

ESTIMATIVA DE COMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES COM RNA

Valder Adriano Gomes de Matos Rocha¹; John Kenedy Araújo² & Emerson Ribeiro Lessa³

RESUMO

A composição do lixo se faz necessária para a elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares, que entre outras abordagens, contempla o dimensionamento de frota de veículos, coleta convencional, coleta seletiva, reciclagem e disposição final (tratamento). Portanto, para conhecermos o lixo de uma localidade é necessário realizar um estudo de *caracterização* física. Independente da metodologia adotada, tais atividades se mostram muito dispendiosas e oneram os cofres públicos.

Então, propomos uma metodologia de estimativa / previsão da composição do lixo a partir de dados socioeconômicos, usando as *Redes Neurais Artificiais* –RNA, tendo como estudo de caso a cidade de Fortaleza – CE, a fim de se economizar no estudo de caracterização física dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Composição gravimétrica, Redes Neurais Artificiais (RNA), Resíduos Sólidos Domiciliares.

ESTIMATES OF HOUSEHOLD SOLID WASTE COMPOSITION WITH ANN

ABSTRACT

The composition of the waste is necessary for the preparation of a Plan of Residential Solid Waste Management, which among other approaches, includes the design of vehicles, conventional collection, selective collection, recycling and final disposal (treatment).

Therefore, to know the trash from one location is required to conduct a study of physical characterization. Regardless of methodology, these activities proved very costly and burden the public coffers.

Then, we propose a methodology for estimating / predicting the composition of the garbage from socioeconomic data using Artificial Neural Networks-ANN, taking as case study the city of Fortaleza - CE, in order to gain a greater economy for characterizing physical waste.

KEYWORDS: Gravimetric Composition, Artificial Neural Network (ANN), Solid Waste.

1) Engenheiro Civil, mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Endereço:** Av. Santos Dumont 6400 bl. C apto 1302. Bairro: Papicu. Fortaleza, CE - Brasil. CEP: 60190-800 - Brasil - Tel: (85) 9651.7475 / (85) 8744.9330 - e-mail: gomesdematos@hotmail.com ou gomesdematos@ufersa.edu.br

2) Engenheiro Civil, Doutor pela Universidade de São Paulo, USP – São Carlos. Professor Adjunto, Departamento de Enga. Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. **Endereço:** Universidade Federal do Ceará, centro de tecnologia, Departamento de Hidráulica. Campus do Pici, bloco 713 - 1º andar. CEP 60455-670 – Fortaleza, CE – Brasil – Caixa Postal: 6018, Tel: (85) 3366.9624 Fax: (85) 3366.9627- e-mail: kenedy@ufc.br

3) Engenheiro Civil, mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

INTRODUÇÃO

Ao implantar um sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, uma informação bem importante que se deve dispor é a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares. Em um mesmo município, a composição gravimétrica pode apresentar resultados bastante diferentes em determinadas áreas, em função de vários fatores diferentes, atuando isolados ou conjuntamente, como, distintos níveis sócio-econômicos, sazonalidade, tipo de ocupação dominante na área, etc.

O procedimento metodológico normal para se determinar as composições gravimétricas do lixo é bastante complexo, dispendioso e requer pessoal especializado, o que muitas vezes não existe em pequenas cidades. O que todas essas metodologias têm em comum é a necessidade de um grande aparato e de uma equipe operacional para coletar, pesar os resíduos, encaminhar para um local adequado, quarteir, proceder a triagem dos materiais, pesar cada material segregado, anotar os dados primários e sistematizar os resultados.

Nesse contexto, propomos um método de estimativa / previsão das composições gravimétricas dos resíduos, o motivo da proposta é a redução de custos com a aplicação desta metodologia. Desde que a estimativa seja aproximada dos percentuais reais de cada material, é vantajoso utilizar-se de métodos que permitam obter resultados os mais próximos, quanto possível, para a composição gravimétrica dos resíduos. Outra vantagem da estimativa é a redução considerável de tempo, já que para a estimativa só precisaríamos de dados socioeconômicos locais, além de outras poucas amostras para calibração, pois o método poderia estimar a composição gravimétrica a partir dos dados socioeconômicos dos setores censitários, bairros ou regiões de uma cidade usando a ferramenta conhecida como Redes Neurais Artificiais - RNA.

