

Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos

RESUMO

Em áreas urbanas, estudos e ações, em escala de bacia hidrográfica urbana, para identificação do “Ciclo Lixológico”, são essenciais para se evitar ou minimizar as destinações inadequadas de resíduos sólidos e, conseqüentemente, degradação do meio ambiente. A partir do entendimento do “Ciclo Lixológico” como o ciclo de geração, transporte e disposição final dos resíduos sólidos, integrando variáveis relativas ao ambiente físico, às características socioeconômicas da população e às condições da infraestrutura urbana existente, torna-se possível a tomada de decisões mais eficiente e mais acertada em termos de planejamento e gestão de resíduos sólidos. Comumente, na ausência de dados primários, são utilizados parâmetros que permitem estimar a quantidade de resíduos sólidos gerados por dada população. Entretanto, acredita-se que a opção por um ou outro parâmetro pode resultar em dados muito diversos. Este trabalho apresenta a estimativa da geração de resíduos sólidos residenciais (i.e., nos domicílios) por meio da construção de seis cenários distintos, utilizando dados socioeconômicos e experimentos de aferição de massa de fraldas infantis. Toma-se a bacia hidrográfica da barragem Mãe d’Água, localizada na divisa de Porto Alegre e Viamão (Rio Grande do Sul) como estudo de caso. Os resultados obtidos mostram que a construção dos cenários conduz a dados diversos entre si. Desta forma, alerta-se para a importância da compreensão dos modos atuais de consumo e eliminação de resíduos sólidos de cada população em seu contexto, com análises comportamentais e coleta de dados *in loco*.

PALAVRAS-CHAVE:resíduos sólidos, estimativa de geração, fralda infantil, planejamento ambiental.

Bárbara Maria Giacom-Ribeiro
barbara.giacom@ufsm.br
Universidade Federal de Santa Maria,
Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul,
Brasil

Carlos André Bulhões Mendes
mendes@jph.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul,
Brasil

1 INTRODUÇÃO

Chamamos de “lixo” uma grande diversidade de resíduos sólidos de diferentes procedências, dentre eles os resíduos sólidos e rejeitos gerados no dia-a-dia. A geração de resíduos está relacionada aos hábitos de consumo de cada cultura, estando correlacionada ao poder econômico da população.

A existência do homem sempre esteve acompanhada da existência de resíduos, já que sua geração é inevitável. No século XVIII, o êxodo rural, a industrialização, a urbanização e o vertiginoso crescimento da população construíram o cenário para intensificação dos impactos ambientais decorrentes das diversas formas de poluição. Dentre elas, os resíduos acumulavam-se pelas ruas e imediações das cidades, provocando epidemias e causando morte de pessoas aos milhares. Naquele momento, a solução para os resíduos sólidos não configurava algo complexo, pois era suficiente afastá-lo, descartando-o em áreas mais distantes dos centros urbanos.

Atualmente, com a maioria das pessoas vivendo nas cidades¹ e com o avanço mundial da indústria, provocando mudanças nos hábitos de consumo da população, a geração de resíduos sólidos possui diferentes facetas em termos de quantidade e diversidade. No Brasil, os resíduos gerados são constituídos, em sua maior parte, de material orgânico; contudo, nos últimos anos, é expressiva a parcela de produtos descartáveis, principalmente diversos tipos de plásticos. O consumo de produtos descartáveis é atrativo devido à facilidade de manuseio, e este consumo desenfreado, aliado ao descarte inadequado dos resíduos, é visto hoje como um dos maiores problemas ambientais mundiais, pois sua disposição inadequada faz com que os mesmos sejam carreados pelo sistema de drenagem urbana e impulsionem a poluição hídrica.

Com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em remover os resíduos de logradouros e edificações, mas, principalmente, em dar um destino final adequado aos resíduos coletados (MONTEIRO ET AL., 2001). O correto gerenciamento dos resíduos sólidos é um dos principais desafios dos grandes centros urbanos no início deste novo milênio (REICHERT, 2013). Até pouco tempo atrás, as ações no campo dos resíduos sólidos restringiam-se à limpeza urbana, ou seja, os recursos eram destinados somente à coleta de resíduos sólidos e à limpeza das vias públicas, ficando o tratamento e a disposição final dos resíduos completamente relegados.

Nas últimas décadas, várias ações e projetos têm sido propostos para a melhoria da disposição final e do tratamento dos resíduos sólidos urbanos. Dados de 2016 divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, por meio do “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2016”, apontam que 78,6% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de resíduos sólidos, o que representa um crescimento de 3% em relação ao ano anterior. Pouco mais de 69,6% dos municípios registraram alguma iniciativa de coleta seletiva² (ABRELPE, 2017).

¹ Em 2014, 54% da população mundial vivia em áreas urbanas, uma proporção que se espera que venha a aumentar para 66% em 2050 (UN, 2014). No Brasil, quase 85% da população reside em domicílios em área urbana (IBGE, 2011).

² Embora pareça expressiva a quantidade de municípios com iniciativas de coleta seletiva, convém salientar que muitas vezes estas atividades resumem-se à disponibilização de pontos de entrega voluntária ou convênios com cooperativas de catadores, que não abrangem a totalidade do território ou da população do município (ABRELPE, 2017).

Das mais de 214 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos gerados diariamente no ano de 2016, cerca de 91,16% foram coletadas; deste montante, apenas 58,4% receberam destinação adequada (ABRELPE, 2017). Enquanto que 1.559 municípios brasileiros possuíam lixões e 1.774, aterros “controlados”; em apenas 2.244 (40%) municípios haviam aterros sanitários; 65 faziam uso de usina de compostagem; no total, 3.334 municípios conferem destinação inadequada aos seus resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2017; MCIDADES/SNSA, 2016).

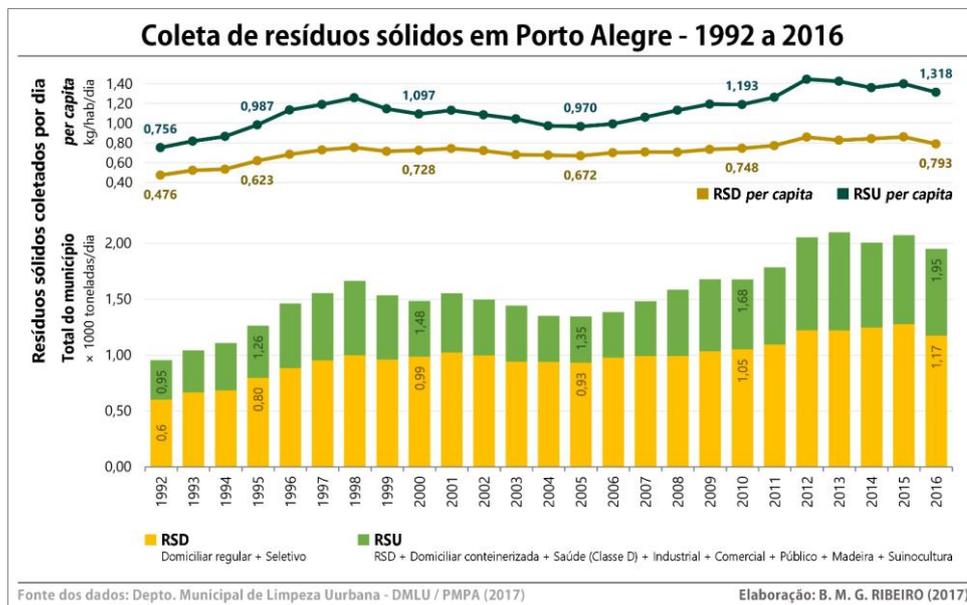
Em 2016, foram gerados cerca 78,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil, o que representa uma redução de 2% em relação a 2015, índice que poderia parecer animador frente à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,8%. Entretanto, esta redução reflete, de fato, a crise econômica por que vem passando o país. Para Carlos Silva Filho, presidente da Abrelpe, a redução na geração de resíduos sólidos não pode ser atribuída à conscientização ambiental da população, mas à crise: “É a primeira vez que temos decréscimo de resíduos sólidos no Brasil desde 2003, fruto da crise econômica, que afetou diretamente o poder de compra da população e trouxe, como consequência, o menor descarte de resíduos sólidos” (CRUZ, 2017).

