

# 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

*Analysis of the evolution and future estimates of collected domestic solid waste in João Pessoa and its relation with other consumption indicators*

Julie Eugênio da Siva Francisco Medeiros<sup>1</sup>, Adriano Rolim da Paz<sup>2</sup>, Joácio de Araújo Morais Júnior<sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo teve como objetivo geral analisar a variação espaço-temporal da massa coletada dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) dos bairros de João Pessoa entre 2003 e 2010. Foram realizadas a análise preliminar de consistência dos dados de RSD, a determinação de massa de RSD *per capita*, de taxas de variação anual dos valores absolutos e *per capita*, a análise de correlações para o ano de 2010 entre massa de RSD *per capita* e variáveis relativas a renda, educação, consumo de energia e água *per capita*, e traçados três cenários futuros de massa coletada de RSD até 2030. Foi encontrado um aumento de 32,4% na massa coletada de RSD no período de 2003 a 2010, alcançando, em 2010, um equivalente a 0,806 kg.hab<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>, valor coerente com estudo anterior que monitorou três residências unifamiliares no município. Tal crescimento é consequência não apenas do aumento populacional (15,1%), mas também de intensificação de padrões de consumo de bens. A relação entre geração de RSD e padrão de consumo ficou evidente também nas correlações fortes obtidas entre massa de RSD *per capita* coletada e consumo de energia *per capita*, índice de alfabetização e índice de renda domiciliar. Isso corrobora a necessidade de mudança cultural em termos de consumo, desperdício e descarte de resíduos visando a sustentabilidade ambiental. Se o ritmo de geração de resíduos continuar aumentando de acordo com o cenário futuro adotado, projeta-se de 0,85 a 1,78 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> por volta de 2030, aumentando o desafio em termos de coleta, gestão do aterro e necessidade de medidas mitigadoras de potenciais impactos ambientais.

**Palavras-chave:** análise espaço-temporal; geração de resíduos; padrão de consumo.

## ABSTRACT

This paper has the general purpose of analyzing the spatiotemporal variation of the amount of collected domestic solid waste (DSW) in João Pessoa districts between 2003 and 2010. The methodology accomplished a preliminary consistency analysis of DSW data, followed by determining *per capita* of DSW, annual variation rates of absolute values and *per capita* of DSW, correlation analysis for the year 2010 between DSW *per capita* and variables representing income, education, energy and water *per capita* consumption, and three future scenarios of DSW collection were traced until 2030. It was estimated an increase of 32.4% for the total DSW collected in the period 2003-2010, reaching in 2010 an equivalent to 0.806 kg.person<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup>, which is coherent with an earlier study that has monitored three single-family residences in the city. Such an increase is consequence not only of the population growth (15.1%), but also due to intensification in goods consumption. The relationship between DSW production and consumption patterns was highlighted by the strong correlation found between *per capita* of collected DSW and *per capita* of energy consumption, education and income variables. This corroborates the need of a cultural change regarding consumption, misuse and discard of solid waste towards environmental sustainability. If the rate of solid waste generation keeps growing, it is projected between 0.85 and 1.88 kg.person<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> about 2030, which will increase the challenge of collecting the DSW, landfill disposing and management, and the need of actions to mitigate potential environmental impacts.

**Keywords:** DWS; *per capita*; consumption.

<sup>1</sup>Pesquisadora do Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCT) - João Pessoa (PB), Brasil.

<sup>2</sup>Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - João Pessoa (PB), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Adriano Paz - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPB, *Campus I* - Cidade Universitária - 58051-900 - João Pessoa (PB), Brasil - E-mail: adrianorpaz@yahoo.com.br

**Recebido:** 03/07/13 - **Aceito:** 12/08/14 - **Reg. ABES:** 120117

## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos (RS) é um dos grandes fatores contribuintes à crise ambiental, por representar desperdício de matéria e energia, por consumir energia no processo de tratamento pelos impactos ambientais relacionados à disposição final dos resíduos não aproveitados (rejeitos). Dentre os diversos tipos de RS, os resíduos sólidos domiciliares (RSD) se destacam por sua geração estar relacionada a padrões de consumo e de desperdício e ser influenciada por questões como as obsolescências planejada e perceptiva e a existência de ações dirigidas para o reaproveitamento, reúso e reciclagem. Tem-se observado um grande aumento na geração do resíduo conjugado ao consumo *per capita* de bens materiais (MAGRINHO; DIDELET; SEMIAO, 2006). Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2011), de 2010 para 2011 ocorreu no Brasil um aumento de 1,8% na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e um aumento de 0,8% em termos *per capita*, alcançando 381,6 kg.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (1,045 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>), sendo esse aumento superior à taxa de crescimento populacional urbano do país em tal período.

Nesse sentido destaca-se a demanda por informações confiáveis referentes à quantificação dos RSU, pois, do contrário, torna-se inviável que se estabeleçam estratégias acertadas para uma adequada gestão dos resíduos em todas as suas etapas, que incluem desde a coleta até a destinação (BEIGL; LERBERSORGER; SALHOFER, 2008). Entre os objetivos primordiais da gestão dos RS estão a proteção à saúde socioambiental e a conservação dos recursos, levando em consideração a qualidade de vida atual e das futuras gerações, de forma a tornar o meio de vida mais sustentável (BRUNNER & FELLNER, 2007).

Compreender como se caracteriza, se existem e quais são os padrões de geração de RSD em um município pode fornecer importante subsídio para fins de gerenciamento e otimização do processo de coleta, adequação da gestão de recursos humanos, identificação de custos associados a etapas do processo de coleta, gerenciamento de equipamentos e do funcionamento de formas de disposição final dos RSD. Se as informações de geração de RSD forem agregadas à componente geográfica, isto é, for realizada a associação com a localização geográfica de unidades espaciais do município, é possível analisar a existência de padrões espaciais no fenômeno. De fato, a análise espacial de fenômenos e processos permite outro tipo de inferência que não é possível com o uso apenas de dados alfanuméricos.

A análise espacial, também chamada de geográfica ou geoespacial, tem sido utilizada de forma ampla e crescente para quase todas as áreas do conhecimento, em especial diante dos recursos disponibilizados pelos programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em consideração o posicionamento geográfico do fenômeno estudado de forma explícita (CÂMARA *et al.*, 2004).

O uso de SIG tem auxiliado em vários aspectos da gestão dos RS, tais como:

- planejamento e otimização da rota para coleta (SILVA & OLIVEIRA FILHO, 2009; BRASILEIRO *et al.*, 2007), o que pode influenciar nos custos relativos a combustível, manutenção de equipamentos e tempo empregado nessa atividade (FÉLIX, 2009; PASCOAL JUNIOR & OLIVEIRA FILHO, 2010);
- mapeamento de zonas críticas, visando identificar possíveis deficiências nos métodos que definem o processo de coleta e contribuir para o monitoramento e aperfeiçoamento do mesmo (BRAGA *et al.*, 2008);
- rastreamento em tempo real de veículos de coleta, aumentando o controle e a segurança da operação (AREBEY *et al.*, 2011);
- análises espaciais voltadas à seleção de locais de destinação final dos RS (PANDEY; SHARMA; NATHAWAT, 2012; SPERB *et al.*, 2010; JENSEN & CHRISTENSEN, 1986), à seleção da localização de contêineres em sistemas municipais (VIJAY *et al.*, 2008), à correlação da geração de RS com variáveis socioeconômicas, como relativas a nível educacional, renda, urbanização, crescimento econômico, entre outras (PURCELL & MAGETTE, 2009; KESER; DUZGUN; AKSOY, 2012);
- análises temporais de séries históricas de dados para identificar padrões de crescimento ou redução de determinadas variáveis relacionadas com a geração e destinação de RS, bem como na correlação com variáveis socioeconômicas como as já mencionadas no item anterior (KESER; DUZGUN; AKSOY, 2012).