METODOLOGIA

O problema

A caracterização, como dito anteriormente, é um procedimento oneroso e trabalhoso, no qual se deve dispor uma equipe essencialmente capacitada, além de um coordenador para planejamento e execução das operações, podendo ser um engenheiro sanitário ou civil. Via de regra, o planejamento que deverá ser feito tem que levar em consideração o período de execução da caracterização, pois o período chuvoso poderá alterar significativamente as características dos resíduos, períodos festivos e comemorativos também devem ser evitados, pois podem alterar o valor dos parâmetros medidos, a não ser que o propósito da caracterização seja exatamente este, conhecer as características nestes eventos. Cita-se ainda a falta de dotação orçamentária para esse fim específico. Entretanto, muitas vezes, a necessidade da caracterização ocorre em regime de emergência quando os recursos para a caracterização dos resíduos não está disponível.

Diante dos problemas citados acima, pode-se concluir que um método que possa estimar, com um bom grau de precisão, a composição gravimétrica dos resíduos vem atenuar os problemas elencados acima, desde que usado conjuntamente ao estudo da composição gravimétrica (real) do resíduo domiciliar local, ou seja, a estimativa da composição pode substituir alguns dados auferidos em campo.

Identificação e localização da pesquisa

LESSA (2008) realizou o estudo da composição gravimétrica (real) do resíduo domiciliar em Fortaleza. Em sua pesquisa foram contemplados um total de quarenta e nove bairros, inclusive bairros com predominância de estabelecimentos comerciais. Os dados deste estudo foram utilizados nesta pesquisa para o *treinamento e validação* da RNA.

Dados fornecidos pela empresa prestadora do serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos no município – ECOFOR AMBIENTAL – indicam que em 2005 foram coletadas, em média, 1.600 toneladas por dia de resíduos sólidos domiciliares.

Os resultados obtidos por LESSA (2008) com relação à composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares para os bairros de Fortaleza serão utilizados neste trabalho. Tais resultados são organizados, de forma que cada bairro apresenta sua composição gravimétrica e seu estrato social de acordo com o software STATCART do IBGE, que contém os dados socioeconômicos de todos os setores censitários que compõem os bairros de um município.

Parâmetros econômicos utilizados

No estudo metodológico de LESSA para a caracterização dos resíduos de Fortaleza foi adotado o conceito de estrato social e não o de classe social. Muitos são os indicadores que poderiam ter sido utilizados nesta pesquisa, entretanto, nesta pesquisa, utilizou-se a renda como parâmetro para avaliar a composição dos resíduos.

Nesta pesquisa, foi utilizada a mesma delimitação que LESSA (2008) utilizou em seu trabalho, a delimitação por bairros. Assim, a construção de indicadores por bairros não é o recorte estabelecido pelo IBGE, foi desenvolvida da aglomeração de setores censitários.

O *Software* ESTATCART do IBGE foi utilizado para produzir os indicadores socioeconômicos a partir do mapa da cidade de Fortaleza com indicação de bairros. Com esse software foi possível produzir indicadores que expressam, o número de moradores em determinados bairros, número de domicílios, renda por domicílio, etc.

Foi estabelecida a estratificação por renda da população residente / usuária predominante de cada trecho pesquisado, bairros. Em seu estudo, para o estabelecimento de regiões socioeconômicas homogêneas, LESSA estabeleceu cinco estratos sociais mostrados na tabela 1.

TABELA 1: Estratos Sociais

Estrato	Renda	Estratificação
A	Mais de 20 SM	Alta
B	12 a 20 SM	Média alta
C	6 a 12 SM	Média
D	2 a 6 SM	Média baixa
E	Menos de 2 SM	Baixa

É muito importante ressaltar que para a apuração dos rendimentos por domicílio particular permanente, considerou-se o valor do salário mínimo que vigorava no mês de referência dos dados do IBGE utilizados, que foi maio de 2000, quando o salário mínimo era de R\$ 151,00 (Cento e cinquenta e um reais). A população se distribui pelos estratos sociais segundo os percentuais da tabela 2 a seguir:

TABELA 2: Distribuição da População por Estratos Sociais

Estratos Sociais	Pop. Residente	%
A	100.836	4,7
B	74.302	3,5

C	272.559	12,7
D	1.578.640	73,7
E	115.065	5,4
Total	2.141.402	100

A estratificação econômica é um critério bastante usado no Brasil, já que estabelece uma medida considerada mais precisa das diferenças de renda. Alguns pesquisadores da área sugerem que devemos adicionar um critério de *status* ao critério de indicador de renda para que possamos relacionar padrões de renda com padrões de consumo.

