

III-451 – TAXA DE GERAÇÃO *PER CAPITA* DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE DA MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO

Leonardo Vieira Soares⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CT/DECA).

Gilson Barbosa Athayde Júnior

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela University of Leeds – Reino Unido. Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CT/DECA).

Aldo Moura Xavier Dantas

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Antônio Cleide de Moraes

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Alvan Antas Cordeiro

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Av. Castelo Branco, s/n. Campus Universitário I. João Pessoa – PB. CEP: 58051-900. Tel: +55 (83) 32167355. E-mail: lvsoares@ct.ufpb.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou delinear modelos para estimativa da taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos (RSU), tanto em função da população urbana quanto da população total, para municípios com menos de 10 mil habitantes situados na mesorregião do sertão do estado da Paraíba. Para modelagem da taxa de geração *per capita*, utilizou-se como variáveis independentes o PIB *per capita* (como indicador direto do poder aquisitivo da população), o IDHM (como indicador indireto do poder aquisitivo da população), a população total do município (como indicador indireto do nível de desenvolvimento do município) e a população urbana (como indicador indireto do nível de desenvolvimento do município). A taxa de geração *per capita* de RSU em municípios de pequeno porte (população menor que 10 mil habitantes) no sertão paraibano variou entre 0,361 e 0,606 kg/hab.dia, respectivamente, referente à população urbana do município. Para a taxa de geração calculada em função da população total do município, estes valores foram de 0,158 e 0,390 kg/hab.dia, respectivamente. Foi possível se delinear um modelo para estimativa da taxa de geração *per capita* baseada na população total do município, tendo como variáveis independentes a população urbana, o PIB *per capita* e o IDHM.

PALAVRAS-CHAVE: Taxa de geração, resíduos sólidos urbanos, sertão paraibano.

INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010a), que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010 (BRASIL, 2010b), prevê, dentre outros aspectos, a elaboração do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos. Este mesmo decreto especifica o conteúdo mínimo do referido plano, no qual se inclui o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no município, contendo a origem, o volume e a massa, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas.

Os municípios de pequeno porte, em especial aqueles com recursos financeiros escassos, têm encontrado dificuldades na elaboração do referido plano, notadamente na execução das atividades de quantificação dos resíduos gerados, uma vez que poucos são aqueles que dispõem de balança para pesagem dos resíduos. Uma alternativa à quantificação dos resíduos municipais através de pesagens, é recorrer a taxas de geração

conhecidas para municípios semelhantes, do mesmo porte e da mesma região, ou ainda, recorrer a modelos matemáticos para a estimativa desta taxa.

Taxa de geração de RSU

A geração é a primeira e mais importante fase de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; DYSON & CHANG, 2005). A quantidade de resíduos gerada em um dado município é função primariamente do contingente populacional correspondente, mas pode ser afetada por outros fatores, tais como nível de educação, de renda e hábitos específicos da população (TENÓRIO & ESPINOSA, 2004; DANGI *et al.*, 2008). Ko & Poon (2009) encontraram uma correlação ($r^2 = 0,95$) positiva entre a massa de resíduos sólidos domiciliares e o produto interno bruto (PIB) em Hong Kong, mas salientaram, no entanto, que o padrão de correlação pode ser alterado por implementação de políticas de reciclagem.

O SNIS (SNSA, 2015) é um banco de dados mantido pelo Ministério das Cidades e atualizado anualmente com informação sobre serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos nos municípios brasileiros. Para os serviços resíduos sólidos esta série se inicia em 2002. Apesar de a base de dados do SNIS fornecer informações sobre as taxas de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), a variabilidade desta taxa é muito grande. Para a faixa populacional que abrange municípios com menos de 30 mil habitantes, por exemplo, e ainda, apenas para municípios que fazem uso rotineiro de balança para pesagem dos resíduos (critério indicativo de possível boa qualidade da informação), a taxa de geração *per capita* de RSU (I021: massa de resíduos sólidos urbanos relativa à população urbana) em municípios brasileiros integrantes da amostra em 2013 variou de 0,10 a 2,20 kg hab⁻¹ dia⁻¹, com indicador médio 0,74 kg hab⁻¹ dia⁻¹ (SNSA, 2015). Esta grande amplitude torna difícil a adoção de um valor representativo para um dado município que se enquadre nesta faixa.