A taxa de geração *per capita* também diminuiu, de 1,071 kg/hab/dia, em 2015, para 1,040 kg/hab/dia, em 2016 (ABRELPE, 2017). No Rio Grande do Sul, a média de geração diária de resíduos sólidos, em 2015, situa-se abaixo da média nacional, com 0,77 kg/hab/dia, totalizando mais de 8,7 mil toneladas geradas diariamente (ABRELPE, 2016). Tais dados evidenciam uma mudança nos padrões de consumo do brasileiro, decorrentes da redução do poder de compra no período, com geração de menos resíduos por habitante (ABRELPE, 2017). Se observado, contudo, o panorama dos últimos dez anos, a tendência é o aumento na geração de resíduos *per capita*.

Estreitando o foco para uma análise mais local, em Porto Alegre (RS), a quantidade *per capita* de resíduos sólidos coletados nas últimas décadas aumentou, de modo que a população está crescendo mais lentamente do que o montante de resíduos gerados. O gráfico da Figura 1 relaciona os dados médios de resíduos sólidos domiciliares (RSD) e urbanos (RSU) coletados em Porto Alegre, considerando o total do município e os dados *per capita*, para os anos de 1992 a 2016. Neste intervalo de tempo, a população de Porto Alegre cresceu 17,26% (IBGE), enquanto que os totais de RSD e RSU cresceram, respectivamente, 95,13% e 104,51%.

A análise do quadro institucional atual evidencia seu caráter negativo apesar de transcorrido tempo razoável após o que seria uma fase de transição. A maioria das Prefeituras Municipais ainda não dispõe de recursos técnicos e financeiros para solucionar os problemas ligados à gestão de resíduos sólidos. São ignoradas, muitas vezes, possibilidades de estabelecer parcerias com segmentos que deveriam ser envolvidos na gestão e na busca de alternativas para a implementação de soluções. Raramente utiliza-se das possibilidades e vantagens da cooperação com outros entes federados por meio do estabelecimento de consórcios públicos nos moldes previstos pela Lei de Saneamento Básico - Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) e da Lei de Consórcios Públicos - Lei nº 11.107/2005 (BRASIL, 2005) (MMA, 2011). Ainda é frequente observar a execução de ações em resíduos sólidos sem prévio e adequado planejamento técnico-econômico, sendo esse quadro agravado pela falta de regulação e controle social no setor.

Figura 1 - Gráfico do montante total anual e *per capita* diário de resíduos sólidos domiciliares coletados em Porto Alegre, de 1992 a 2016



Fonte: RIBEIRO (2017)

Neste ponto, é importante diferenciar os termos gestão e gerenciamento, que, em geral, adquirem conotações distintas na área de resíduos sólidos urbanos, embora possam ser empregados como sinônimos. O termo gestão é utilizado para definir decisões, ações e procedimentos adotados em nível estratégico, enquanto o gerenciamento visa à operação do sistema de limpeza urbana (LIMA, 2001). A Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Artigo 3º, apresenta as seguintes definições:

“X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;” (BRASIL, 2010).

As soluções mundialmente mais adotadas baseiam-se no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, conceito que combina várias técnicas para o manejo dos distintos elementos do fluxo de resíduos (REICHERT, 2013). Em um sistema de gerenciamento integrado, todos os elementos fundamentais são avaliados e utilizados, e todas as suas interfaces e conexões são consideradas para se conseguir a solução mais eficaz e econômica (TCHOBANOGLIOUS ET AL., 1993). O gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos é uma forma

diferenciada de manejo de resíduos que combina diferentes métodos de coleta e tratamento para lidar com todos os materiais no fluxo de geração e descarte de resíduos, de maneira ambientalmente efetiva, economicamente viável e socialmente aceitável. Este sistema inclui a segregação na origem e a coleta de todos os tipos de resíduos e de todas as fontes, seguido por uma, ou mais, das seguintes opções: recuperação ou valorização secundária de materiais (reciclagem), tratamento biológico da matéria orgânica, tratamento térmico e aterro sanitário (com e sem recuperação de energia) (MCDUGALL ET AL., 2001).

Esforços consideráveis têm sido feitos na análise e pesquisa dos aspectos práticos dos sistemas municipais de manejo de resíduos (como coleta, transporte, tratamento e disposição final) (e.g., BRUSADIN, 2004; CAMPANI, REICHERT, 2006; COSTA, 2011; CAMPANI, 2012; CIASCA, SACCARO JR., 2012) e sobre a percepção das pessoas sobre separação na origem, reciclagem, incineração e aterro sanitário (e.g., OLIVEIRA, 2006; MUCELIN; BELLINI, 2008; PEREIRA; MELO, 2008), porém, os administradores e gerentes de sistemas de manejo de resíduos muitas vezes não têm a perspectiva de análise do sistema em longo prazo (REICHERT, 2013).

A investigação sobre a disposição inadequada de resíduos sólidos demanda conhecimento sobre a gestão do programa municipal de coleta de resíduos. Entretanto, os dados oficiais constituem uma janela que permite apenas uma visão parcial da realidade da geração e transporte de resíduos. Dentre o universo de dados e informações que empresas de coleta de resíduos e limpeza urbana, e/ou administrações públicas possuem sobre a geração de resíduos sólidos, os dados de lançamento inadequado de resíduos no ambiente constituem justamente o dado que não se afere com facilidade (RIBEIRO, 2017).

Em virtude de métodos diretos de medição da geração de resíduos sólidos apresentarem restrições, principalmente de ordem econômica, vários estudos vêm sendo desenvolvidos de forma a quantificar a geração de resíduos sólidos indiretamente, a partir de parâmetros, como renda média domiciliar, Produto Interno Bruto do município, consumo de água e de energia elétrica nas unidades habitacionais, áreas das edificações e/ou das propriedades, entre outros.

O presente trabalho insere-se em uma pesquisa que investiga o ciclo dos resíduos sólidos em uma bacia hidrográfica urbana, aqui chamado de “Ciclo Lixológico” (RIBEIRO, 2017), que pode ser dividido nas etapas de geração, transporte e disposição final dos resíduos sólidos. Este artigo aborda o módulo de geração dos resíduos sólidos.

O objetivo deste trabalho é estimar a geração de resíduos sólidos residenciais em uma dada área de estudo – no presente caso, uma bacia hidrográfica urbana em consolidação – a bacia Mãe d’Água, localizada em Viamão (RS). A utilização de diferentes parâmetros é analisada com vistas a enfatizar a importância de sua escolha e ponderação para minimização das discrepâncias do dado estimado com relação à realidade.

2 QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A demanda por dados confiáveis sobre a geração de resíduos sólidos está implicitamente incluída na maioria das legislações relativas à gestão de resíduos

sólidos. Mais explicitamente, a legislação exige uma avaliação dos resíduos gerados atualmente e suas previsões futuras, permitindo que as autoridades públicas competentes possam planejar a eliminação destes resíduos com anos de antecedência.