Pode-se perceber que todos os critérios que visam estratificar a sociedade brasileira apresentam limitações metodológicas, mas os estudos realizados sobre a realidade brasileira mostram que o indicador renda é uma boa variável, porque é fortemente relacionada a todas as demais variáveis.

Análise da base territorial de dados

Foram identificados três parâmetros para o planejamento do estudo: população residente; domicílio particular permanente e rendimento médio mensal por domicílio particular permanente.

Os dados do IBGE foram trabalhados por regionais indicando-se média do número de pessoas por domicílio particular permanente por bairro; o valor nominal médio mensal, em salário mínimo, das pessoas responsáveis pelo domicílio particular permanente e a estratificação socioeconômica (A, B, C, D e E) pelo rendimento dessas pessoas. Os dados foram condensados por LESSA (2008) em tabelas. Nesta pesquisa não inserimos tais tabelas, uma vez que entendemos que o mais importante são os resultados finais de composição gravimétrica do lixo para que, a partir deles, possamos traçar a estimativa. O mapa esquemático elaborado por LESSA, onde se identificam os bairros da cidade e seus respectivos estratos socioeconômicos está ilustrado na figura 1.

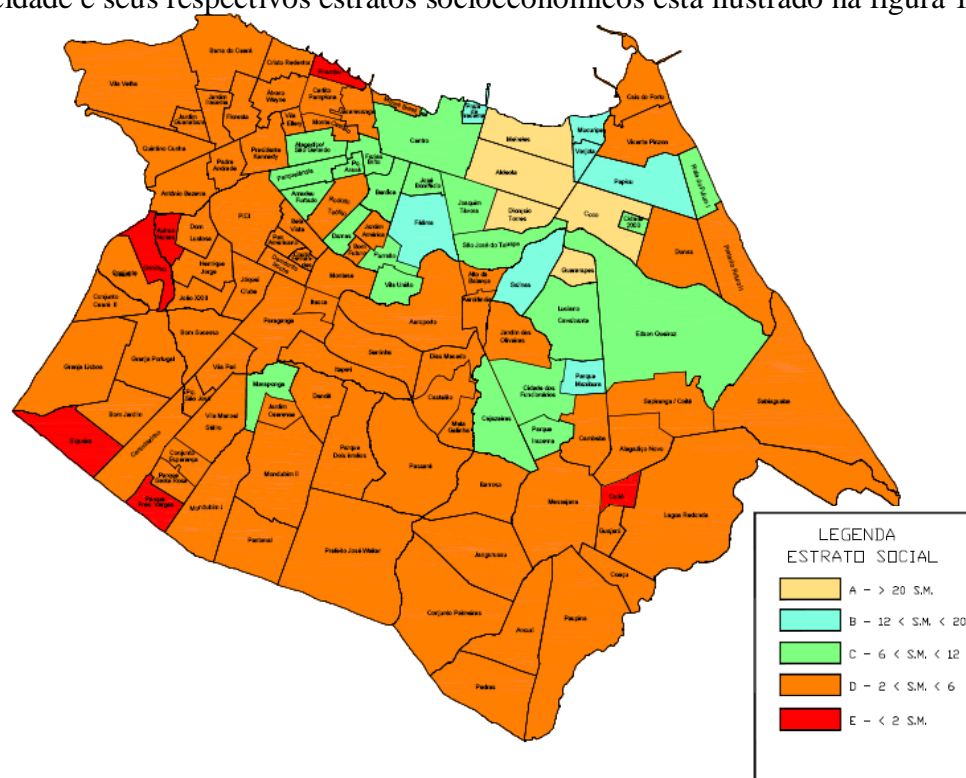


FIGURA 1: Mapa por estratos sociais de Fortaleza – LESSA (2008)

Redes neurais artificiais

As RNA foram concebidas com o intuito de se obter um mecanismo artificial capaz de simular o sistema de aprendizado do cérebro. Da mesma forma que uma rede neural biológica, uma RNA é composta de um massivo conjunto de unidades paralelas de processamento, porém em uma escala bem menor.