Nos documentos “Diagnósticos do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos” do SNIS, cujo último ano de referência é 2013, faz-se menção a três indicadores referentes à taxa de geração de RSU: IN021, IN022, IN028 (SNSA, 2015).

- IN021: massa coletada de resíduos domiciliares e públicos *per capita* em relação à população urbana residente no município. A população urbana é estimada pelo SNIS com base na fração de população urbana do último CENSO do IBGE e na população total (nos casos de anos de ocorrência de CENSO) ou sua estimativa feita pelo IBGE (em casos de anos que não ocorreu CENSO) do município.
- IN022: massa resíduos domiciliares coletada *per capita* em relação à população atendida com serviço de coleta. A população atendida é fornecida pelo prestador de serviço (geralmente um órgão municipal) e pode ser uma informação imprecisa.
- IN028: massa de resíduos domiciliares e públicos coletada *per capita* em relação à população total (urbana e rural) atendida pelo serviço de coleta. A população total atendida pode ser imprecisa devido às dificuldades encontradas pelos informantes, muitas vezes relatada durante o processo de coleta de dados.

Em relação ao indicador IN021, vale lembrar mais uma vez que o mesmo não utiliza, em seu denominador, a população urbana atendida declarada pelo município, e sim, a população urbana residente estimada pelo SNIS. Esta aparente deficiência é justificada especialmente pela dificuldade dos municípios em estimar sua população atendida, levando-a a exageros na maioria dos casos e, em decorrência, a valores *per capita* mais baixos que os representados pelo IN021, sobretudo para os municípios de pequeno porte, situados na faixa 1, até 30 mil habitantes (SNSA, 2015).

Para o IBGE, como situação urbana consideram-se as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) ou às áreas urbanas isoladas (IBGE, 2015). Como o SNIS estima a população urbana do município a partir da fração de população urbana do último CENSO do IBGE, pode haver distorção da taxa de geração em função de a população urbana poder crescer em ritmo distinto do da população municipal. Outra

possível distorção no valor da taxa de geração é que não necessariamente existe coleta de resíduos em todas as vilas e áreas urbanas isoladas.

Uma alternativa para se contornar essas dificuldades relativas ao real valor da população urbana e/ou atendida, pode ser a utilização da população total do município, parâmetro que está sujeito a menos imprecisão. Apesar de a taxa de geração *per capita* calculada em função da população total do município não representar um valor real, tal taxa pode ser utilizada para fins de estimativa futura de resíduos gerados no município, desde que se utilize no tempo futuro também a população total.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou delinear modelos para estimativa da taxa de geração de RSU, tanto em função da população urbana quanto da população total, para municípios com menos de 10 mil habitantes situados na mesorregião do sertão do estado da Paraíba.

METODOLOGIA

Procedeu-se a determinação da taxa de geração *per capita* de RSU em cinco municípios de pequeno porte, todos localizados na mesorregião do sertão do estado da Paraíba. A Tabela 1 apresenta informações da quantificação dos resíduos nos cinco municípios em estudo, bem como informações como a população, PIB *per capita* e IDHM dos municípios. Os valores do PIB *per capita* e do IDHM se referem aos últimos disponíveis.