Isto implica uma necessidade por **informações confiáveis** sobre a **quantidade** e **composição** dos resíduos, que é difícil de alcançar em um nível desagregado. Ao contrário de infraestruturas mais centralizadas, como, por exemplo, o fornecimento de energia elétrica, em que o consumo de cada usuário final pode ser medido individualmente, a geração de resíduos sólidos não pode ser medida diretamente. Normalmente, em sistemas de coleta e eliminação de resíduos sólidos, existem diferentes canais de eliminação paralela, como a coleta convencional, a coleta seletiva, a coleta periódica de grandes volumes, os ecopontos, etc. Os resíduos provenientes de um único domicílio são medidos apenas em raras situações, como, por exemplo, em áreas onde os sistemas *Pay-As-You-Throw*³ (pague conforme o descarte) foram implantados. Assim, a geração de resíduos não pode ser medida em uma base detalhada, o que permitiria uma avaliação mais aprofundada dos hábitos de eliminação, mudanças e tendências. Nestes casos, a modelagem é de particular importância.

Devido à atualidade do problema de gestão de resíduos sólidos, estudos sobre a quantificação dos resíduos sólidos têm sido exaustivamente realizados nos últimos anos, inclusive no Brasil (e.g., KAWAI; TASAKI, 2016). A quantidade de resíduos gerada por uma população é bastante variável e depende de uma série de fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimento da população nos períodos de férias e fins de semana, novos métodos de acondicionamento de mercadorias, com a tendência mais recente de utilização de embalagens não retornáveis, entre outros (CUNHA; CAIXETA FILHO, 2002).

Diversos autores dividem os métodos de quantificação dos resíduos sólidos em diretos e indiretos. Os **métodos diretos** são aqueles que não deixam margem para poluição dos dados: os resíduos são analisados integralmente e pesados na origem (e.g., na própria residência onde são gerados), antes de serem conduzidos ao sistema de coleta e destinação final. Os **métodos indiretos** partem da relação dos mais diversos parâmetros (e.g., precipitação, indicadores de consumo, etc.) com os dados de resíduos sólidos analisados no destino (e.g., estação de triagem, de transbordo, aterro sanitário, etc.), onde, geralmente, são quantificados de modo amostral. Ribeiro (2017) apresenta uma detalhada revisão de literatura sobre modelagem e quantificação de resíduos sólidos.

3 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM VIAMÃO, RS

Entendendo a gestão integrada de resíduos sólidos como o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, considerando as dimensões políticas, econômica, ambiental, cultural e social com controle

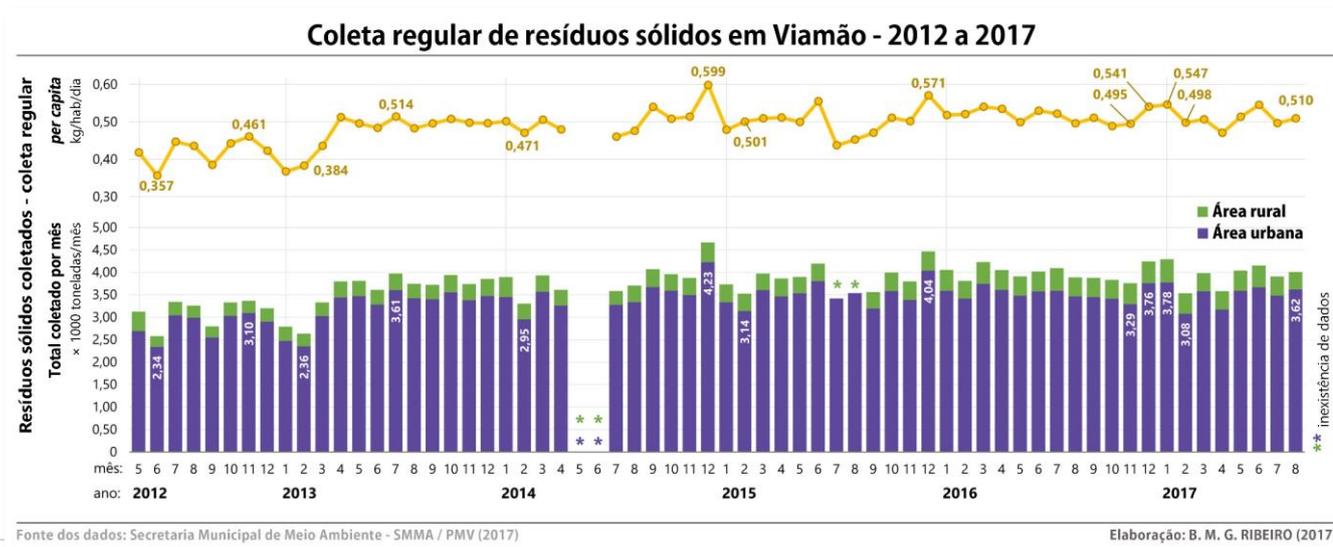
³ No sistema *Pay-As-You-Throw* (PAYT), uma taxa é cobrada dos usuários baseada no volume de resíduos sólidos que é apresentado para a coleta de resíduos sólidos. A Áustria foi o primeiro país a implementar a cobrança individual de resíduos, em 1945, mas o PAYT não se consolidou até os anos 1980, quando os sistemas de identificação eletrônicos eficientes e seguros tornaram-se disponíveis (REICHENBACH, 2008). Outras experiências estão presentes na Alemanha (1970), Espanha (2003), em cidades americanas da Califórnia, Michigan, New York e Washington (a partir dos anos 1970), além de 6.000 pequenas comunidades nos Estados Unidos (anos 2000), em 200 cidades no Canadá (anos 2000), em 30% das cidades do Japão (a partir dos anos 1970), e nas cidades mais desenvolvidas da Coreia, Tailândia, Vietnã, China e Taiwan.

social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010), tem-se como objetivos a organização e a melhoria dos aspectos relacionados ao manejo e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos.

O Plano Diretor de Viamão (Lei municipal nº 4.154/2013) estabelece que o processo de planejamento municipal compreende também os planos setoriais, que são instrumentos de desenvolvimento territorial, necessários à efetivação do Plano Diretor, dentre eles, o Plano Municipal de Saneamento e o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) (art. 286). Segundo o PMGIRS (VIAMÃO, 2014), no município, o manejo dos resíduos sólidos é de responsabilidade de quatro secretarias municipais, além de empresas contratadas, o que reflete a complexidade do sistema e a necessidade de integração e articulação intersecretorial e interinstitucional das ações relativas ao manejo dos resíduos sólidos: (1) Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos: responsável pela coleta regular e seletiva de resíduos sólidos; (2) Sec. Mun. de Meio Ambiente: responsável pela varrição, poda, capina, fiscalização dos serviços de coleta de resíduos e monitoramento do aterro desativado; (3) Sec. Mun. de Saúde: responsável pelo acondicionamento dos resíduos de saúde até serem coletados, bem como pela fiscalização do serviço de coleta e disposição final; e (4) Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação: responsável pelo acompanhamento dos catadores informais de resíduos sólidos no município, por meio de cadastro.

Embora não haja dados sobre a geração de resíduos sólidos no município de Viamão, as informações relativas à coleta fornecem um panorama sobre o montante de resíduos gerados. Por meio do gráfico da Figura 2, são apresentadas as quantidades de resíduos sólidos coletadas mensalmente, de 2012 a 2017, provenientes das áreas urbanas e rurais do município. Dados mais recentes indicam a coleta de 2.999 t e 3.579 t coletadas nas áreas urbanas de Viamão nos meses de fevereiro e março de 2017; e 404,15 t coletadas nas áreas rurais em março de 2017 (SALLES, 2017).