Estas unidades, chamadas de neurônios, em ambos os casos, são responsáveis por armazenar e utilizar as informações aprendidas; contudo, os neurônios artificiais possuem estruturas muito mais simples que os biológicos. Em analogia ao neurônio biológico, no neurônio artificial, as ligações que conectam um neurônio a outro, assim como o aprendizado, ocorrerão através de pesos atribuídos a estas ligações. A estes pesos dá-se o nome de *pesos sinápticos*.

Funções de ativação

A função de ativação, ou função de transferência, define a forma como será repassada a informação entre neurônios artificiais. Dá-se pela adição do produto dos sinais de entrada pelos pesos sinápticos respectivos, mais um estímulo externo (*bias*), para produzir um resultado que servirá como entrada para o neurônio subsequente.

Tipos de redes neurais artificiais

As RNA's são classificadas de acordo com sua estrutura. O conjunto dessas características, chamado *arquitetura* da RNA, pode variar de acordo com o número de camadas, a quantidade de neurônios em cada camada e a função de ativação dos neurônios. Quanto à sua arquitetura, as principais classificações para as RNA's são:

- i) Rede alimentada adiante de uma camada. A camada de entrada é formada por nós que alimentam diretamente a única camada da rede.
- ii) Rede alimentada adiante de múltiplas camadas. São redes do tipo *Perceptron* de múltiplas camadas (em inglês *MultiLayer Perceptrons* – MLP), pois possuem uma ou mais camadas intermediárias.
- iii) Redes recorrentes. Também chamadas de RNA com memória. Possuem retroalimentação, possuindo, pelo menos, um circuito (*loop*) gerando recorrência (*feedback*).

No presente trabalho foram aplicadas redes do tipo MLP para solução do problema de calibração de modelos de simulação hidráulica.

Treinamento e validação da RNA

O treinamento de uma rede é realizado com o ajustamento dos pesos sinápticos de cada conexão. Estes pesos formam uma matriz que será a memória do que foi “aprendido” pela RNA. Quanto à forma com que é feito o ajuste dos pesos, os métodos de aprendizagem podem ser supervisionados, onde padrões de entradas e saídas são fornecidas; ou não supervisionado, onde apenas os padrões de entrada estão disponíveis. Para evitar problemas de estabilidade da RNA, recomenda-se a normalização dos dados de entrada. Esta normalização, no caso da variável de entrada ser contínua, é geralmente realizada para o intervalo $[-1,1]$ ou $[0,1]$.

Aqui chamaremos de dados de entrada o conjunto de estratos sociais de todos os bairros de Fortaleza de acordo com a metodologia adotada por LESSA (2008) e chamaremos de dados de saída o conjunto das composições gravimétricas relativas a esses bairros.

Para realização dos cálculos de treinamento e validação das RNAs, adotou-se o *software* comercial desenvolvido pela empresa Vesta Systems, QNet v2000, em versão demonstrativa. O modelo de RNA adotado é o *Multi-Layer Perceptrons* (MLP).

A RNA passa inicialmente por uma etapa denominada *treinamento* onde cerca de oitenta por cento dos dados de entrada e dados de saída são lançados simultaneamente no programa QNET e a rede vai ser *treinada*, ou seja, vai aprender a correlacionar dados entrada com dados de saída.

Após treinada, a rede será *validada*, nesta etapa os vinte por cento restantes dos dados serão utilizados. Então é calculado o erro absoluto, fazendo a diferença entre as porcentagens reais de material e as porcentagens estimadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizados aleatoriamente um total de 36 bairros para o treinamento da rede. Após isso, 10 bairros foram utilizados para a validação, ou seja, para esses 10 bairros, fornecemos apenas os estratos sociais de cada bairro e a rede treinada retornou as composições gravimétricas estimadas para cada um desses bairros.

Feito isso, estabelecemos uma comparação entre as composições gravimétricas determinadas e as estimadas pelo método para cada bairro. O resultado segue apresentado na tabela 3.

TABELA 3: Resultados para as Composições Gravimétricas Estimadas pelas RNA's.