Tabela1: Características dos municípios estudados e da quantificação dos resíduos realizadas

Município	População total IBGE 2010 ¹ (hab.)	População total estimada para 2014 ² (hab.)	População urbana estimada para 2014 ² (hab.)	PIB <i>per capita</i> 2012 ¹ (R\$)	IDHM 2010 ¹	Percentual de caçambas pesadas em relação ao total semanal (%)	Data das pesagens
Aparecida	7676	8389	3976	5561,72	0,578	10,0	20 e 21/01/2014
Nazarezinho	7280	7742	3386	5210,80	0,562	12,5	22 e 23/01/2014
Marizópolis	6173	6395	5550	4973,33	0,608	10,0	09 e 10/06/2014
São Francisco	3364	3507	1421	5796,10	0,580	50,0	24 e 25/01/2014
São Domingos	2855	3031	1055	5443,45	0,548	33,3	17 e 18/12/2014

¹Fonte: IBGE (2014)

²Estimativa dos autores baseados em dados históricos de IBGE

Na quantificação dos resíduos, utilizou-se uma balança de 150 kg de capacidade e 0,1 kg de precisão. Os resíduos de cada caçamba foram pesados integralmente, não se fazendo o quarteamento.

Foram consideradas duas possibilidades para o cálculo da taxa de geração de RSU:

- TX1: massa de RSU relativa *per capita* à população urbana do município ($\text{kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)
- TX2: massa de RSU relativa à população total do município ($\text{kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

Para modelagem da taxa de geração, utilizou-se como variáveis independentes o PIB *per capita* (como indicador direto do poder aquisitivo da população), o IDHM (como indicador indireto do poder aquisitivo da população), a população total do município (como indicador indireto do nível de desenvolvimento do município) e a população urbana (como indicador indireto do nível de desenvolvimento do município).

RESULTADOS

A Tabela 2 mostra as taxas de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos encontradas neste estudo. Percebe-se que, para os municípios em questão, as taxas encontradas foram próximas ao limite inferior da faixa reportada na base de dados do SNIS – 2013 (IN022), que é de $0,10 \text{ kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, apresentando amplitude de $\text{kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ se considerada a população urbana do município (estimativa de população sujeita à maior

imprecisão) e de 0,158 a 0,390 kg hab⁻¹ dia⁻¹ se considerada a população total (estimativa de população sujeita a menor imprecisão) do município.

Tabela 2: Taxas de geração *per capita* de RSU para os municípios estudados

Município	TX1 (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)	TX2 (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)
Aparecida	0,606	0,287
Nazarezinho	0,361	0,158
Marizópolis	0,449	0,390
São Francisco	0,568	0,230
São Domingos	0,471	0,164

As figuras de 1 a 8 mostram como varia e taxa de geração *per capita* de RSU (TX1 e TX2) em função da população municipal, população urbana, PIB *per capita* e IDHM.

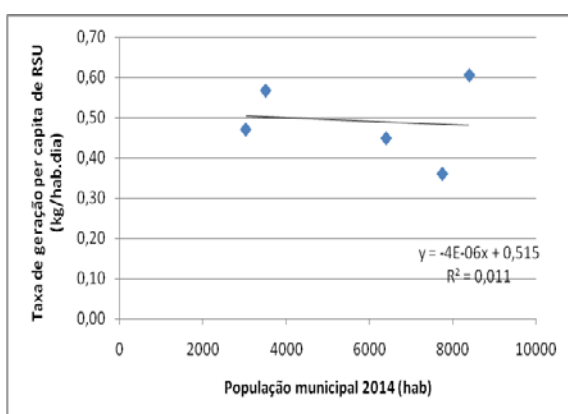


Figura 1: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX1) com a população total municipal

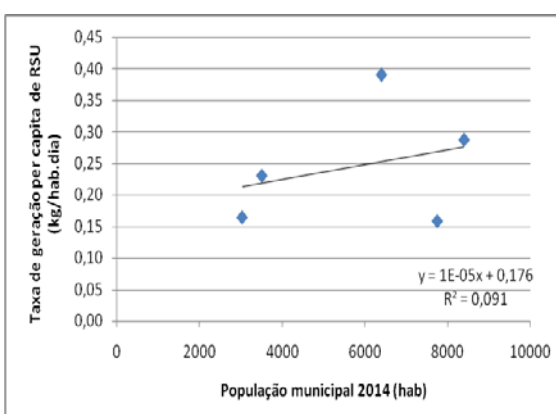


Figura 2: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX2) com a população total municipal