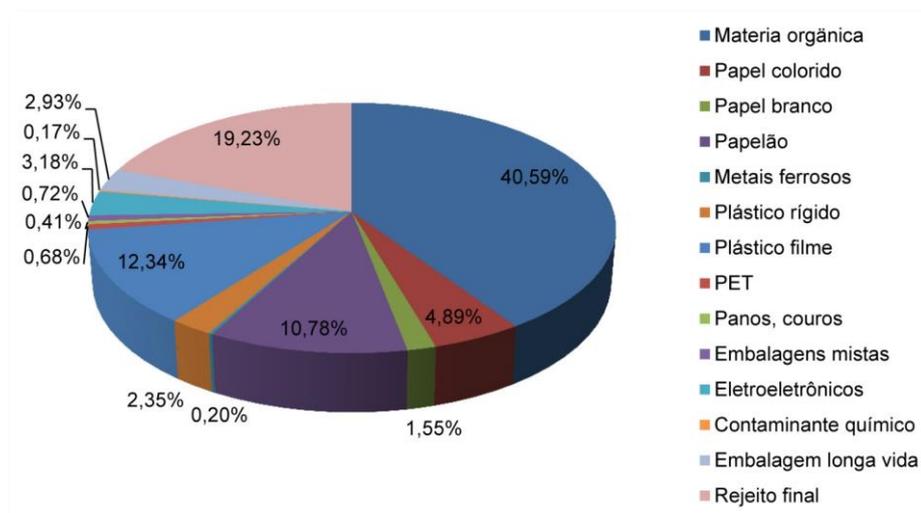
Figura 2 - Gráfico: resíduos sólidos domiciliares totais e *per capita* coletados mensalmente, de 2012 a 2015, nas áreas urbanas e rurais de Viamão (RS)



Em 2010, dados do Censo Demográfico (IBGE, 2011) apontavam que a coleta de resíduos sólidos era quase universalizada em Viamão, atingindo 98,33% dos 74.219 domicílios àquela época; do restante dos domicílios, em 785 propriedades os resíduos eram queimados, em 178, enterrados, em 103, lançados em rio ou terrenos e em 201, os resíduos tinham outro destino. Dados do levantamento de 2014 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (MCIDADES/SNSA, 2016) revelam que 100% da população urbana (251.033 habitantes) eram atendidos pelo serviço de coleta porta-a-porta sem uso de caçambas, sendo que o atendimento era diário para 17% desta população, de 2 a 3 vezes por semana para 75%, e 1 vez por semana para os restantes 8% da população urbana.

Com relação aos resíduos sólidos domiciliares, sua composição é majoritariamente de plásticos (15,27%), seguidos de matéria orgânica (40,59%). Por meio do gráfico da Figura 3, apresenta-se a composição gravimétrica de resíduos sólidos do município de Viamão.

Figura 3-Gráfico da composição gravimétrica de resíduos sólidos do município de Viamão (RS)



Fonte: VIAMÃO (2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

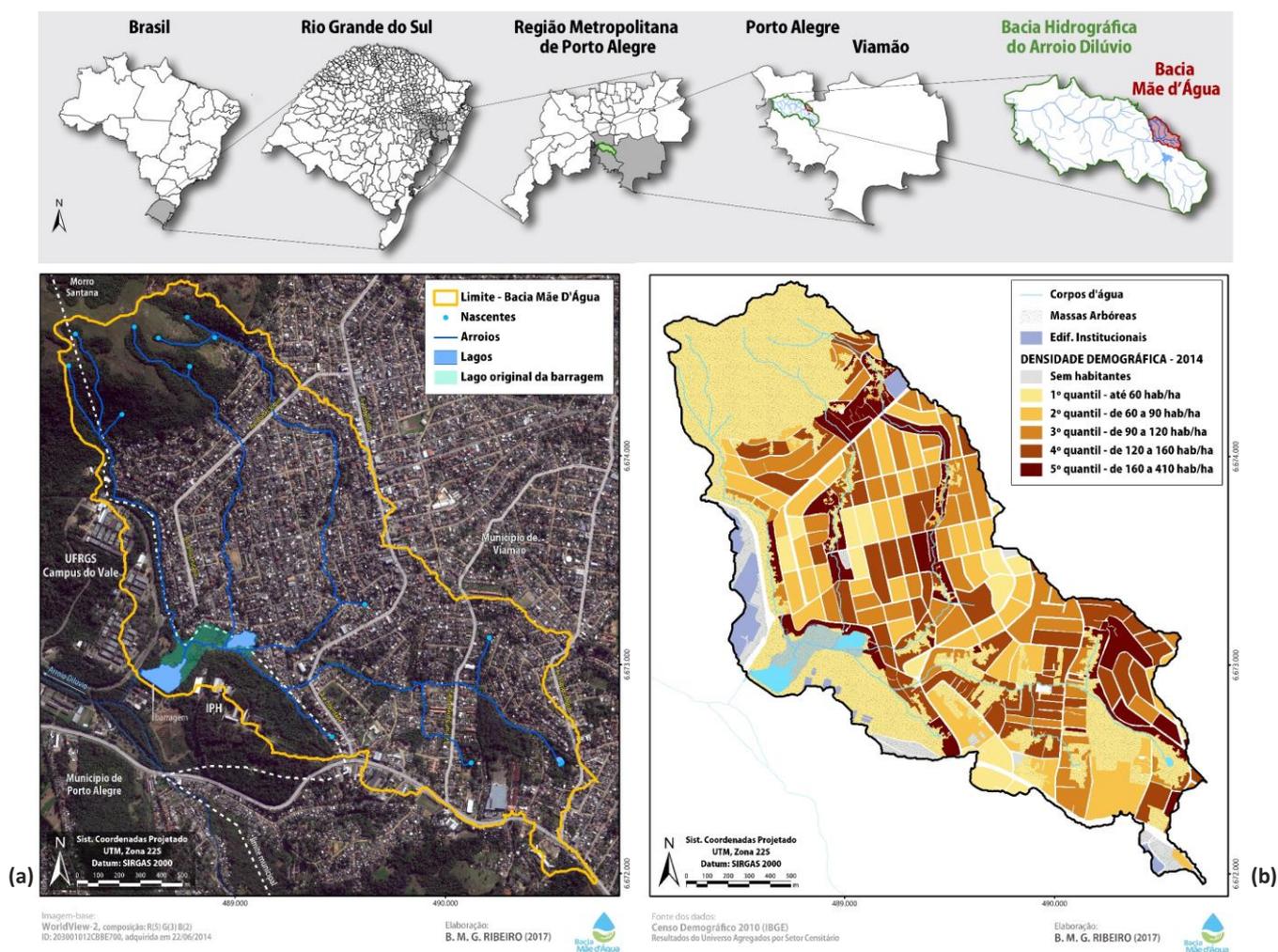
4.1 Área de Estudo

Esta pesquisa usa a Bacia da Barragem Mãe d'Água como estudo de caso, área escolhida para realização do estudo empírico.

