

III-098 – RELAÇÃO ENTRE A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E INDICADORES ECONÔMICOS NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA-CE: UMA ANÁLISE DA SUA EVOLUÇÃO E PROJEÇÕES FUTURAS

Adson Paixão Franklin⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Maracanaú*.

Lissandro Martins da Silva⁽²⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Maracanaú*.

Francisco Humberto de Carvalho Junior.⁽³⁾

Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará.

RESUMO

O incremento da geração de resíduos sólidos nos últimos anos vem tomando grande importância, em termos da gestão atual e futura dos mesmos, dadas às preocupações de riscos ambientais e na saúde humana. Por isso, este artigo tem como objetivo estimar um cenário futuro da geração de resíduos sólidos, bem como relacionar indicadores econômicos com a sua geração no município de Fortaleza-CE no período de 2010 a 2015, fazendo projeção para 2020 e trata-se de uma pesquisa experimental. Para as projeções foram utilizados indicadores como o PIB, consumo de energia elétrica e água e a população. Além disso, foram utilizados dois métodos equacionais lineares para comparação dos resultados obtidos. Todos os indicadores utilizados apresentaram forte correlação, sendo o PIB a variável que apresentou uma maior relação com a geração de resíduos. A equação proposta pelos autores apresentou uma maior eficiência frente o método IPAT, apresentando erro inferior a 1%. Portanto, o estudo mostra-se bastante promissor na estimativa da geração de resíduos sólidos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, Padrão de consumo, Projeção de resíduos sólidos, Indicadores econômicos.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é inevitável, porém com a mudança de nômade para sedentário, o homem começou a viver em sociedade e com o passar dos anos, essa sociedade se consolidou e aconteceram progressos na área da saúde e tecnologia. A partir disso, houve o aumento da expectativa de vida e, consequentemente, o aumento da população. O crescimento populacional e o aumento da produção de bens de consumo, e consequentemente, a geração de resíduos sólidos estão intimamente ligados aos padrões de consumo da população.

A má gestão e inadequada disposição desses resíduos podem gerar diversos impactos ambientais negativos, tais como, poluição dos corpos de água, intensificação de enchentes, degradação do solo, aumento da proliferação de vetores transmissores de doenças nos centros urbanos e na catatção em condições insalubres em ruas e nas disposições finais.

Compreender como se caracteriza a geração de resíduos em um município pode fornecer importantes informações para fazer o seu gerenciamento, bem como, sua otimização no processo de coleta, assim, trazendo uma melhor identificação dos custos.

Diante desse contexto, utiliza-se indicadores que possam correlacionar com a geração de resíduos e efetuar o cálculo da *per capita*. Define-se como objetivo geral de pesquisa: mostrar a correlação de indicadores econômicos com a geração de resíduos sólidos e fazer uma projeção futura para o cálculo desses resíduos para o município de Fortaleza-CE.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os resíduos sólidos podem ser definidos como todo e qualquer material no estado sólido e semissólido tendo sido resultado de qualquer atividade humana e tipo de uso, podendo ser reaproveitados (nos casos de materiais recicláveis) ou simplesmente dispostos em um aterro sanitário (rejeito) (BRASIL, 2010).

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015) o Brasil coletou em torno de 72,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos em 2015, contando com uma cobertura de coleta de 90,8%, mas nem todo esse resíduo coletado vai para o aterro sanitário, como determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Conforme esse panorama de resíduos sólidos, 58,7% dos resíduos coletados vai para o aterro sanitário, os outros 41,3% acabam sendo descartados de forma inadequada em lixões, essa prática de disposição inadequada ainda é percebida em todos os estados brasileiros.

A região Nordeste gerou 55.862 toneladas por dia de resíduos sólidos, sendo a região que possui menor cobertura de coleta dentre os estados do Brasil. As regiões Centro-oeste, Sudeste e Sul apresentam taxas maiores que 90% da massa de resíduos coletada, o Norte com 80,6% e o Nordeste com 78,5%. De 2014 a 2015 a população cresceu 0,8%, enquanto a quantidade de resíduos sólidos cresceu em 1,7% (ABRELPE, 2015).

O estado do Ceará em 2015 apresentou uma *per capita* de RSU em torno de 1,10 kg/hab/dia, sendo o quarto estado com maior *per capita*, ficando atrás apenas dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e do Distrito Federal (ABRELPE, 2015).