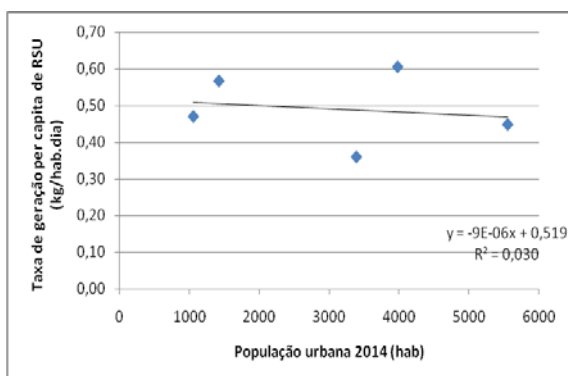


Figura 3: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX1) com a população urbana municipal

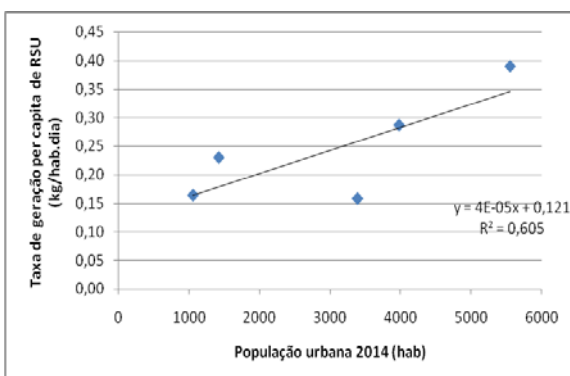


Figura 4: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX2) com a população urbana municipal

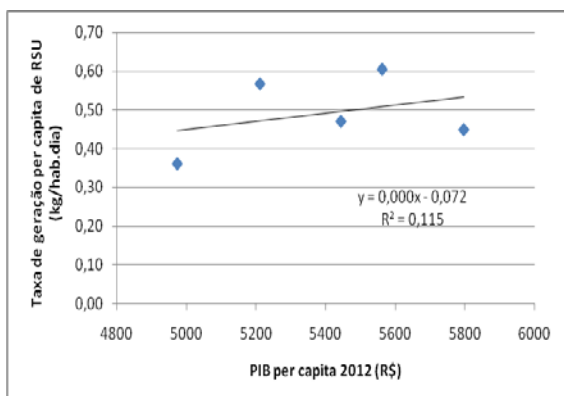


Figura 5: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX1) com o PIB *per capita*

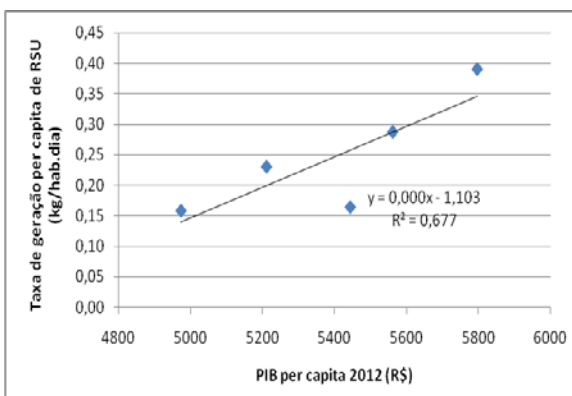


Figura 6: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX2) com o PIB *per capita*