A bacia hidrográfica da Barragem Mãe D'Água localiza-se na divisa entre os municípios de Porto Alegre e Viamão, na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), Rio Grande do Sul (Figura 4a), sendo delimitada a partir do exutório definido como o vertedouro da barragem construída no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A bacia Mãe d'Água, composta por quatro arroios principais e totalizando uma área de 336,79 hectares, é uma das componentes da cabeceira do Arroio Dilúvio, importante curso d'água que se estende do município de Viamão para o de Porto Alegre, cortando-o no sentido

leste-oeste e abrangendo mais de 515 mil habitantes (IBGE, 2011). Nos limites de Porto Alegre, estão compreendidos 83% da bacia do Dilúvio, sendo uma das mais densamente constituídas na cidade: o eixo que margeia o Arroio Dilúvio em quase toda a sua extensão, a Avenida Ipiranga, é uma das principais vias de fluxo na capital, possuindo importância regional no contexto da RMPA. A foz do Arroio Dilúvio está no Lago Guaíba, importante manancial vinculado ao centro de Porto Alegre e às faixas de ocupação mais antigas da cidade. Embora tenha seu curso praticamente inteiro dentro dos limites da cidade de Porto Alegre, o Arroio Dilúvio tem suas principais nascentes em Viamão, na região das represas Lomba do Sabão e Mãe d'Água.

Figura 4 - Mapa de localização da Bacia Mãe d'Água (a) e mapa de densidade demográfica (b)



Fonte: RIBEIRO (2017)

4.2 Estimativa de geração de resíduos sólidos

Com base na literatura investigada, são construídos e testados seis “cenários” de geração de resíduos sólidos residenciais, que são apresentados a seguir. Os cenários levam em consideração dados socioeconômicos da área de estudo (Censo Demográfico 2010 – IBGE) que foram espacializados por meio de

mapeamento dasimétrico, com auxílio de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e técnicas de geoprocessamento (vide Ribeiro, 2017).

Cenário 1: de modo indistinto, é atribuído o valor de 1 kg/hab/dia de geração residencial diária de resíduos sólidos *per capita*.

Cenário 2: construído com base nos dados coletados por Penido (2008), que estabelece uma relação entre a geração de resíduos e renda *per capita*: considera-se a geração de resíduos sólidos diretamente proporcional à renda; além disso, convencionou-se que aquelas pessoas sem rendimento geram a mesma quantidade diária daquelas na menor faixa de rendimento (i.e., 1/8 a 1/4 de salário mínimo).

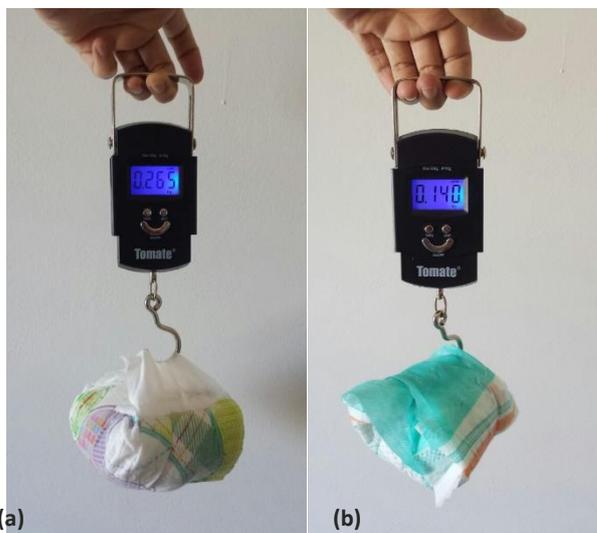
Cenário 3: considera a densidade do domicílio na determinação da geração de resíduos *per capita*, conforme Purcell e Magette (2009): moradores de domicílios com mais pessoas (i.e., mais densos) geram menos resíduos sólidos *per capita* diariamente.

Cenário 4: considera as faixas etárias como fator condicionante da geração de resíduos sólidos. Segundo Beigl et al. (2008), habitantes mais jovens geram mais resíduos sólidos diariamente que habitantes com idade mais avançada. Desta forma, obtém-se que pessoas entre 35 e 39 anos geram 1,112 vezes a quantidade de resíduos das pessoas com mais de 40 anos; por sua vez, pessoas até 34 anos geram 1,176 vezes a quantidade de resíduos das pessoas entre 35 e 39 anos.

Cenário 5: desenvolvido com base em Beigl et al. (2008), utilizando, neste caso, a existência de crianças nos domicílios: crianças de 0 a 10 anos geram 1,158 vezes mais resíduos sólidos diariamente que jovens de 10 a 18 anos, que, por sua vez, geram 1,021 vezes mais que adultos acima dos 19 anos.

Cenário 6: consiste numa adaptação do Cenário 5, que considera a existência de crianças. Para isto, modificou-se a primeira faixa etária daquele cenário, que foi subdividida: para bebês entre 0 e 2 anos, foi adicionado o montante de resíduos sólidos relativos às fraldas descartáveis utilizadas nesse período de vida. O cálculo foi feito com base no peso específico da fralda de cada tamanho, apropriada para cada idade de bebê, conforme média de consumo diário indicado pelo fabricante. A esse valor, foi somada a massa do conteúdo típico, considerando-se a proporção de fraldas com mais e menos dejetos (i.e., urina, primeira e segunda fezes do dia). Tais dados foram obtidos por meio de pesagem diária de fraldas de cinco bebês, com 3, 6, 8, 15 e 24 meses de idade. A aferição de massa foi realizada com balanças domésticas de uso culinário, pelas próprias mães. Na Figura 5, duas fotos exemplificam a pesagem das fraldas. Por meio da Tabela 1, são apresentadas as informações relativas ao cálculo de fraldas utilizado na estimativa de resíduos sólidos residenciais.

Figura 5 - Fotos de pesagem de fraldas utilizadas (sujas): em (a), primeira fralda do dia (mais cheia, com fezes e urina); em (b), fralda somente com urina



Fonte: fotos tomadas por Luciana Almeida de Andrade (2017)

Tabela 1- Características consideradas no cálculo da massa diária de resíduos sólidos relativas ao uso de fraldas por bebês de 0 a 24 meses

Bebê		Fralda				
Idade (meses)	Peso máximo (kg)	Limpa, sem uso, seca				Massa total /dia fralda suja (kg)
		Tamanho	Massa unitária (kg)	Consumo diário (un)	Massa total /dia fraldaseca (kg)	
0 a 1	6	RN	0,01670	8	0,13360	0,258 *
2 a 4	7,5	P	0,02241	8	0,17931	0,566 ^A
5 a 10	9,5	M	0,02239	6	0,13432	0,615 ^A
11 a 20	12,5	G	0,02763	5	0,13816	0,822 ^A
21 a 26	15	XG	0,02850	5	0,14250	0,905 ^A
26 +	+ 15	XXG	0,03144	5	0,15722	0,919*

* dados estimados ^A dados aferidos pela amostragem.