		SAÍDAS REAIS E ESTIMADAS											
		MAT. ORGÂNICA		PLÁSTICO		PAPEL		VIDRO		METAL		OUTROS	
		Real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.
2		40.00	35.62	10.60	14.62	10.80	7.85	1.20	1.07	4.10	1.97	33.30	42.80
3		47.40	37.82	17.50	14.44	10.60	8.74	2.80	1.33	3.20	2.09	18.50	39.24
4		30.60	37.82	9.10	14.44	4.80	8.74	3.10	1.33	1.10	2.09	51.30	39.24
6		37.30	37.82	16.60	14.44	12.20	8.74	3.50	1.33	5.90	2.09	24.50	39.24
7		26.70	37.82	19.80	14.44	10.50	8.74	1.60	1.33	2.00	2.09	39.40	39.24
8		37.80	37.82	16.50	14.44	5.30	8.74	1.20	1.33	1.70	2.09	37.50	39.24
9		41.40	37.82	15.70	14.44	11.30	8.74	1.90	1.33	4.30	2.09	25.40	39.24
11		51.20	41.36	17.60	14.15	6.20	10.19	2.30	1.80	2.70	2.28	20.00	33.39
12		54.00	41.36	7.50	14.15	6.80	10.19	0.80	1.80	1.50	2.28	29.40	33.39
13		42.80	47.63	16.90	13.59	15.00	12.76	2.80	2.76	2.00	2.68	20.50	23.45
MÉDIA		40.92	39.29	14.78	14.32	9.35	9.35	2.12	1.54	2.85	2.17	29.98	36.85
Diferença Percentual		1.63%		0.46%		0.00%		0.58%		0.68%		-6.87%	

A diferença percentual foi calculada da seguinte forma:

$$D.P. = \text{Somatório das Médias Reais} - \text{Somatório das Médias Estimadas}$$

O que significa que uma diferença percentual positiva indica que o material estimado foi SUBESTIMADO e uma diferença percentual negativa indica que o material estimado foi SUPERESTIMADO.

A diferença absoluta entre as composições estimadas e as composições reais se mostra satisfatória apresentando valores bem pequenos, valores esses que podem até variar na tomada de composição gravimétrica real em campo, dependendo da metodologia que se use, da época em que se faz a coleta de dados, da estação do ano, de eventos extraordinários como festas ou feiras não previstas ou outros fatores. Para a matéria orgânica, por exemplo, a diferença foi apenas de 1,63% do total, o que indica um resultado estimado bastante aproximado do real.

A figura 2 representa as médias das composições reais e das composições estimadas.

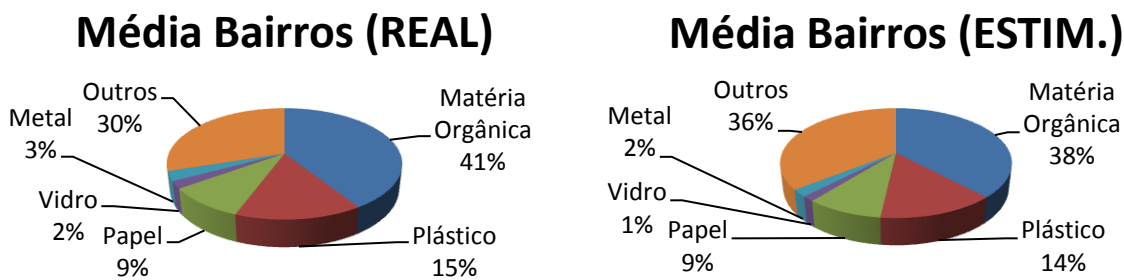


FIGURA 2: Média das Composições reais e média das composições estimadas

Observe que os resultados estimados estão extremamente próximos dos reais. Podemos estabelecer um paralelo entre as composições reais e as estimadas a partir de um gráfico de barras verticais, mostrado na figura 3.

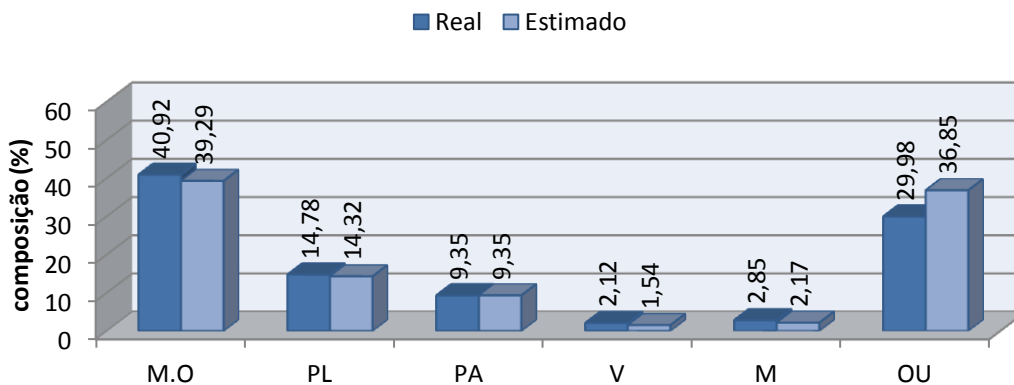


FIGURA 3: Comparativo entre as composições reais e as estimadas para cada material