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 (KATES, 2000). Baseados nisso e visando melhor entender padrões temporais, alguns estudos têm empregado o método IPAT para relacionar quantitativamente tais fatores à geração de RS (SOKKA; ANTIKAINEN; KAUPPI, 2007). Esse método estabelece o impacto ambiental (I), que alguns autores têm tomado como a geração de RSD, como o resultado da multiplicação de variáveis relativas ao tamanho populacional (P), à produção de riqueza (A) e ao nível de desenvolvimento tecnológico (T).

Paralelamente, ao conseguir identificar e explicar padrões de geração de RS, espacial e temporal, a relação da geração de RS com fatores como população, riqueza e tecnologia via método IPAT pode servir para prever quantitativamente a geração futura de RS (SOKKA; ANTIKAINEN; KAUPPI, 2007). Tal previsão, mesmo com as incertezas existentes, auxilia no planejamento de investimentos no gerenciamento de RS, de adequação de rotas de coleta, de manejo de aterro sanitário e até para orientar ações de promoção da redução da geração de RS.

Esta pesquisa teve como área de estudo o município de João Pessoa (PB) e visou quantificar e analisar a massa coletada dos RS domésticos por bairros e setores da cidade anualmente, desde o ano da abertura do aterro sanitário, em 2003, até 2010. São avaliados padrões espaço-temporais da massa de RSD coletada e realizadas projeções de cenários futuros, bem como é analisada a relação da massa coletada com

variáveis socioeconômicas, a fim de gerar subsídios norteadores da gestão de RSD no município de João Pessoa.

## METODOLOGIA

### Caracterização da área de estudo e dados disponíveis

A área de estudo desta pesquisa englobou o município de João Pessoa, capital da Paraíba, que se estende por 211,5 km<sup>2</sup>, com uma densidade demográfica de 3.421,30 hab.km<sup>-2</sup> (IBGE, 2010), e é dividida em 64 bairros e uma reserva ambiental denominada Mata do Buraquinho (Figura 1). Até o ano de 2003, a forma de destinação final dos RSU do

município era um lixão a céu aberto, conhecido como Lixão do Róger, por se localizar no bairro de mesmo nome. Foi criado com vida útil de 3 anos, mas seu funcionamento durou 45 anos. Em 2003 foi inaugurado o aterro sanitário, que recebe desde então RSU coletados em todos os bairros do município (NÓBREGA, 2003).

A coleta de RSU no município de João Pessoa é realizada por veículos coletores (os modelos variam de acordo com a acessibilidade local e seguem rotas pré-selecionadas de acordo com a área e empresa responsável). A Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de João Pessoa (EMLUR/PMJP) gerencia as coletas domiciliares e as demais empresas que terceirizam a coleta são licitadas (JOÃO PESSOA, 2011).

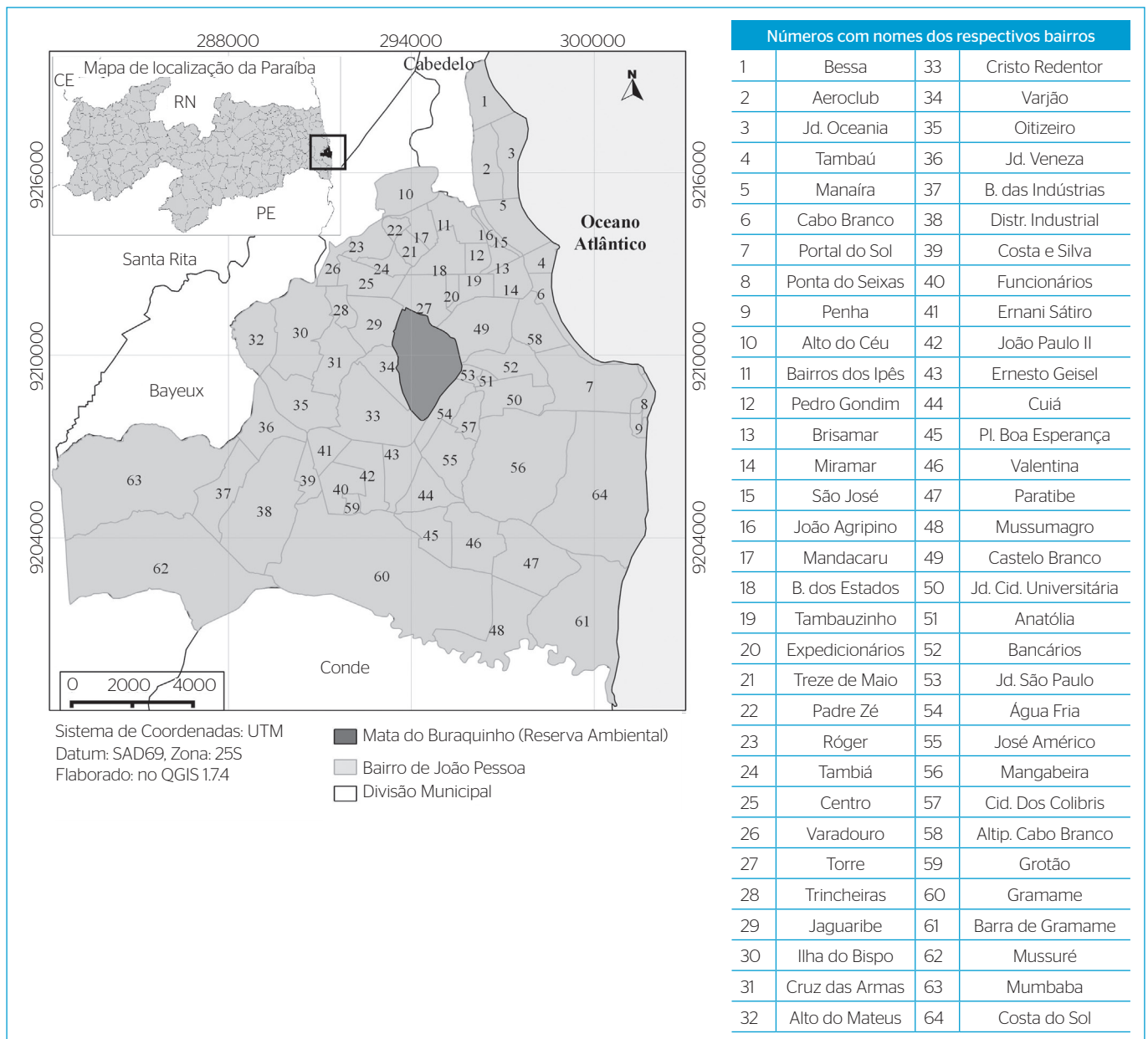


Figura 1 - Localização do município de João Pessoa e divisão em 64 bairros.

Para a metodologia desta pesquisa, as informações utilizadas de RS são referentes à massa coletada mensal de RSD conduzida ao aterro sanitário, excluindo os resíduos referentes à limpeza pública, no período de 2003 a 2010 (por bairro), adquiridas após consulta à EMLUR/PMJP. Convém ressaltar que, em João Pessoa, parte dos RSD gerados é coletada por catadores de material reciclável, quer seja individualmente ou em cooperativas, e essa parcela coletada de RSD não está contabilizada nos dados disponibilizados para esta pesquisa. Entretanto, tal parcela representa uma porcentagem muito pequena do total de massa coletada mensal de RSD do município. Como dados auxiliares para o desenvolvimento da pesquisa, foram obtidas informações sobre o consumo mensal de energia elétrica por bairro para o ano de 2010 após contato com a concessionária responsável (ENERGISA) e dados de consumo mensal de água por setores cedidos pela concessionária de abastecimento local (CAGEPA), também para o ano de 2010. Os dados populacionais por bairro foram obtidos da Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa (SEPLAN/PMJP). Originários do Censo do IBGE, tais dados são referentes exclusivamente aos anos de 2000, 2007 e 2010.

A base cartográfica com os limites dos bairros de João Pessoa foi obtida também na SEPLAN/PMJP, em formato vetorial com sistema de projeção cartográfica *Universal Transversa Mercator* (UTM), Zona 25S, Datum SAD69 (South American Datum, 1969). Foram coletados do IBGE dados referentes ao PIB anual em termos de preços correntes e *per capita* para o município de João Pessoa no período de 2003 a 2010.