A *per capita* de resíduos sólidos pode ser definida como a quantidade de resíduos gerada em um dia por habitante. É importante o seu estudo para fazer comparações com outros países e cidades, pois de uma forma indireta, com o seu conhecimento, facilitaria a gestão de resíduos sólidos e serviria como base para futuros estudos, por isso, a importância da disseminação desses dados.

Na sociedade moderna, a renda, a educação, os hábitos e costumes são fatores que definem bastante o estilo de vida de uma pessoa, incluindo a característica da geração de seus resíduos sólidos. Dentre esses fatores podem se relacionar o consumo de água, consumo de energia, produto interno bruto (PIB), o nível de analfabetismo, dentre outros (Carvalho Júnior, 2013).

O PIB é uma medida dos valores dos bens e serviços produzidos no país, ou determinada região, que não levam em considerações os recursos utilizados, nem o meio de produção. Para Carvalho Júnior (2013), conforme citado por Melo; Salter e Janissek (2009) numa pesquisa simulando a geração futura de RSU em Curitiba, o PIB seria a variável que melhor explicaria essa geração.

Como cita Grover; Singh, (2014, apud Otoniel *et al*, 2008), a geração de resíduos constitui um grave problema, mas, está relacionada com um maior poder econômico da sociedade, que são protótipos da modernização, onde o tão chamado desenvolvimento está intimamente relacionado com a extração de recursos naturais, e está degradando cada vez mais o ecossistema.

Segundo Keser; Duzgun e Aksoy (2012), um maior nível de educação implica um maior padrão de vida, consequentemente haveria uma maior geração de resíduos sólidos, porém, com esse maior nível de educação, possivelmente haveria uma maior consciência ambiental dos seus detentores, podendo ser praticada de maneira simples, como por exemplo, a coleta seletiva.

Por outro lado, as famílias de baixa renda são as que mais fazem o uso da reciclagem, fazendo o reuso de embalagens (JOHNSTONE & LABONNE, 2004), diminuindo assim, sua geração e corroborando com a afirmação de que se uma população possui uma menor renda, também será menor a geração de resíduos sólidos.

Uma vez fixado que o aumento da renda, aumenta a geração dos resíduos sólidos, outros fatores também podem ser relacionados, como o consumo de energia, Medeiros; Paz e Moraes Júnior (2015), citam com uma maior renda há uma maior facilidade de comprar equipamentos eletrodomésticos, como ar condicionado,

chuveiro elétrico, um aumento da iluminação para fins estéticos, dentre outros. Os mesmos autores ainda discorrem sobre o consumo de água, e que se dá da mesma forma, onde, citam os apartamentos, que possuem um único medidor para calcular o consumo de água. Esse cálculo é feito de forma conjunta, sendo assim, os moradores desses imóveis se preocupam menos com o gasto gerado.

Segundo Kates (2000), como usualmente é considerado que a degradação ambiental pode ser explicada por três fatores principais, que são: crescimento populacional, aumento da riqueza e desenvolvimento da tecnologia, traduzida na forma da abordagem conhecida por IPAT. Baseados nisso e visando melhor entender padrões temporais, alguns estudos têm empregado o método IPAT para relacionar quantitativamente tais fatores à geração de resíduos sólidos (SOKKA; ANTIKAINEN; KAUPPI, 2007).

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Fortaleza, capital do estado do Ceará, localizado na região nordeste do Brasil, que apresentava uma população total de 2.452.185 habitantes segundo o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

Para a metodologia desta pesquisa, foram obtidos dados de consumo de energia e de água, resíduos sólidos, Produto Interno Bruto (PIB) e população no período de 2010 até 2015. As informações do consumo de energia foram adquiridas pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Quanto ao consumo de água foram obtidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). As informações de resíduos sólidos foram obtidas na Autarquia de Regularização, Fiscalização, e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR) e são referentes a quantidade de resíduos sólidos urbanos que chegam ao aterro sanitário ASMOC. Os dados obtidos quanto ao PIB e a população foram adquiridos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Além disso, utilizou-se o uso da estatística descritiva por meio do coeficiente de correlação de Pearson, cujo coeficiente r varia entre -1 e 1, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Foram utilizadas também equações auxiliares para complementar o presente estudo.