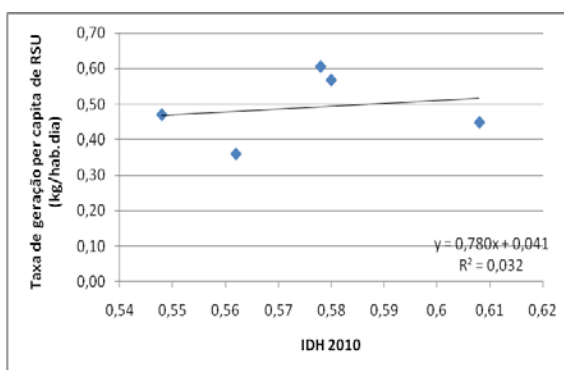


Figura 7: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX1) com o IDHM

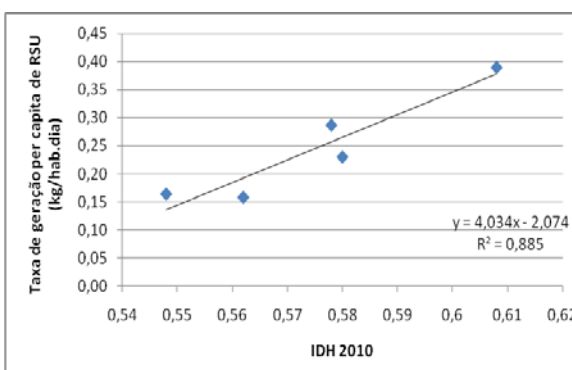


Figura 3: Variação da taxa de geração *per capita* de RSU (TX2) com o IDHM

A taxa de geração *per capita* calculada em função da população urbana (TX1) não esteve correlacionada às variáveis independentes utilizadas, resultado que pode estar relacionado à imprecisão no valor da população urbana.

Já a taxa de geração *per capita* calculada em função da população total (TX2) se apresentou correlacionada às variáveis população urbana, PIB *per capita* e IDHM.

Análise de regressão múltipla entre a TX2 e as variáveis independentes população urbana, PIB *per capita* e IDHM resultou na Equação 01.

$$TX2 = 0,00484PU + 0,1208PIB + 2,716IDHM - 1,983 \quad (r^2 = 0,996) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: TX2: taxa de geração *per capita* de RSU em função da população total do município (kg hab⁻¹ dia⁻¹)
PU: população urbana do município (mil habitantes)
PIB: produto interno bruto *per capita* do município (mil R\$)
IDHM: índice de desenvolvimento humano municipal

Observa-se o elevado valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 0,996$), que dá idéia da boa precisão do modelo. Este modelo pode ser utilizado para se estimar a taxa de geração e consequentemente a quantidade de RSU, desde que se utilize a população total do município, conforme Equação 02:

$$M = TX2 \times PT \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: M: massa de RSU (kg dia⁻¹)
TX2: taxa de geração *per capita* de RSU em função da população total do município (kg hab⁻¹ dia⁻¹)
PT: população total do município (habitantes)

CONCLUSÕES

A taxa de geração *per capita* de RSU em municípios de pequeno porte (população menor que 10 mil habitantes) na mesorregião do sertão paraibano varia entre 0,361 e 0,606 kg hab⁻¹ dia⁻¹, referente à população urbana do município. Para a taxa de geração calculada em função da população total do município, estes valores variam de 0,158 a 0,390 kg hab⁻¹ dia⁻¹.

Foi possível se delinear um modelo (Equação 01) para estimativa da taxa de geração *per capita* baseada na população total do município, tendo como variáveis independentes a população urbana (como indicativo indireto no nível de desenvolvimento do município), o PIB *per capita* (como indicativo direto do poder aquisitivo da população) e o IDHM (como indicativo indireto do poder aquisitivo da população).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília-DF. 2010a.
2. BRASIL. Decreto 7.404 de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília-DF. 2010b.
3. DANGI, M.B.; URYMOWICZ, M.A.; GEROW, K.G.; THAPA, R.B. Use of stratified cluster sampling for efficient estimation of solid waste generation at household level. *Waste Management & Research*, v. 26, p 493-499. 2008.
4. DYSON, B.; CHANG, N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modelling. *Waste Management*, v. 25, p 669-679. 2005.
5. KO, P.S.; POON, C.S. Domestic waste management and recovery in Hong Kong. *Waste management and recovery in Hong Kong. Journal of Material Cycles and Waste Management*. v.11, p 104-109. 2009.
6. SNSA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2013. Brasília-DF. MCIDADES/SNSA. 2015.
7. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. EUA: McGraw-Hill. 1993.
8. TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. Controle Ambiental de Resíduos In: Philippi Júnior, A.; Romero, M.A.; BRUNA, G.C. (Editors). Curso de Gestão Ambiental. Barueri, SP: Manole. 155-211. 2004.