As informações relativas à renda e à alfabetização foram adquiridas com base no Censo Demográfico do ano de 2010 (IBGE, 2010). Os dados selecionados relativos à renda são referentes ao percentual do número de domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal domiciliar maior do que dois salários mínimos. Os dados relativos à alfabetização são referentes ao percentual de habitantes com mais de 10 anos que são alfabetizados em cada bairro.

## Análise preliminar dos dados populacionais e de resíduos sólidos domiciliares

Uma série de procedimentos preliminares foi realizada nos dados utilizados nesta pesquisa, a fim de eliminar inconsistências e converter para unidades ou variáveis de interesse (Figura 2). Para os dados de RSD, foi elaborado um diagrama de Gantt e identificada a presença de várias falhas nos dados, isto é, a ausência de informações em vários meses ou até anos inteiros para alguns dos 64 bairros do município. Analisando a massa de RSD *per capita* por bairro ao longo do tempo, observou-se a existência de valores considerados irrealistas. Apesar das flutuações a que estão sujeitas a geração e a coleta de resíduos domiciliares, considera-se que algumas variações de valores muito intensas não podem ser atribuídas a tais flutuações e devem representar inconsistências nas informações disponibilizadas. Tais inconsistências podem

ser resultantes da perda de informações registradas no aterro sanitário ou de problemas na transcrição de dados para o formato digital.

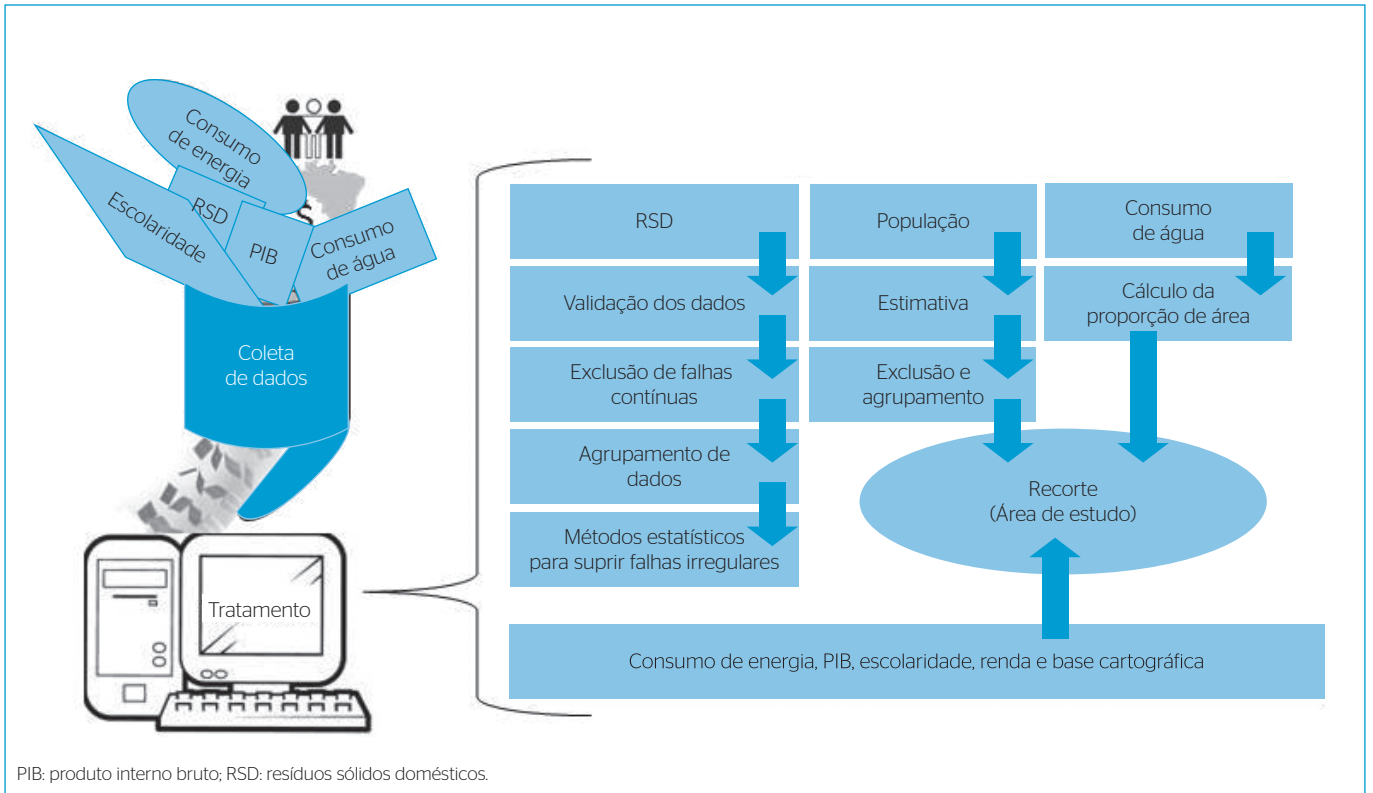
Esse problema foi verificado quase exclusivamente nos bairros que se encontram ao sul do município, que apresentam menor densidade de ocupação urbana. Por serem áreas pouco urbanizadas, o desenvolvimento de novas áreas representa grandes variações populacionais, o que poderia justificar aumentos significativos da geração de RS. Por sua vez, provavelmente essas são as áreas do município com maior irregularidade na coleta de resíduos, ou nas quais a massa de resíduos disposta inadequadamente pelos moradores em terrenos baldios seja proporcionalmente maior. Isso contribui para que os valores de massa coletada registrados na chegada do aterro tenham oscilações de várias ordens de grandeza em meses adjacentes, intercaladas por valores nulos ou ausentes. Enfim, são dados irregulares e bastante suspeitos de incoerência que foram então excluídos das análises deste trabalho.

Dependendo da disponibilidade de dados de RSD de cada bairro, para alguns deles a ocorrência de dados faltantes ou considerados inconsistentes foi substituída por preenchimento a partir dos dados de meses ou anos adjacentes, para não excluir o bairro da análise e não desperdiçar os demais anos com dados completos. Nesses casos, ao longo de um determinado ano, a falha no dado mensal foi preenchida pelo valor médio dos demais meses com dados válidos desse ano desse bairro. Nos casos de falhas por todo o ano, o valor do total anual foi preenchido pela média aritmética dos anos anterior e posterior do bairro, seguida da distribuição desse total anual pelos meses segundo a proporção verificada nos anos anterior ou posterior, conforme a disponibilidade de dados completos nesses anos.

Outra análise preliminar realizada para os dados de massa coletada de resíduos se referiu à identificação de possível “contaminação” dos dados entre bairros, já que é possível que alguns roteiros dos veículos de coleta perpassem os limites dos bairros, de forma que parte dos resíduos coletados registrados para um determinado bairro pode ser originada na verdade de outro bairro. Parte das inconsistências nos totais de massa coletada de RSD inicialmente detectada tem como origem a mistura entre dados referentes a bairros distintos. Contudo, quando os valores de massa referentes a dois ou mais bairros vizinhos são considerados de forma conjunta, a informação se torna coerente, em termos de massa de RSD *per capita*. Procedeu-se, então, em determinados casos, à unificação de alguns bairros em unidades espaciais maiores. As informações de massa coletada de RSD não são alteradas, apenas há alguma perda da representação espacial da variável.

Seguindo todos esses procedimentos, o universo da pesquisa foi reduzido para 55 bairros, representados em 38 unidades espaciais, cuja população em 2010 corresponde a 93,4% do total do município (Figura 3).

A partir dos dados populacionais por bairro para os anos de 2000, 2007 e 2010 foram estimados os totais populacionais para os anos intermediários entre tais anos, considerando uma aproximação linear.



PIB: produto interno bruto; RSD: resíduos sólidos domésticos.

Figura 2 - Esquema da análise preliminar de dados.

