branca 2012 como meta, visto que as cidades de Macau e Areia Branca apresentam semelhança, não só em população, mas também em investimentos, ficando a sugestão de uma adequação apenas na produção, pois Areia Branca 2012 produz quase três vezes mais que Macau 2012 (Tabela 3).

O mesmo ocorreu com Mossoró 2008, que apresentava excesso em investimentos e baixa produtividade e também tinha como meta tanto Areia Branca 2012, como Taboleiro Grande 2012, o que indica que houve adequação em direção aos seus alvos, especialmente Areia Branca 2012, visto que o programa saiu da condição de ineficiente para eficiência técnica em 2012 (tabela 3).

Para Natal 2008, observa-se que este programa tem como principal meta Natal 2012, o que indica que houve uma adequação do programa em direção a sua meta principal, visto que o município saiu da condição de ineficiente para eficiência técnica em 2012 (Tabela 3).

Apesar da ferramenta DEA ter sido utilizada até o presente momento, apenas discretamente para avaliar a eficiência relativa da GRS no Brasil e não se ter conhecimento da

utilização da mesma na avaliação coleta seletiva, Souza et al. (2011) utilizaram a técnica para comparar os sistemas de coleta de resíduos sólidos nas cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes e perceberam que o modelo clássico, com orientação para insumos, apresentou uma grande quantidade de unidades eficientes e que duas cidades (Londrina e Sorocaba) se destacaram na contribuição de metas para as demais cidades. Situação semelhante ocorreu neste estudo, visto que o número de programas considerados eficientes foi 50 % e dois programas (Areia Branca e Taboleiro Grande) se destacam na contribuição de metas para os programas ineficientes (Quadros 1).

CONCLUSÕES

50 % dos programas analisados apresentam ineficiência; As metas foram sugeridas por programas do período de 2012, o que sugere uma adequação na relação insumos e produção; Na análise da evolução temporal foi possível identificar que os municípios, normalmente, iniciaram suas atividades de forma ineficiente e com o passar do tempo, percebe-se que há uma evolução em busca da eficiência técnica.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. **ABRELPE**, 2010.
- ARCILA, R. I. A. **Panorama dos resíduos sólidos urbanos no municípios de pequenos porte do Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- BRINGHENTI, J. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Universidade de São Paulo, 2004.
- BRASIL. **Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD)**. Agenda 21. Brasília: Senado Federal/SSET, 1996.
- MELLO, J. C. C. B.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. L.. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos *benchmarks* para companhias aéreas brasileira. **Pesquisa Operacional**, v.23, n.2, p.325-345, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: PNSB 2008. Brasília: IBGE, 2010.
- MEZA, L. A.; NETO, L. B.; MELLO, J. C. C. B. S.. Sistema integrado de apoio à decisão: uma implementação computacional de modelos de Análise de Envoltória de Dados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA, 6. **Anais**. Rio de Janeiro: 2003.
- SIMÕES, P.; MARQUES, R. C.. Avaliação do desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.14, n.2, p.285-294, 2009.
- SOUZA, R. G.; LINS, M. P. E.; VALLE, R. A. B.. Comparação de sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil utilizando Data Envelopment Analysis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. 43. **Anais**. Ubatuba: 2011.