Fonte: RIBEIRO (2017)

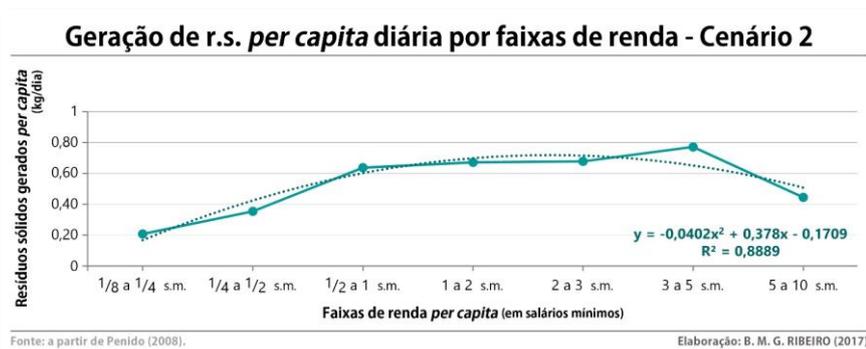
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A geração de resíduos sólidos residenciais foi calculada por meio de seis métodos, resultando então em seis cenários de estimativa de resíduos sólidos. A adição dos dados utilizados no Cenário 6 (i.e., fraldas) traz bastante diferença aos valores de geração de resíduos sólidos *per capita* para a faixa etária em questão, pois um bebê de 2 anos chega a gerar 1 kg a mais por dia somente de fraldas

suas. No primeiro ano de vida, seriam gerados 239 kg de resíduos de fraldas; no segundo, 330 kg. Este valor é coerente, por exemplo, com o valor estimado de 240 kg por criança por ano (i.e., 0,658 kg/dia) (AQUINO ET AL., 2008) e com a estimacão de 6kg/criança por semana de fraldas sujas (i.e., 0,857 kg/dia), realizada pela empresa americana Knowaste, que recicla este tipo de resíduo (i.e., fraldas infantis e geriátricas e absorventes íntimos) (KNOWASTE, 2017). Nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA) estimou que 3,4 milhões de fraldas foram enviadas a aterros sanitários, em 1998, o que representa 2,1% de todo resíduo sólido enviado para aterros naquele ano (BATISTA, 2004).

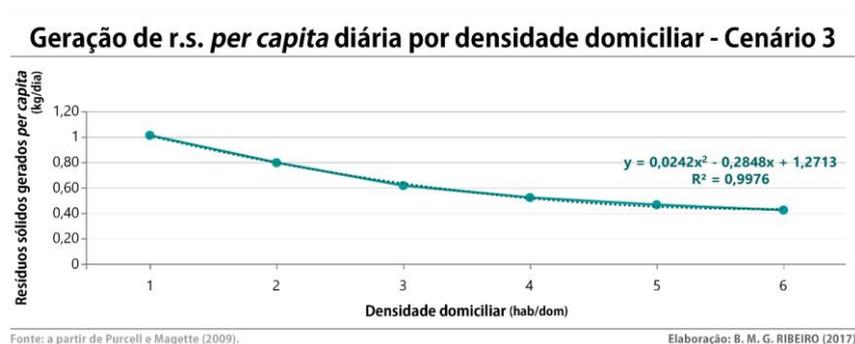
Os gráficos das Figuras 6 e 7 ilustram as relações entre a geração de resíduos sólidos residenciais e faixas de rendimento *per capita* (Fig. 6), e densidade domiciliar (Fig. 7). No gráfico da Figura 8, são relacionados os valores de geração de resíduos sólidos *per capita* por faixas etárias estabelecidos para os Cenários 4, 5 e 6.

Figura 6 - Gráfico da geração de resíduos sólidos residenciais por pessoa por dia conforme faixas de rendimento *per capita* – Cenário 2



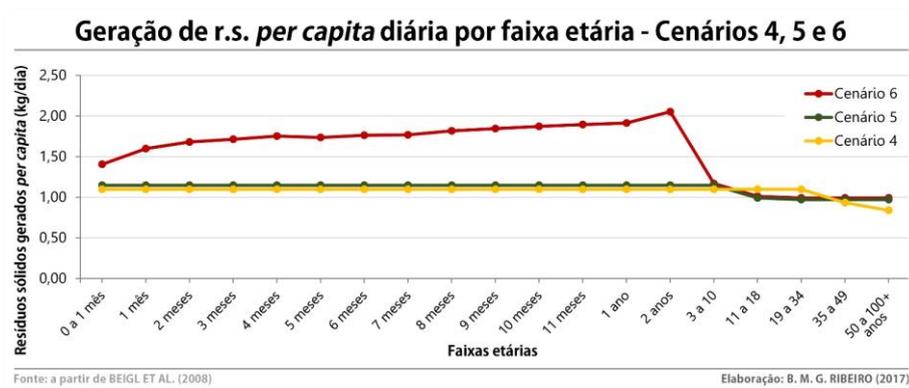
Fonte: RIBEIRO (2017)

Figura 7 - Gráfico da geração de resíduos sólidos residenciais por pessoa por dia conforme densidade de moradores por domicílio – Cenário 2



Fonte: RIBEIRO (2017)

Figura 8 - Gráfico da estimação de resíduos sólidos residenciais *per capita* para as faixas etárias dos Cenários 4, 5 e 6



Fonte: RIBEIRO (2017)

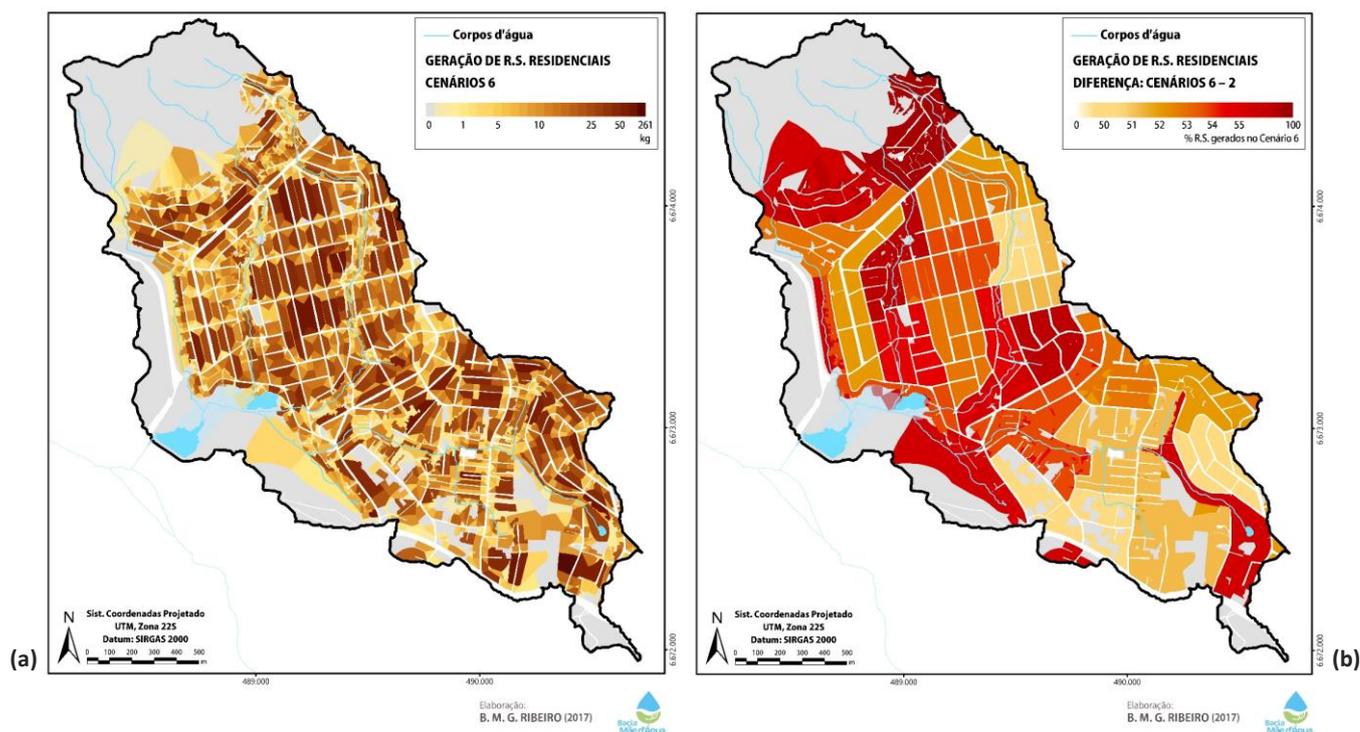
Os mapas da Figura 9 apresentam, no contexto da área de estudo – bacia hidrográfica Mãe d’Água, os resultados obtidos para o Cenários 6 de geração de resíduos sólidos residenciais e a diferença calculada entre os resultados do Cenário 6 e 2, respectivamente. No primeiro, percebe-se que a geração de resíduos sólidos varia espacialmente na área de estudo decorrente do dado socioeconômico utilizado na base da estimativa (i.e., habitantes nos domicílios por faixa etária) (Fig.9a). O segundo mapa apresenta a discrepância entre os resultados calculados para os Cenários 6 e 2, classificando as áreas conforme a concordância entre os resultados encontrados (Fig. 9b).