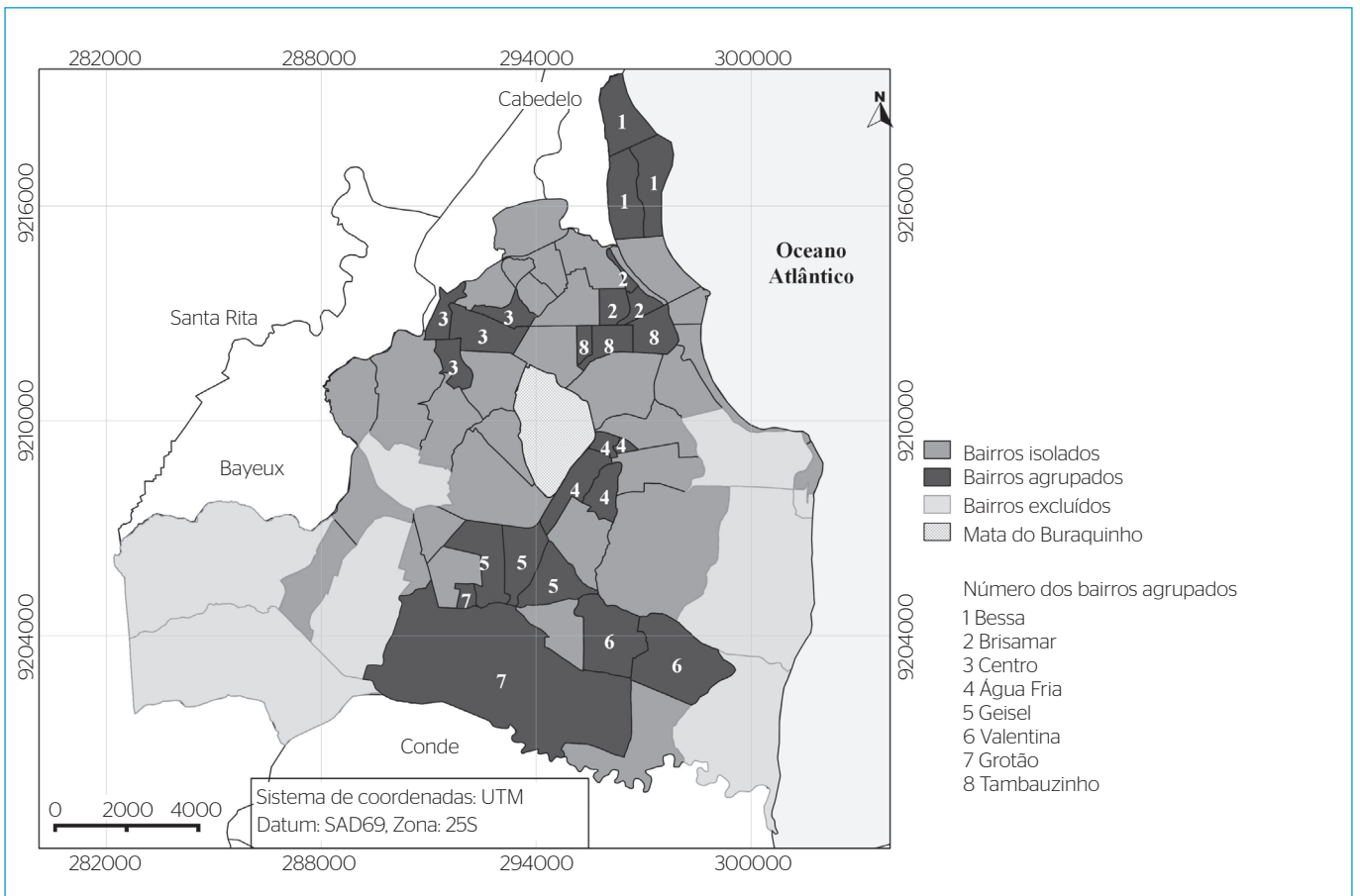


Figura 3 - Identificação das unidades espaciais da pesquisa na forma de bairros isolados ou agrupamento de bairros.

Assumiu-se um crescimento populacional constante e linear de 2000 a 2007, assim como para o período de 2007 a 2010, para cada unidade espacial do universo da pesquisa (bairros isolados ou agrupados).

### Correlação da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares com variáveis socioeconômicas

Para o ano de 2010, foi determinada a correlação da massa de RSD *per capita* com variáveis socioeconômicas, por unidade espacial: o consumo *per capita* de água e de energia, uma variável referente à renda, e a outra, à alfabetização.

Uma abordagem específica foi necessária para a conversão dos dados de consumo de água delimitados por setores da concessionária responsável para dados delimitados por bairros. Foi realizado o cruzamento entre as delimitações de setores e bairros, e a determinação do consumo de cada bairro foi obtida pela média ponderada dos consumos dos setores abrangidos total ou parcialmente pelo bairro, considerando como pesos as proporções do bairro situadas dentro de cada setor. Nesse procedimento, assume-se que a informação referente ao consumo de água em cada setor censitário seja considerada homogênea ao longo da sua delimitação. Para as unidades espaciais formadas por mais de um bairro, o passo adicional consistiu em somar os consumos dos bairros envolvidos.

Em relação aos dados de consumo de energia, foi constatada a ausência de informações em algumas unidades espaciais, o que levou a formar um subdomínio de estudo especificamente para as análises de correlação entre massa coletada *per capita* de RSD e variáveis socioeconômicas. O total de unidades espaciais nas análises de correlação é de 36.

Os dados de consumo de água e de energia foram convertidos para consumos *per capita* pela divisão dos consumos pela população para cada unidade espacial.

Para as quatro variáveis (consumo de água *per capita*, consumo de energia *per capita*, percentual do número de domicílios com rendimento nominal mensal maior do que dois salários mínimos e percentual de habitantes com mais de 10 anos de idade que são alfabetizados), foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r_p$ ) e de Spearman ( $r_s$ ). A  $r_p$  avalia o grau de relação linear entre duas variáveis. Embora tal correlação seja a mais amplamente utilizada em estudos ambientais, tem a desvantagem de que fortes relações não lineares entre variáveis podem não ser detectadas (WILKS, 2006). Por esse motivo, nesta pesquisa também foi utilizada a  $r_s$ , cujo coeficiente é calculado transformando as duas variáveis para postos (ou *rankings*) e calculando o coeficiente de Pearson aplicado às séries de *rankings*. Dessa forma, o coeficiente de Spearman permite identificar relação entre duas variáveis mesmo que não seja linear, sendo considerada uma correlação mais robusta (WILKS, 2006).

Para o tamanho amostral das análises de correlação ( $n=36$ ) e considerando um nível de significância de  $\alpha=5\%$ , um coeficiente de Pearson com

valor acima de 0,32 (valor crítico) é considerado significativo, ou seja, tem-se evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de não haver correlação. Analogamente, para o coeficiente de Spearman o valor crítico é de 0,33.

### Aplicação do método IPAT para o período 2003-2010

A abordagem IPAT estabelece que:

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (1)$$

onde: o I representa o impacto ambiental, tomado aqui como massa de RSD, P é a população, A é o poder aquisitivo e T é a tecnologia.

Nesta pesquisa, tal método foi aplicado seguindo procedimento de Sokka, Antikainen e Kauppi (2007), tomando as variáveis em termos de variação relativa ao tempo e considerando: para o termo I (impacto ambiental) a massa coletada de RSD *per capita*; para o termo P a população; para o termo A o PIB *per capita*; e para o termo T a tecnologia.

A partir da equação original do IPAT (equação 1), fazendo a derivada em relação ao tempo obtém-se a expressão (2):

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta T}{T} \quad (2)$$

onde:  $\Delta I$  é a variação absoluta de I em certo período de tempo (nesta pesquisa foi considerado o intervalo de um ano) e  $\Delta I/I$  é a variação relativa de I nesse período de tempo; e de forma análoga para P, A e T.

A equação 2 foi aplicada ano a ano para o período de 2003 a 2010. Em cada ano, como são conhecidas as variações anuais relativas da massa coletada de RSD *per capita*, de população e de PIB *per capita*, a referida equação foi usada para determinar a variação relativa do fator tecnologia.