Os anos de 2011 a 2015 para a população foram feitas estimativas pelo método geométrico, com equação representada abaixo:

$$P = P_0 * e^{k t}$$

Onde:

P – População que se deseja estimar;

P_0 – Dado de população calculado do último censo demográfico obtido pelo IBGE;

e – Número de Euler;

t – Diferença dos períodos entre P e P_0 ;

k – Taxa de crescimento, que no trabalho foi utilizada como sendo 0,010376989.

A equação resposta do cálculo de resíduos sólidos deu-se pela aplicação da função proj.lin no programa Excel, onde foram obtidas as variáveis para cada fator econômico e populacional e o termo independente.

Outra ferramenta utilizada no presente estudo é o método IPAT, cuja equação é a seguinte:

$$I = P * A * T$$

Onde:

I – Impacto ambiental;

P – População;

A – Poder aquisitivo, que no trabalho foi usado o PIB;

T – Tecnologia.

Nota: No presente trabalho, o impacto ambiental é representado pela geração de resíduos sólidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos resíduos sólidos, consumo de água e energia, PIB e população adquiridos são mostrados na Tabela 1.

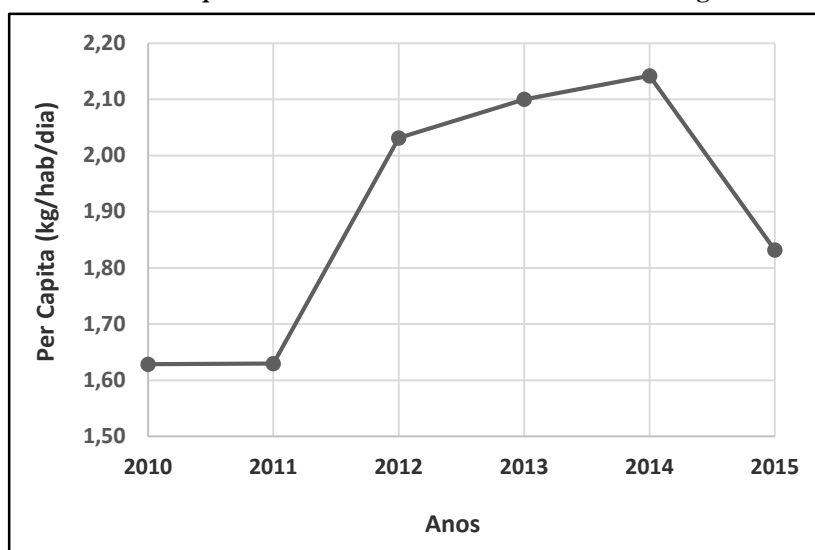
Como mostra a Tabela 1, a quantidade de resíduos sólidos urbanos em Fortaleza de 2010 para 2015 teve um aumento de quase 18,5%. Enquanto que a população cresceu 5,3% no mesmo tempo, fazendo uma comparação, notou-se que o valor de resíduos cresceu três vezes mais do que a população. O que pode ser notado pelo acréscimo da *per capita* de RSU de 12,5%, como mostra no Gráfico 1.

Tabela 1: Dados dos indicadores

ANO	Resíduos Sólidos (t)	População (hab)	PIB (R\$)	Consumo de água (m³)	Consumo de energia (kW)
2010	1.457.377,38	2.452.185	37.001.831.000	124.305.000	3.037.020.000
2011	1.473.701,90	2.477.764	41.394.561.000	125.917.000	3.406.015.000
2012	1.856.136,04	2.503.609	45.775.429.000	107.328.800	3.631.891.000
2013	1.938.859,64	2.529.725	49.758.763.000	112.003.870	4.042.822.000
2014	1.998.245,81	2.556.112	56.116.643.000	115.039.590	4.222.090.000
2015	1.726.705,35	2.582.775	57.246.034.000	115.124.000	4.203.104.000