Uma deficiência que pode ser apontada para o método diz respeito à soma total das composições estimadas. A soma total, obviamente, deveria resultar em 100%, entretanto, o método não “amarrar” essa soma, uma vez que a RNA detém-se apenas a estimar baseada em composições gravimétricas conhecidas. O que pode ser percebido é que os valores estimados de todos os materiais foram menores que os reais, ou seja, o método subestimou tais valores, com exceção do material OUTROS, para este material, o método superestimou as composições calculadas. Sabendo disso, o problema fica resolvido com a simples subtração, no material OUTROS, do percentual excedente de material. Isto significa que os 3,52% de material que sobra será subtraído dos 36,85% do percentual de OUTROS, resultando no valor 33,33% de OUTROS.

TABELA 4: Resultados para as Composições Gravimétricas Estimadas pelas RNA's e Corrigidas.

SAÍDAS REAIS E ESTIMADAS	

	MAT. ORGÂNICA		PLÁSTICO		PAPEL		VIDRO		METAL		OUTROS	
	Real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.	real	Estim.
MÉDIA	40.92	39.29	14.78	14.32	9.35	9.35	2.12	1.54	2.85	2.17	29.98	33.33
Diferença Percentual		1.63%		0.46%		0.00%		0.58%		0.68%		-3.35%

A subtração feita aproxima ainda mais o percentual estimado do percentual real de OUTROS.

Nesta calibração, a soma total dos percentuais ultrapassou os 100%, entretanto, pode ocorrer em qualquer outra calibração diferente desta, que a soma dos percentuais não atinja os 100%, nesse caso, pode-se usar algum tratamento estatístico nos resultados, ou ainda, adicionar o percentual restante naquele material que foi mais SUBESTIMADO.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada por LESSA (2008) para o município de Fortaleza apresenta resultados compatíveis com as médias de outros municípios brasileiros de mesmo porte, enquanto a metodologia utilizada neste trabalho apresenta resultados compatíveis com os resultados de LESSA.

Pode-se afirmar que este estudo atingiu seu objetivo de mostrar que é possível estimar com segurança as composições gravimétricas dos resíduos sólidos a partir de dados socioeconômicos a partir de uma gama menor de amostras a serem coletadas e de produzir um método viável economicamente para tal finalidade.

A caracterização dos resíduos sólidos domiciliares pela administração municipal é estratégica, pois permite planejar o sistema de coleta, tratamento e destinação final. Se esta caracterização puder ser feita a baixos custos, desonerará a administração municipal.

Recomendam-se, que se possa estimar a caracterização dos resíduos utilizando-se de mais dados socioeconômicos para reduzir ainda mais o erro, e que se utilize algum outro parâmetro, como, por exemplo, nível de escolaridade, a fim de calibrar como maior precisão o modelo.

BIBLIOGRAFIA

- DIAS *ET al.* **Problemas de escala e a relação área/indivíduo em análise espacial de dados censitários.** Informática pública, v.4, n.1, p.89-104, 2002.
- GROWE, G. A. **Comparing Algorithms and Clustering Data: Components of the Data Mining Process.** Dissertação de Mestrado. Grand Valley State University, Michigan, 1999.
- IBGE – Censo Demográfico de 2000: **Manual da base operacional das pesquisas populacionais.** Rio de Janeiro: IBGE/DGC, 2001d. CD-ROM.
- KRAUSS, Irving. **Stratification, Class and Conflit.** New York: The free press. 1976. P.13.
- LESSA, E. R. **Estudo metodológico de caracterização física de resíduos sólidos domiciliar e comercial para o município de Fortaleza - CE.** Fortaleza. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2008.
- VANNEMAN, Reeve & CANNON, L. W. **The American Perception of Class.** Philadelphia: Temple University Press, 1987. P.41.