### Análise IPAT e projeção de cenários futuros

Da análise do período de 2003 a 2010, pelo método IPAT, é possível obter as variações que ocorreram em termos populacionais e de PIB *per capita*, bem como a variação do fator tecnológico. A análise desses valores permite criar cenários futuros de projeção de massa coletada de RSD, ou seja, assumindo determinadas taxas de variação relativa de tamanho populacional, PIB *per capita* e fator tecnológico, estima-se a variação relativa futura da massa *per capita* de RSD. Tais cenários foram estabelecidos da seguinte forma:

- a taxa de variação relativa populacional foi mantida constante e tomada com base no valor médio observado no período de 2003 a 2010;
- a taxa de variação relativa do PIB *per capita* foi mantida constante e tomada com base no valor médio observado no período de 2003 a 2010;

- a taxa de variação relativa do fator tecnológico foi mantida constante ao longo do tempo, mas com três valores distintos para cada cenário: um cenário tendencial ou intermediário (Cenário II) de desenvolvimento tecnológico, com taxa igual à média do período de 2003 a 2010; e dois cenários alternativos, com taxas acima e abaixo desse valor médio histórico, configurando os Cenários I e III, respectivamente;
- dadas as taxas de variação relativa de P, A e T, foi calculada a taxa de variação relativa de massa *per capita* de RSD usando a equação 2;
- a projeção dos cenários foi realizada anualmente, a partir de 2010 até o horizonte de 2030, ou seja, 20 anos à frente em relação aos dados observados disponíveis, para cada um dos três cenários;
- a partir dos valores projetados de massa *per capita* de RSD e de população, foram estimados os totais de massa de RSD anualmente até o horizonte de 2030;
- considerando-se simplificada que cada unidade espacial contribuirá no futuro para a massa coletada de RSD total do município na mesma proporção com que contribuiu em 2010, as projeções de massa coletada total de RSD anualmente foram distribuídas pelas unidades espaciais, obtendo-se projeções relacionadas à unidade espacial.

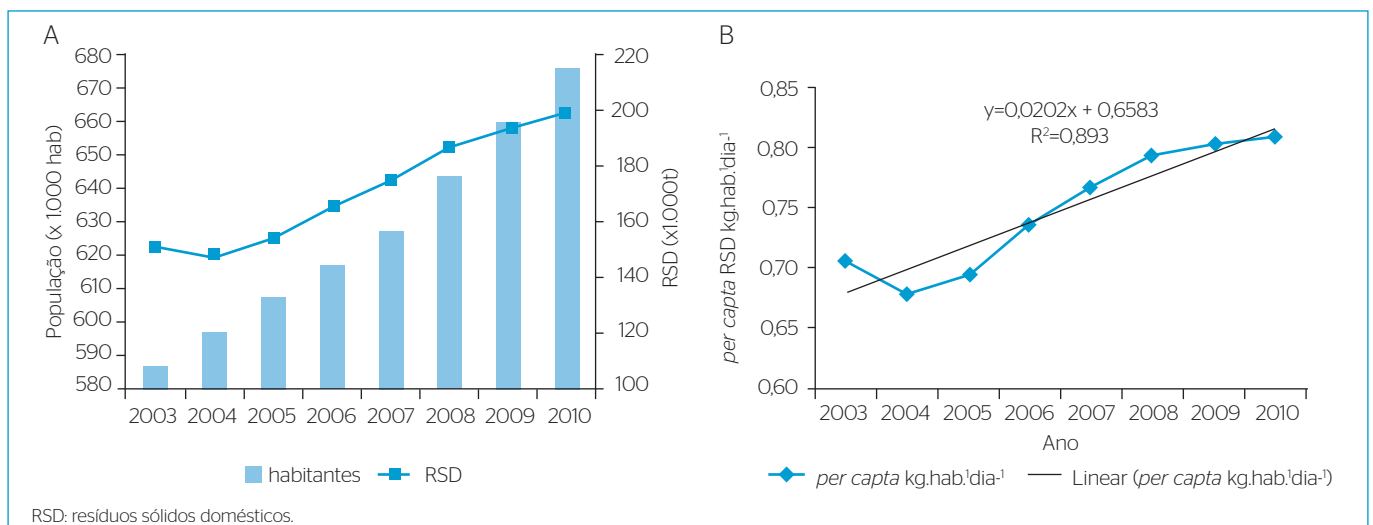
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de massa coletada de RSD nas 38 unidades espaciais analisadas nesta pesquisa totalizou 150.982 t em 2003 e 198.870 t em 2010, o que representa um aumento de 32,4% nesse período de 7 anos (Figura 4). No mesmo período, a população da área correspondente aumentou de 587.219 para 676.112 habitantes, cerca de 15,1%. Ou seja, tem-se proporcionalmente o dobro do aumento da massa de RSD em relação ao aumento populacional, o que é devido ao aumento da geração de RSD *per capita*. De fato, a massa coletada de RSD *per capita* passou

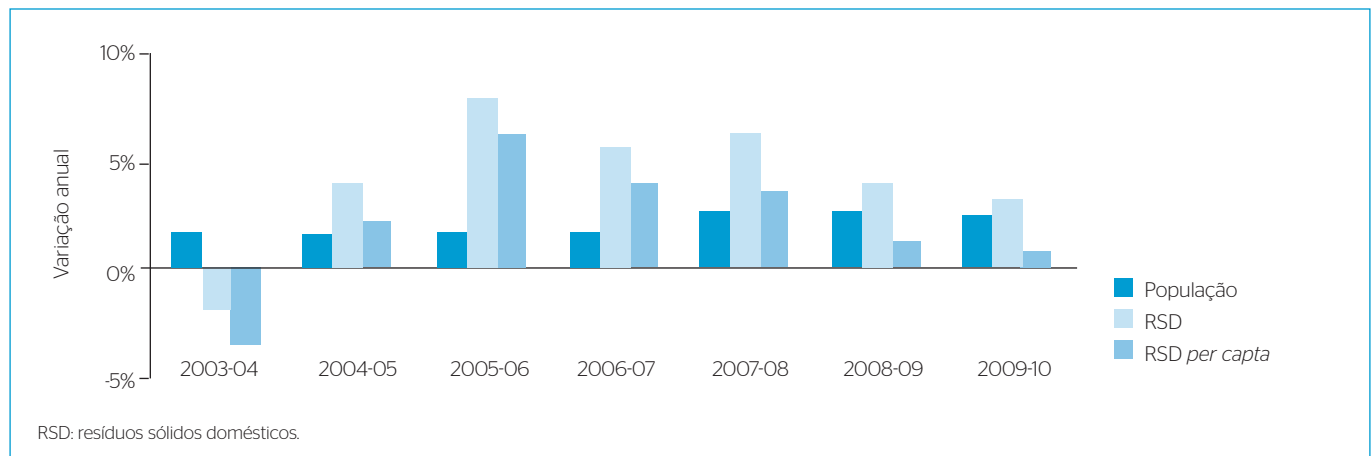
de 0,704 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> em 2003 para 0,806 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> em 2010, o que representa um aumento de 14,4%. O crescimento da massa coletada de RSD *per capita* segue aproximadamente de forma linear.

Os valores de massa coletada de RSD *per capita* obtidos estão coerentes com o valor médio de 0,8 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> encontrado por Onofre (2011) em estudo que monitorou a geração diária de RSD por até 6 meses em 3 residências unifamiliares em João Pessoa. Por sua vez, os valores obtidos nesta pesquisa estão abaixo das estimativas de coleta de RSU *per capita* para a Região Nordeste (0,982 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) e para a Paraíba (0,916 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) para o ano de 2010 apresentados pela ABRELPE (2011). Isso também está coerente, visto que os RSD são um subgrupo dos RSU, que englobam resíduos comerciais, hospitalares, de varrição, entre outros.