Análises estatísticas indicam que os resultados obtidos para os seis cenários são altamente correlacionados (coeficientes de Spearman $\rho > 0,9$ e p -valor $< 10^{-6}$). Adicionalmente, os resultados obtidos da aplicação do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para cada par de dados (i.e., Cenário_n versus Cenário_n) permite dizer que os resultados dos Cenários 1, 4, 5 e 6 não são diferentes entre si, mas são diferentes dos conjuntos relativos aos Cenários 2 e 3.

A representação dos seis conjuntos de dados em gráfico tipo *boxplot* (Figura 10) possibilita a análise dos Cenários conforme segue:

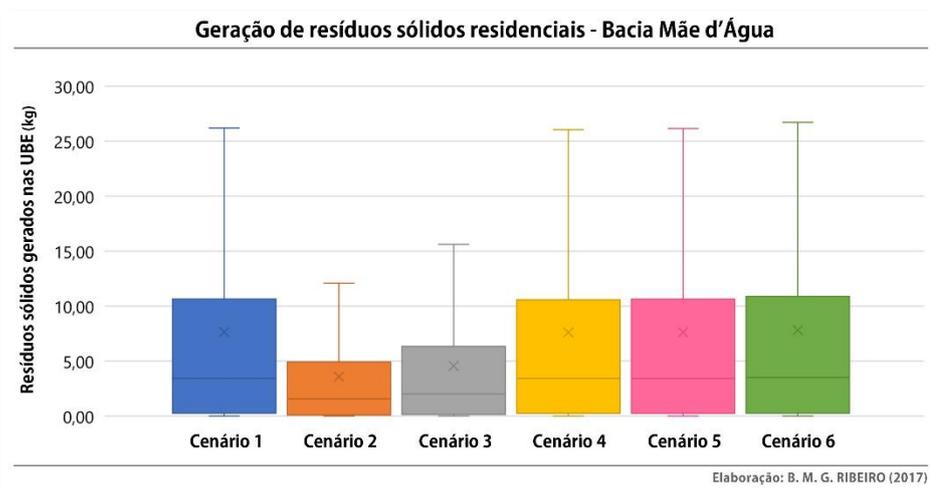
- a) Observada a distância interquartil, conclui-se que os dados obtidos nos Cenários 2 e 3 são os que apresentam menor variabilidade e menor dispersão;
- b) As posições das medianas indicam que os seis conjuntos de dados possuem assimetria negativa;
- c) Os valores mínimos são iguais para os seis conjuntos de dados: igual a zero, i.e., nos seis casos, há locais na base espacial de geração de resíduos sólidos em que não há geração de resíduos;
- d) Os valores máximos são equivalentes nos Cenários 1, 4, 5 e 6, e superiores aos dos Cenários 2 e 3.

Figura 9 - Mapas da geração de resíduos sólidos residenciais na Bacia Mãe d'Água, conforme calculado no Cenário 6(a); e diferença dos valores entre o Cenário 6 e o Cenário 2(b)



Fonte: RIBEIRO (2017)

Figura 10 - Gráfico *boxplot* da distribuição dos dados dos seis conjuntos de resultados da geração de resíduos sólidos residenciais (i.e., Cenários 1 a 6)



Fonte: RIBEIRO (2017)

Na Tabela 2 são apresentados os montantes de resíduos sólidos residenciais calculados para área de estudo. Fica evidente a diferença nos valores obtidos para os Cenários 2 e 6, por exemplo.

Tabela 2 - Valores estimados de geração de resíduos sólidos residenciais (i.e., para cada um dos seis cenários propostos) para a Bacia Mãe d'Água

Resíduos sólidos residenciais gerados (kg/dia)	
Cenário 1	20.939,53
Cenário 2	9.774,78
Cenário 3	12.428,59
Cenário 4	20.912,16
Cenário 5	20.912,16
Cenário 6	21.483,80

Fonte: adaptado de RIBEIRO (2017)

5 CONCLUSÕES

Para o funcionamento dos sistemas de gestão de resíduos sólidos, dados de planejamento relacionados com dados de geração de resíduos têm uma influência essencial sobre os recursos humanos e equipamentos (e.g., caminhões), bem como sobre os custos operacionais com relação à coleta e transporte; e sobre o monitoramento de sistemas (e.g., avaliação dos efeitos da ação de minimização da geração de resíduos, ações de reciclagem, etc.). Tais dados servem como base para melhorias e otimização em termos de metas de sustentabilidade (ambientais, econômicas e sociais) (e.g., DI NINO; BAETZ, 1996).

No presente trabalho, busca-se apresentar modos distintos de estimar a geração de resíduos sólidos residenciais com base nas experiências relatadas na literatura especializada. Para tanto, são utilizados dados socioeconômicos (Censo Demográfico 2010 – IBGE) como parâmetros para construção de seis cenários distintos de geração de resíduos sólidos residenciais.

Adicionalmente, ao Cenário 6 foi considerado o montante de um resíduo comum para certas faixas etárias e que enfatizam a incoerência dos dados médios de geração de resíduos sólidos comumente adotados: fraldas de bebês (i.e., crianças de 0 a 2 anos de idade). Como se pode adotar valores médios de geração de resíduos sólidos residenciais per capita diários da ordem de 0,5 a 0,8 kg quando um bebê de 2 anos de idade gera, somente de fraldas sujas, 1 kg de resíduo por dia? Assim como as fraldas infantis, outros elementos da vida cotidiana podem estar sendo deixados à parte das estimativas de geração de resíduos sólidos, haja vista a grande quantidade de resíduos lançados de forma irregular e ilegal, tanto no ambiente natural, quanto no antropizado.

O fato de os cenários apresentarem resultados diferentes indica que a opção por um ou outro método para se estimar a geração de resíduos pode ter (graves) consequências em todas as etapas subsequentes de planejamento do sistema de infraestrutura de resíduos sólidos. Desta forma, torna-se urgente a compreensão dos modos atuais de consumo e eliminação de resíduos sólidos de cada população em seu contexto, com análises comportamentais e coleta de dados *in loco*.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro à execução deste trabalho sob forma de bolsa de doutorado.

Parameters evaluation for estimating urban solid waste generation

ABSTRACT

Studies and actions taken on an urban watershed scale to identify the “Wastelological Cycle” are essential to avoid or minimize undue waste disposal and, consequently, environmental degradation. Based on the understanding of the “Wastelological Cycle” as the cycle of generation, transportation and final disposal of solid waste, and through the integration of variables related to the physical environment, the socioeconomic characteristics of the population and the conditions of the existing urban infrastructure, it becomes possible to take more efficient and better-informed decision-making in terms of solid waste planning and management. Usually, in the absence of primary data, parameters are used to estimate the amount of solid waste generated by a given population. However, it is believed that the choice of one or another parameter can result in very different data. This work presents the estimation of the generation of residential solid waste (i.e., within the household) by means of the construction of six distinct scenarios, using socioeconomic data and experiments on mass measurement of baby diapers. The study is applied to Mãed’Água dam watershed at Viamão city, Porto Alegre Metropolitan Region, Rio Grande do Sul state, Brazil. The results show that the construction of the scenarios leads to different data between them. This way, it is alerted to the importance of understanding the current modes of consumption and solid waste disposal of each population in its context, with behavioral analysis and in loco data collection.