Fonte: Adaptado de ACFOR, IBGE, IPECE, SNIS

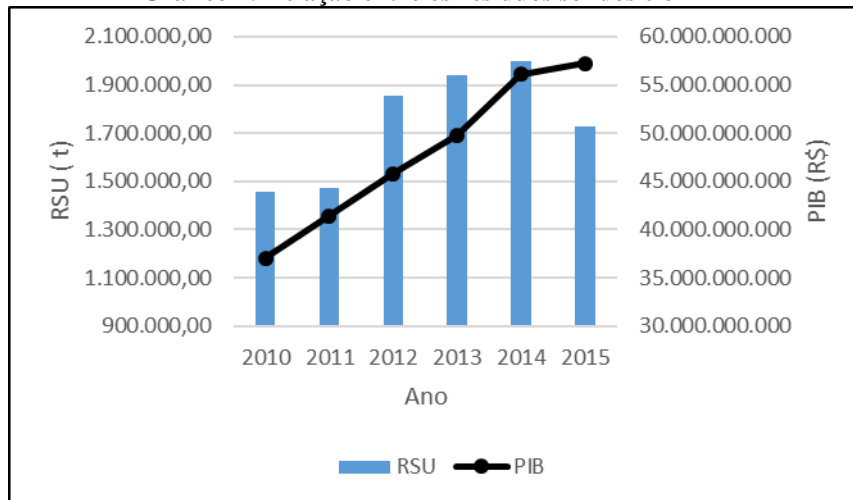
Gráfico 1: Per capita de resíduos sólidos em Fortaleza ao longo dos anos



Fonte: Autores (2018)

Em trabalhos anteriores pode ser percebido que há uma relação entre geração de resíduos sólidos com o poder aquisitivo da população, o que pode ser notado no gráfico a seguir (Gráfico 2) que do ano de 2010 para 2014, os resíduos e o PIB cresceram mais ou menos na mesma proporção, enquanto que em 2015, houve uma diminuição da geração de resíduos sólidos e o PIB teve um crescimento menor do que os outros anos, essa relação pode ser notada no Gráfico 2.

Gráfico 2: Relação entre os resíduos sólidos e o PIB



Fonte: Autores (2018)

Os coeficientes de Pearson da geração de resíduos sólidos com os indicadores econômicos foram: 0,74 para o PIB, -0,84 para o consumo de água, 0,81 para o consumo de energia e 0,69 para a população, sendo assim mostraram significância maior que 5% o que a literatura traz como mínimo para estabelecer uma correlação.

A partir disso, o termo T de tecnologia do método IPAT, pode ser determinado, tendo em base que o termo econômico (A) levado em consideração foi o PIB, apresentou correlação com o termo (I) que no presente trabalho representa o impacto da geração de resíduos sólidos. Em outros trabalhos que apresentam esse método, a maior limitação está relacionada à tecnologia, pois, não há como saber a influência da mesma no impacto (MEDEIROS; PAZ; MORAIS JÚNIOR, 2015). Após análises, foi percebido que o menor erro no fator tecnologia se dá do valor de $1,43683 \times 10^{-11}$, por isso, será o valor usado para fazer os cálculos.

Além do método IPAT, foi obtida uma equação resposta para o cálculo de resíduos sólidos, usando os parâmetros econômicos.

$$R = [(-11,8138 * POP) + (5,52942 * 10^{-5} * PIB) + (-0,01699911 * CA) + (0,000493535 * CE) + 28957946,7]$$

Onde:

R – Resíduos (t);

POP – População (hab);

PIB – Produto Interno Bruto (R\$);

CA – Consumo de Água (m³);

CE – Consumo de Energia (kW).

Essa equação apresentou coeficiente de Pearson de 0,984, mostrando uma forte correlação, e os erros obtidos foram inferiores a 3%, o que mostra que é uma boa base para fazer o cálculo da geração dos resíduos sólidos, bem como, determinar a *per capita*. A Tabela 2 mostra os valores reais e os encontrados usando os métodos supracitados de resíduos sólidos.

Tabela 2: Valores de resíduos sólidos

ANO	Resíduos Sólidos (t)		
	Real	Equação resposta	IPAT
2010	1.457.377,38	1.420.203,39	1.303.712,51
2011	1.473.701,90	1.515.621,14	1.473.698,38
2012	1.856.136,04	1.879.991,71	1.646.661,44
2013	1.938.859,64	1.915.055,65	1.808.623,94
2014	1.998.245,81	1.991.750,48	2.060.995,05
2015	1.726.705,35	1.728.403,77	2.124.405,25

Fonte: Autores (2018)

A projeção futura foi feita para o ano de 2020, projetando três cenários, um com o PIB aumentando 15%, o segundo com aumento de 25%, enquanto que o terceiro uma diminuição de 5% todos com referências aos valores de 2015, nos mesmos cenários o consumo de energia e água variarão com aumento de 2%, 1% e diminuição de 1% respectivamente, por apresentarem pouca variação ao longo dos anos. Haverá em média um incremento de 137.545 habitantes de 2015 para 2020. Fazendo o uso da equação resposta dos autores e refazendo alguns ajustes os cenários para 2020 são expostos no Quadro 1.