De modo geral, tem-se um crescimento aproximadamente linear na massa coletada de RSD no período estudado, exceto na transição de 2003 para 2004 (Figura 5). Nesse período, foi obtido um decréscimo de 1,9% na massa coletada de RSD, que contrasta com o crescimento de 1,7% na população e resulta em uma redução de 3,6% na massa coletada de RSD *per capita*. É possível que tal redução não tenha ocorrido na realidade e seja efeito de que em 2003, por ter sido o ano inaugural do aterro sanitário, tenham sido misturados, perdidos ou acrescentados resíduos do próprio antigo Lixão do Róger (que recebia os resíduos das cidades circunvizinhas, Bayeux, Santa Rita e Conde). No período de 2004 a 2010, verificou-se um crescimento da massa coletada de RSD em torno de 5,1% ao ano, em média, tendo alcançado um crescimento anual máximo de 7,9% de 2005 para 2006. A massa coletada *per capita* aumentou, em média, 3,0% ao ano, com pico de crescimento de 5,6% também no período de 2005 para 2006. O aumento contínuo desse valor *per capita* pode ser entendido como um aumento da geração de RSD, o que por sua vez está relacionado ao aumento do padrão de consumo de bens pela população.



**Figura 4 -** População e massa coletada de resíduos sólidos domiciliares em termos absolutos (A) e *per capita* (B) no período de 2003 a 2010 no espaço amostral da pesquisa.



**Figura 5** - Variação anual da população, da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares em termos absolutos e *per capita* no período de 2003 a 2010 (valores em termos relativos ao ano anterior).

A distribuição espacial da população e da massa coletada de RSD, em termos absolutos e *per capita*, para o ano de 2010 é apresentada na Figura 6. Observa-se maior concentração populacional na Zona Sul da cidade, cuja população equivale a cerca de 43% do município, com destaque para os bairros de Mangabeira, o agrupamento denominado Valentina, formado pelos bairros Planalto da Boa Esperança, Valentina e Paratibe, e o agrupamento denominado Geisel, formado pelos bairros do João Paulo II, Geisel e Cuiá, com população em torno de 23, 11 e 8 mil habitantes, respectivamente. A geração de RSD em termos absolutos segue esse padrão de distribuição populacional, mas em termos *per capita* existem alterações, com maiores valores em bairros como o agrupamento do Centro, composto pelos bairros Centro, Varadouro, Tambiá e Trincheiras, nas Zonas Norte e Oeste, e o bairro de Tambaú, na Zona Leste.

Além do fator populacional, a distribuição espacial da massa coletada de RSD está relacionada a fatores socioeconômicos, como indicam as correlações obtidas entre a massa *per capita* de RSD e as quatro variáveis avaliadas (Tabela 1): consumo de água *per capita*, consumo de energia *per capita*, percentual do número de domicílios com rendimento nominal mensal maior do que dois salários mínimos, percentual de habitantes com idade superior a 10 anos que são alfabetizados. De forma geral, foram obtidas correlações positivas e consideradas altas, todas estatisticamente significativas ( $\alpha=5\%$ ), exceto para o coeficiente de Spearman referente à variável consumo de água.

A maior correlação foi obtida para a variável grau de alfabetização ( $r_p=0,72$ ;  $r_s=0,75$ ). O nível educacional pode ser considerado como um indicador essencial de desenvolvimento econômico e social, influenciando no estilo de vida. Quanto maior o grau de educação de uma população, mais elevado é o padrão de vida e, conseqüentemente, maior a geração de RSD (KESER; DUZGUN; AKSOY, 2012).

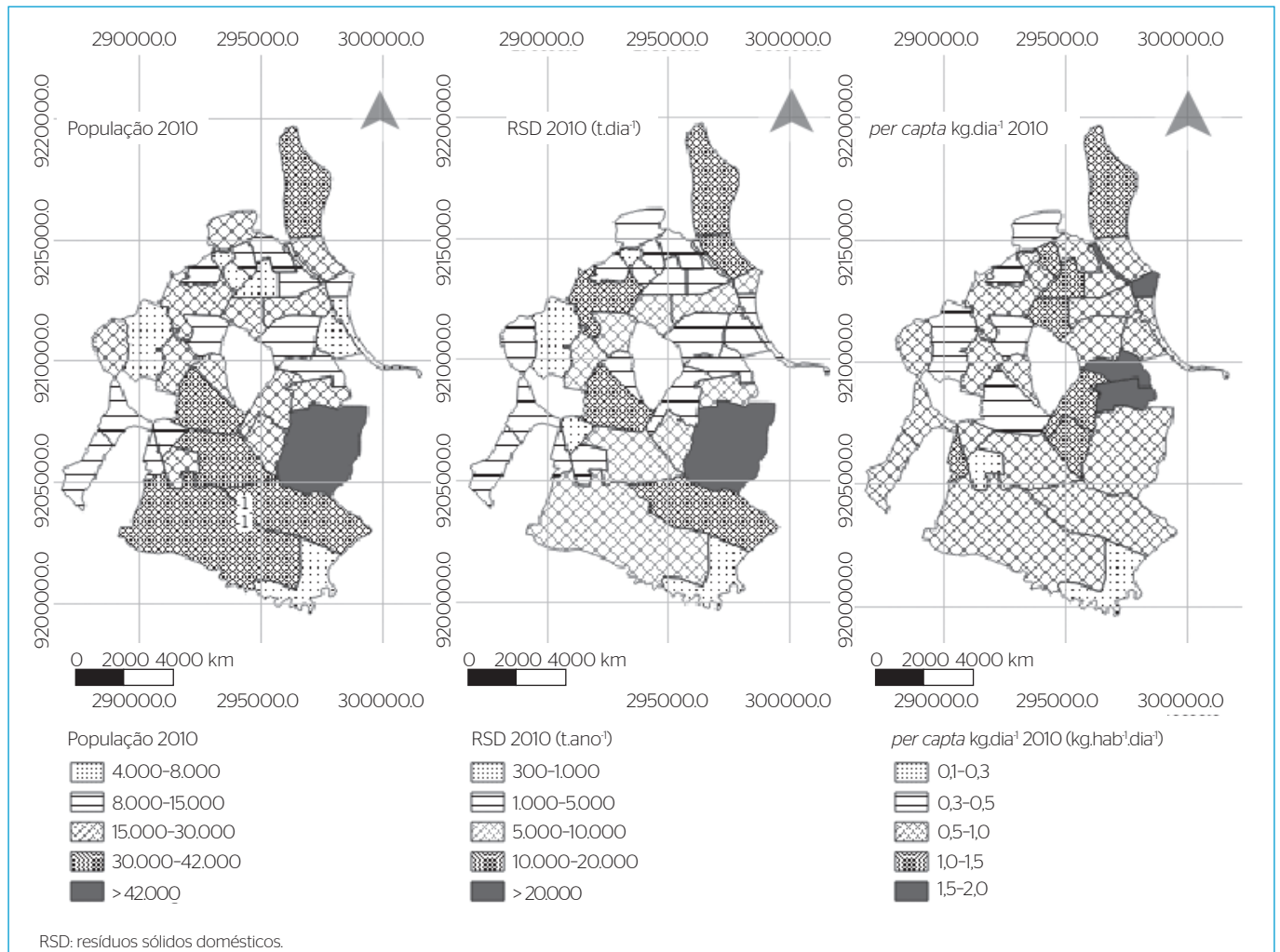
A correlação positiva e relativamente alta com a variável renda ( $r_p=0,61$ ;  $r_s=0,69$ ) também se explica parcialmente pelos motivos

expostos para a variável educacional, já que o maior grau de instrução induz à maior renda. De fato, o poder aquisitivo, o estilo de vida e o padrão de consumo tendem a estar positivamente correlacionados com a produção de resíduos (MELO; SAUTTER; JANISSEK, 2009). Uma maior correlação com a variável relativa à escolaridade do que com a variável relativa à renda pode ocorrer devido a outros fatores atrelados ao nível de instrução que perpassam o caráter de poder de consumo, que é diretamente associado à questão da renda. Por exemplo, pessoas com nível educacional mais elevado tendem a se interessar por novos produtos e a ter mais acesso a eles, tendo maior probabilidade de consumi-los (KESER; DUZGUN; AKSOY, 2012), o que aumenta o descarte. Por sua vez, ocorre com maior frequência o reúso de itens de embalagem de consumo feito por famílias de baixa renda, o que também contribui para correlação positiva entre renda e geração de RSD (JOHNSTONE & LABONNE, 2004).