KEY WORDS: solid waste; generation estimate; baby diapers, environmental planning.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2016**. São Paulo, SP: ABRELPE, 2017. ISSN: 2179-8303. 64p. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>.

AQUINO, A. R.; ABREU, I.; ALMEIDA, J. R. **Análise de Sistema de Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro, RJ: Thex Editora, 2008. 360 p. | SBN: 978-85-7603-032-4.

BATISTA, E. The pooponeco-friendlydiapers. **Wired Online Magazine**, 27 de abril 2004. Disponível em: <<https://www.wired.com/2004/04/the-poop-on-eco-friendly-diapers/?currentPage=all>>.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S. SALHOFER, S. Modelling municipal solidwastegeneration: A review. **Waste Management**, v. 28, n. 1, 2008. p. 200-214. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.12.011.

BRASIL. **Lei de Consórcios Públicos**. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. DOU, S.1 – Atos Poder Legislativo, ano 142, n. 66 de 07/04/2005.

_____. **Lei de Saneamento Básico**. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766/1979, 8.036/1990, 8.666/1993, 8.987/1995; revoga a Lei no 6.528/1978; e dá outras providências. DOU, S.1 – Atos Poder Legislativo, ano 144, n. 5 de 08/01/2007, retificado em 11/01/2007.

_____. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU, S.1 – Atos Poder Legislativo, ano 147, n. 147 de 03/08/2010.

BRUSADIN, M. B. **Análise de instrumentos econômicos relativos aos serviços de resíduos sólidos urbanos**. São Carlos, 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. São Carlos, SP: UFSCar, 2004.

CAMPANI, D. B. **Indicadores socioambientais como instrumento de gestão na coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos**. Porto Alegre, 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS: UFRGS, 2012.

CAMPANI, D. B.; REICHERT, G. A. Gestão integrada de resíduos sólidos – 16 anos de experiência – o caso de Porto Alegre. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 1, n. 1, 2006. p. 1-11.

CIASCA, B. S.; SACCARO JÚNIOR, N. L. **Análise de Instrumentos Econômicos Relativos aos Serviços de Resíduos Sólidos Urbanos**. Diagnóstico dos Instrumentos Econômicos e Sistemas de Informação para Gestão de Resíduos Sólidos. Relatório de Pesquisa. Coord. J. A. MOTA; A. R. ALVAREZ. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2012.

COSTA, S. L. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**. Aspectos jurídicos e ambientais. Aracaju, SE: Evocati, 2011 238 p. ISBN: 8599921096.

CRUZ, F. Crise econômica diminui geração de lixo pela primeira vez em 13 anos. EBC Agência Brasil. São Paulo, SP, 31/08/2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-08/crise-economica-diminui-geracao-de-lixo-pela-primeira-vez-em-13-anos>>. Acesso em: 6 de setembro de 2017.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: Estruturação e aplicação de Modelo não-linear de Programação por metas. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, 2002. p. 143-161.

DI NINO, T.; BAETZ, B. W. Environmental Linkages between Urban Form and Municipal Solid Waste Management Infrastructure. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 122, n. 3, 1996. p. 83-100. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(1996)122:3(83).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo Agregados por Setor Censitário**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2011. Revisado em 22/02/2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/>. Acesso: 25 de abril de 2013.

KAWAI, K.; TASAKI, T. Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 18, 2016. p. 1–13. DOI 10.1007/s10163-015-0355-1.

KNOWASTE. **Calculating your AHP tonnage**. Bromsgrove, Reino Unido: Knowaste, 2017. Disponível em: <<http://www.knowaste.com/local-authorities/calculating-your-ahp-tonnages>>.

LIMA, J. D. DE. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2001. 267 p.

MCDUGALL, F. R.; WHITE, P. R.; FRANKE, M.; HANDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory**. 2. ed. Oxford, Reino Unido: Backwell Publishing, 2001. 544 p. ISBN: 9780632058891.

MCIDADES – MINISTÉRIO DAS CIDADES. SNSA – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS**. Banco de Dados – 2014. Brasília, DF: MCIDADES/SNSA, 2016.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - Contextos e Principais Aspectos**. 10 de junho de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais-aspectos>>. Acesso: 4 de janeiro de 2015.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. DE; BRITO; J. C. X. DE; ALMEIDA, T. P. F. DE; MANSUR, G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. ZVEIBIL, V. Z. (coord. téc.). Rio de Janeiro, RJ: IBAM, 2001. 200 p.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, 2008. p. 111-124.

OLIVEIRA, N. A. DA S. **A percepção dos resíduos sólidos (lixo) de origem domiciliar, no bairro Cajuru-Curitiba-PR: um olhar reflexivo a partir da educação ambiental**. Curitiba, 2006, 173 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, PR: UFPR, 2006.

PENIDO, C. **Desigualdade de renda e lixo doméstico: O poder explicativo da CKA**. Brasília, 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília (UnB). Brasília, DF: UnB, 2008.

PEREIRA, S. S.; MELO, J. A. B. DE. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 4, n. 4, 2008. p. 193-217.

PURCELL, M.; MAGETTE, W. L. Prediction of household and commercial BMW generation according to socio-economic and other factors for the Dublin region. **Waste Management**, v. 29, n. 4, 2009. p. 1237-1250. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.10.011.

REICHENBACH, J. Status and prospects of pay-as-you-throw in Europe – A review of pilot research and implementation studies. **Waste Management**, v. 28, n. 12, 2008. p. 2809-2814. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.07.008.

REICHERT, G. A. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre**. Porto Alegre, 2013. 276 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS: UFRGS, 2013.

RIBEIRO, B. M. G. **Modelagem Socioambiental de Resíduos Sólidos em Áreas Urbanas Degradadas: Aplicação na Bacia Mãe d'Água, Viamão, RS**. Porto Alegre, 429 p., 2017. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR). Porto Alegre, RS: UFRGS, 2017. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001052926&loc=2017&l=a71ecd9213478373>>.

SALLES, A. R. **Relatório Mensal – Coleta Regular Urbana e Rural – Março/2017. n. 0033, 7 de abril de 2017**. Prefeitura Municipal de Viamão (PMV). Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA). Viamão, RS: PMV/SMMA, 2017. 7 p.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 1, 1904. p. 72-101. JSTOR: <http://www.jstor.org/stable/1412159>.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. New York, EUA: McGraw-Hill, 1993. 978 p. ISBN: 9780070632370. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

VIAMÃO - PREFEITURA MUNICIPAL DE VIAMÃO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS**. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos. Rev. 09/2014. Viamão, RS: Prefeitura Municipal de Viamão / Ambiental Consultoria Ambiental Ltda., 2014. 161 p.

Recebido: 5 jun. 2018.

Aprovado: 19 jul. 2018.

DOI: 10.3895/rbpd.v7n3.8652

Como citar: GIACCOM-RIBEIRO, B. M.; MENDES, C. A. B. Avaliação de parâmetros para estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos. **R. bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p.422-443, ago. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Bárbara Maria Giacom Ribeiro

Rua Ernesto Barros, 1345, sala 33 (UFSM), Santo Antônio - CEP 96506-322 - Cachoeira do Sul - RS- Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