Quadro 1: Cenários para 2020 de resíduos sólidos no município de Fortaleza

Cenário	PIB (R\$)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (kW)	Resíduos (t)
1	15%	2%	2%	2.187.499,44
2	25%	1%	1%	2.502.863,28
3	-5%	-1%	-1%	1.550.903,09

Fonte: Autores (2018)

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza (2012), a quantidade estimada de resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário durante o ano de 2020 seria de 2.716.440,43 t, porém esse valor também leva em consideração a cidade de Caucaia, portanto, nos cenários 1 e 2 da equação resposta foram encontrados os valores respectivos de 2.187.499,44 e 2.502.863,28 t, mostrando valores bem próximos ao do Plano Municipal. Enquanto que de acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (2015), a cidade de Fortaleza em 2022, produziria equivalente a 2.276.621,80 t de resíduos sólidos, corroborando ainda mais com a equação e os cenários propostos no presente artigo.

CONCLUSÃO

Portanto, conclui-se que o uso de indicadores econômicos é eficiente para se estimar a geração de resíduos sólidos, pois as variáveis utilizadas apresentaram coeficiente de correlação próximos de -1 e 1. O PIB é o indicador econômico que mais interfere na geração dos resíduos sólidos, tendo uma influência sobre os outros indicadores. Porém, deve-se ressaltar a importância de se estudar os padrões de consumo da população.

A equação resposta obtida pelos autores apresentou uma melhor alternativa de se estimar a geração de resíduos sólidos, pois apresenta erros menores se comparado ao método IPAT. Porém a projeção futura dos cenários pode ser passível de erro, por se tratar de estimativas.

Contudo, é importante estudar a geração de resíduos sólidos para haver uma melhor gestão e otimização dos mesmos, podendo seguir os princípios do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACFOR – Autarquia de Regularização, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento. Resíduos Dispostos no Asmoc 2010 – 2015. Fortaleza.
2. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de resíduos sólidos no Brasil - 2015. São Paulo: Abrelpe; 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>> Acesso em 16 jul. 2017.
3. BRASIL. Lei nº. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 15 de jul. 2017.
4. CARVALHO JÚNIOR, Francisco Humberto de. **Estudo de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza-CE**. 2013. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
5. GROVER, P; SINGH, P. An analytical study oif effect of family income and size on per capita household solid waste generation in developing countries. **American Research Institute for Policy Development**, v. 3, n. 1, p. 127-143, 2014.
6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro. Disponível em: <ibge.gov.br> Acesso em: 31 de jul. 2017.
7. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios 2010 – 2014. Rio de Janeiro. Disponível em: <ibge.gov.br> Acesso em: 31 de jul. 2017.
8. IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Anuário Estatístico do Ceará 2010 – 2016. Fortaleza. Disponível em: < <http://www.ipece.ce.gov.br/index.php/anuario-estatistico-do-ceara> > Acesso em: 31 de jul. 2017.
9. JOHNSTONE, N. & LABONNE, J. Generation of Household Solid Waste in OECD Countries: An Empirical Analysis Using Macroeconomic Data. **Land Economics**, v. 80, p. 529-538, 2004.
10. KESER, S.; DUZGUN, S.; AKSOY, A. Application of spatial and non-spatial data analysis in determination of the factors that impact municipal solid waste generation rates in Turkey. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 359-71, 2012.
11. MEDEIROS, Julie Eugênio da Siva Francisco; PAZ, Adriano Rolim da; MORAES JÚNIOR, Joácio de Araújo. Análise da evolução e estimativa futura da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa e relação com outros indicadores de consumo. **Eng, Sanit Ambient**, João Pessoa, v. 20, n. 1, 215. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n1/1413-4152-esa-20-01-00119.pdf>>. Acesso em: 31 de jul. 2017.
12. PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Estudos de Prospecção e Escolha de Cenários de Referência. 2015. Fortaleza. Disponível em: <<http://www.sema.ce.gov.br/attachments/article/44259/CENARIOS-min.pdf>> Acesso em: 24 de abr. 2018
13. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza. 2012. Fortaleza. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/plano_municipal_de_gesto_integrada_de_residuos_solidos_de_fortaleza.pdf> Acesso em: 24 de abr. 2018