Também deve ser comentado que nas áreas onde vive a população de renda mais baixa a coleta de RSD pode não ser tão eficiente quanto a que ocorre nos bairros de maior renda, devido à menor frequência da coleta, o que pode induzir ao descarte de parcela dos resíduos em terrenos baldios, reduzindo a massa coletada de RSD. Tal fator também contribui no sentido de correlação positiva entre renda e geração de RSD, enquanto a ocorrência da coleta seletiva preponderantemente em alguns bairros de maior renda tende a contribuir para amenizar tal correlação, embora provavelmente com menor importância. A questão do tipo de habitação, se unifamiliar (casa) ou multifamiliar (apartamento), também pode influenciar no padrão de geração de RSD, visto que no primeiro tipo pode haver resíduos de quintais e jardins agregados na massa coletada de RSD (ONOFRE, 2011).

Como regra, tem-se que, com o aumento da renda, há tendência ao aumento do padrão de consumo de bens e também do consumo de água e energia. Os resultados de correlação da massa coletada *per capita* de RSD com consumo de energia *per capita* foram considerados altos





**Figura 6** - População, massa coletada de resíduos sólidos domiciliares em termos absolutos e *per capita* referentes ao ano de 2010 por bairro do município de João Pessoa.

**Tabela 1** - Coeficientes de correlação de Pearson e de Spearman entre a massa coletada de resíduos sólidos domiciliares *per capita* anual por bairro de João Pessoa e variáveis socioeconômicas relativas ao ano de 2010.

Coefficiente	Consumo de energia per capita	Consumo de água per capita	Percentual de alfabetizados com 10 anos ou mais	Percentual de domicílios com renda superior a 2 salários mínimos
$r_p$	0,58	0,37	0,72	0,61
$r_s$	0,59	0,21	0,75	0,69

$r_p$ : correlação de Pearson;  $r_s$ : correlação de Spearman.

( $r_p=0,58$ ;  $r_s=0,59$ ), enquanto os resultados da correlação com consumo de água *per capita* foram bem inferiores ( $r_p=0,37$ ;  $r_s=0,21$ ). De certa forma, pode-se considerar que o consumo de energia seja um indicador mais forte de maior padrão de consumo de forma geral da população do que o consumo de água.

Alguns fatores que levam à correlação entre padrão de consumo de bens e de energia podem ser relativos à questão do aumento da renda: maior facilidade de aquisição de itens que consomem energia, como produtos eletroeletrônicos, aparelhos de ar-condicionado e chuveiros elétricos; menor peso proporcional do custo da energia no orçamento doméstico conforme se aumenta a renda; maiores dimensões

das residências, o que aumenta o custo de iluminação, além do maior uso da iluminação para fins estéticos. O aumento da renda também induz ao maior consumo de água, com maior uso de lavagem de roupas, uso mais demorado de chuveiros e também menor peso proporcional do custo da água no orçamento doméstico, mas acredita-se que tal aumento seja proporcionalmente menor do que o aumento do consumo de energia. Ao consumo de água estão associados fatores como ausência de medições individuais em alguns casos de prédios residenciais e vazamentos nas instalações hidráulicas, situações que afetam o padrão de consumo esperado por certo tipo de população. Assim, pode-se esperar correlação mais fraca entre consumo de

água e geração de RSD, do que entre consumo de energia e geração de RSD. Contudo, limitações na qualidade das informações fornecidas de consumo de água podem ter levado a reduzir ainda mais a correlação encontrada nesta pesquisa.

Na pesquisa realizada por Onofre (2011), que monitorou e quantificou a geração de RSD em três domicílios de João Pessoa, bem como o consumo de água e de energia, foram obtidas correlações de  $r_p=0,30$  entre geração de RSD *per capita* e consumo de água *per capita*, e de  $r_p=0,07$  entre geração de RSD *per capita* e consumo de energia *per capita*. Embora a correlação entre geração de RSD e consumo de água *per capita* esteja bem próxima à obtida nesta pesquisa, o estudo de Onofre (2011) tem diferenças substanciais em termos de escalas (abrangência) em termos de discretização espacial e temporal a esta pesquisa, o que faz com que fatores distintos venham a interferir para explicar a existência ou não de relação entre padrão de geração de resíduos e de consumo de água e de energia nas duas pesquisas.

As correlações discutidas se referem à relação entre a massa coletada de RSD e variáveis socioeconômicas em termos de unidades espaciais, e não em relação ao tempo. Entretanto, também são esperadas relações semelhantes ao longo do tempo, à medida que a renda e outros fatores, como o grau de instrução, aumentam. Tais relações ao longo do tempo não foram objeto de estudo desta pesquisa, mas a abordagem IPAT foi aplicada com taxas de variação ao longo do tempo, relacionando a taxa de variação da população, da riqueza (representado pelo PIB *per capita*) e de um fator tecnológico com a taxa de variação da massa coletada de RSD *per capita* (Tabela 2).

Para o período com dados disponíveis, 2003 a 2010, tem-se que a população variou em torno de 1,5% ao ano entre 2003 e 2007, e depois

em torno de 2,5% ao ano de 2007 a 2010, com crescimento médio anual no período completo de 1,9%. O PIB *per capita* variou entre 9,9 e 17,3%, à exceção do período de 2003 a 2004, cujo crescimento anual foi de apenas 2,4%. Interessante notar que esse aumento reduzido do PIB *per capita* nesse período pode ter sido outro fator para contribuir para que o total de massa coletada de RSD em 2004 não tenha aumentado substancialmente em relação a 2003. A variação da massa de RSD *per capita* anual já é discutida ao comentar os resultados da Figura 5. Para cada ano, a partir dos resultados de variação da população, do PIB *per capita* e da massa de RSD *per capita*, foi determinada a variação anual do fator tecnológico, que foi sempre negativa e dentro do intervalo de -7,3 a -12,8%.

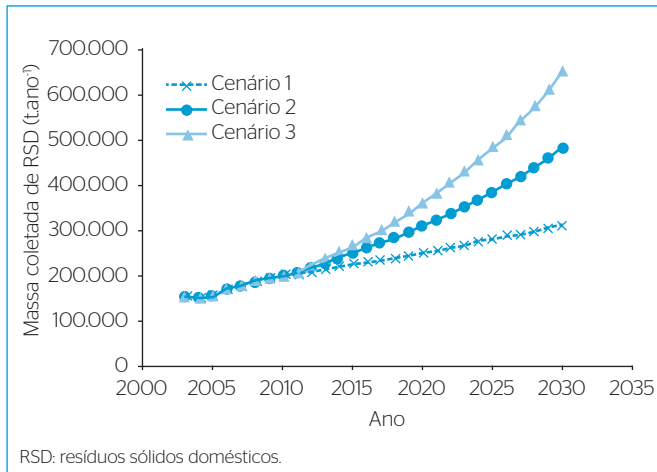
Para os cenários futuros, manteve-se um crescimento médio constante da população e do PIB *per capita* próximo do valor médio obtido para o período de 2003 a 2010. Para o fator tecnológico, que é a principal fonte de incerteza do método, foi considerado o valor médio do período de 2003 a 2010 para compor o Cenário II, e os valores mínimo e máximo de tal período para compor os Cenários I e III, respectivamente, desprezando a variação do período de 2003 a 2004 por se considerar anômala em relação ao período completo.

Dessa forma, foram obtidas projeções das variações anuais da massa coletada de RSD *per capita* de 0,2% (Cenário I), 2,4% (Cenário II) e 4,0% (Cenário III). Segundo tais projeções, a massa coletada de RSD *per capita* em 2030 seria de 0,851 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> no Cenário I, de 1,301 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> no Cenário II e de 1,775 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> no Cenário III. Isso representaria totais de massa coletada de RSD, em 2030, em torno de 312.000, 477.000 e 651.000 t nos Cenários I, II e III (Figura 7), respectivamente, o que seria equivalente a aumentos de 57, 140 e 227% em relação ao total de massa coletada em 2010.

**Tabela 2** - Variação relativa anual da população, do PIB *per capita*, do fator tecnológico e da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares *per capita* no período de 2003 a 2010, e valores dessas variáveis nos cenários futuros.

Período/Cenário	$\Delta P/P$	$\Delta A/A$	$\Delta T/T$	$\Delta I/I$
2003-2004	1,5%	2,4%	-7,3%	-3,4%
2004-2005	1,5%	13,4%	-12,4%	2,5%
2005-2006	1,5%	17,3%	-12,4%	6,4%
2006-2007	1,4%	11,6%	-9,0%	4,1%
2007-2008	2,6%	10,4%	-9,4%	3,6%
2008-2009	2,5%	9,9%	-11,2%	1,2%
2009-2010	2,5%	10,9%	-12,8%	0,7%
Média 2003-2010	1,9%	10,8%	-10,6%	2,2 %
Cenário I	2%	11%	-12,8%	0,2%
Cenário II	2%	11%	-10,6%	2,4%
Cenário III	2%	11%	-9,0%	4,0%

$\Delta P/P$ : variação relativa anual da população;  $\Delta A/A$ : variação do PIB *per capita*;  $\Delta T/T$ : variação do fator tecnológico;  $\Delta I/I$ : variação da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares *per capita*.



**Figura 7** - Projeção da massa coletada de resíduos sólidos domésticos para o universo do estudo até o horizonte de 2030, segundo os três cenários.

## CONCLUSÕES

Com os resultados desta pesquisa, observa-se a evolução na geração de RSD no município de João Pessoa no período de 2003 a 2010, a partir dos dados de massa coletada e conduzida ao aterro sanitário. Foi encontrado um aumento de 32,4% na massa coletada de RSD nesse período, alcançando, em 2010, um equivalente a  $0,806 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . Esse crescimento é consequência não apenas do aumento populacional (15,1% no mesmo período), mas também de mudança de padrões de consumo de bens — o aumento da massa de RSD foi proporcionalmente o dobro do aumento populacional. A relação entre geração

de RSD e padrão de consumo ficou evidente também nas correlações fortes obtidas entre massa coletada de RSD *per capita* e consumo de energia *per capita*, índice de alfabetização e índice de renda domiciliar. Isso corrobora a necessidade de mudança cultural em termos de consumo, desperdício e descarte de resíduos caso se almeje a sustentabilidade ambiental. Se o ritmo de geração de resíduos continuar a aumentar, projeta-se de  $0,85$  a  $1,78 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  de massa coletada de RSD por volta de 2030, o que trará desafios ainda maiores em termos de coleta, gestão do aterro e necessidade de medidas mitigadoras de potenciais impactos ambientais.

Apesar de limitações de dados e da metodologia utilizada, os resultados obtidos neste trabalho permitem estabelecer uma perspectiva da realidade em termos da quantidade de RSD coletados ao longo de oito anos no município de João Pessoa. Como o universo amostral da pesquisa corresponde a uma área cuja população equivale a 93,4% do total do município, os resultados podem ser generalizados para representar o município como um todo. Tais informações podem abalzar as entidades responsáveis, visando um melhor acompanhamento das coletas de RSD, dimensionamento e otimização de equipamentos, recursos humanos e gestão como um todo, bem como analisar essas informações, monitorando e comparando-as. Por ser simples e de fácil aplicação, a metodologia adotada neste trabalho para estimar a massa coletada de RSD para cenários futuros pode ser replicada para outros municípios, desde que existam dados históricos de massa coletada de RSD. Os demais dados são relativos aos censos populacionais e ao PIB, que são prontamente disponibilizados pelo IBGE.

## REFERÊNCIAS

- AREBEY, M.; HANNS, M.A.; ABDULLAH, H.; BASRI, H.; BEGUM, R.A. (2011) Integrated technologies for solid waste bin monitoring system. *Environ Monit Assess*, v. 177, p. 399-408.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE (2011) Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Acesso em: 12 ago. 2012.
- BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. (2008) Modelling municipal solid waste generation: a review. *Waste Management*, v. 28, p. 200-214.
- BRAGA, J.Q.N.; COSTA, L.A.; GUIMARÃES, L.A.; TELLO, J.C.R. (2008) O uso do geoprocessamento no diagnóstico dos roteiros de coleta de lixo da cidade de Manaus. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 387-394.
- BRASILEIRO, L.A.; LACERDA, M.G.; FUCKS, D.S.; CARVALHO, M.S. (2008) Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 356-360.
- BRUNNER, P.H.; FELLNER, J. (2007) Setting priorities for waste management strategies in developing countries. *Waste Management & Research*, v. 25 p. 234-240.
- CÂMARA, G. & MONTEIRO A.M. (2004) *Análise Espacial e Geoprocessamento*. Brasília: EMBRAPA, ISBN: 85-7383-260-6.
- FÉLIX, L.C. (2009) SIG no planejamento da coleta de resíduos sólidos: um estudo de caso no bairro de Cabo Branco, João Pessoa/PB. In: Congresso de Pesquisa e Inovação de Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 4. *Anais...* Belém: Conepi/IFPA.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 jul. 2012.
- JENSEN, J.R. & CHRISTENSEN, E.J. (1986) Solid and hazardous waste disposal site selection using digital geographic information system techniques. *The Science of the Total Environment*, v. 56, p. 265-276.

JOÃO PESSOA. Prefeitura Municipal de João Pessoa, PMJP. Disponível em: <<http://joapessoa.pb.gov.br>>. Acesso em: 04 jul. 2011.

JOHNSTONE, N. & LABONNE, J. (2004) Generation of Household Solid Waste in OECD Countries: An Empirical Analysis Using Macroeconomic Data. *Land Economics*, v. 80, p. 529-538.

KATES, R.W. (2000) Population and consumption what we know, what we need to know. *Environment*, v. 42, p. 10-19.

KESER, S.; DUZGUN, S.; AKSOY, A. (2012) 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.

MAGRINHO, A.; DIDELET, F.; SEMIAO, V. (2006) Municipal solid waste disposal in Portugal. *Waste Management*, v. 26, n. 12, p. 1477-1489.

MELO, L.A.; SAUTTER, K.D.; JANISSEK, P.R. (2009) Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 551-558.

NÓBREGA, C.C. (2003) Viabilidade Econômica, com valoração ambiental e social, de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares - estudo de caso: João Pessoa/PB. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ONOFRE, F.L. (2011) Estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

PANDEY, P.C.; SHARMA, L.K.; NATHAWAT, M.S. (2012) Geospatial strategy for sustainable management of municipal solid for growing urban environment. *Environ Monit Assess*, v. 184, p. 2419-2431.

PASCOAL JUNIOR, A.; OLIVEIRA FILHO, P.C. (2010) Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. *Revista Acadêmica Ciências Agrária e Ambientais*, v. 8, n. 2, p. 131-144.

PURCELL, M. & MAGETTE, W.L. (2009) Prediction of household and commercial BMW generation according to socio-economic and other factors for the Dublin region. *Waste Management*, v. 29, p. 1237-1250.

SILVA, F.C.B. & OLIVEIRA FILHO, P.C. (2009) VII Uso da logística e do SIG no estudo do roteamento da coleta de lixo em áreas urbanas. In: Semana de Engenharia Ambiental. *Anais...* Campus Irati.

SOKKA, L.; ANTIKAINEN, R.; KAUPPI, P.E. (2007) Municipal solid waste production and composition in Finland - changes in the period 1960-2001 and prospects until 2020. *Conservation and Recycling Journal*, v. 50 p. 475-488.

SPERB, R.C.; SPEERB, R.M.; BUGHI, C.H.; SOUZA, L.V.M.P. (2010) Utilização de software livre para Análise Geoespacial - Estudo de Caso: Seleção de Área para Instalação de Aterro Sanitário. *Geosul*, v. 25, n. 49, p. 159-177.

VIJAY, R.; GAUTAM, A.; KALAMDHAB, A.; GUPTA, A.; DEVOTTA, S. (2008) GIS-based locational analysis of collection bins in municipal solid waste management systems. *Journal of Environmental Engineering and Science*, v. 7, p. 39-43.

WILKS, D.S. (2006) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed. Ithaca: Academic Press. 467 p.