



# 7<sup>th</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

## Correlação de Indicadores Gerenciais nos Setores de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares da Cidade de Recife/PE, Brasil

SILVA, R. C. P. <sup>a\*</sup>, BEZERRA, R, P. L. <sup>a</sup>, EL-DEIR, S. G. <sup>b</sup>, JUCÁ, J. F. T <sup>a</sup>.

*a. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco*

*b. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco*

*\*Doutorando em Engenharia Civil, rcpassos13@gmail.com*

### Resumo

A buscar por soluções na gestão de resíduos sólidos é um desafio contínuo para os gestores municipais. Diante do cenário ascendente de geração destes materiais, principalmente nas áreas urbanas, a necessidade de elaboração de um modelo gerencial integrado, participativo, viável e adequado à realidade da municipalidade torna-se imprescindível. Neste sentido, o estudo aprofundado de indicadores relacionados à dinâmica gerencial dos resíduos sólidos apresenta-se como base para a proposição de modelos de gestão que atendam às características socioeconômicas e ambientais da região destinada. Deste modo, o presente artigo estuda a correlação de quatro indicadores (população, renda, geração e composição gravimétrica) em 31 setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Recife, por meio da Análise de Componente Principal, em busca de identificar os indicadores definidores da realidade dos setores. Os resultados elucidam forte correlação positiva entre renda e geração *per capita* dos resíduos sólidos domiciliares (RSD), o que fica evidente nas áreas de classe alta da cidade e nas áreas essencialmente comerciais. A identificação de indicadores de maior influência nos setores de coleta auxiliará o gestor municipal na elaboração de modelos setoriais de gestão de RSD que busquem o entendimento das particularidades socioeconômicas elencadas.

**Palavras-chave:** *Gestão de resíduos sólidos. Setores de coleta. Indicadores gerenciais. Análise de Componente Principal.*

### 1. Introdução

O atual modelo de vida baseado no consumo desenfreado de bens e na sociedade do descarte está inserido no sistema econômico denominado de capitalismo. Este modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade pós-moderna e as tecnologias utilizadas, tratam a finitude dos recursos naturais como uma externalidade, gerando entraves e exaustão na lógica de funcionamento dos sistemas naturais (ecossistema), acarretando graves alterações ao próprio modelo (EL-DEIR, 2012).

Segundo Grimberg e Blauht (1998), a estrutura operacional dos resíduos sólidos vislumbra uma mudança de paradigma econômico, com vistas na desestruturação do sistema de consumo e da geração de resíduos pela sociedade do descarte. Para tanto, o entendimento das diretrizes do sistema econômico com respostas a gestão dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) deve ser estruturado de forma cíclica e não linear, numa perspectiva sistêmica e não fragmentada, como vem sendo realizado.

A gestão linear dos resíduos sólidos é o modelo aplicado na maioria dos municípios brasileiros. Este modelo zela pela cadeia tradicional de manejo dos RSD, da geração a destinação final, com

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

incentivo ao consumo, a geração excessiva de resíduos e a não inserção das externalidades processuais. Para Lemos (2012), a linearidade presente nesse modelo é perigosa e insustentável, por tratar a gestão dos RSD de maneira fragmentada e cartesiana com foco nas estruturas individualizadas, conforme Capra (1996) ao fundamentar a Teoria dos Conjuntos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ancorada na Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), inova ao inserir a sustentabilidade econômica na gestão dos resíduos sólidos, considerando-os como uma externalidade do sistema de produção e consumo, a partir da adoção do princípio poluidor-pagador. Deste modo, incentiva a desestruturação do modelo linear para uma gestão cíclica dos resíduos sólidos, segundo a lógica dos Ecociclos, cujas raízes conceituais fundamentam-se na ecologia industrial, entendida pela relação de simbiose entre os processos ecológicos e os industriais.

Assim, o resíduo passa a ser dotado com valor econômico – por meio dos instrumentos de reciclagem, coleta seletiva e reutilização (BRASIL, 2010, Art. 6º); valor social – uma vez que gera trabalho e renda (MACHADO, 2012); e ecológico – pois considera o ciclo de vida dos materiais de forma sustentável, com ênfase desde a extração da matéria prima até o descarte final dos resíduos (SANTOS, 2009). Neste sentido, este novo modelo tem um olhar diferenciado para o gerenciamento dos RSU, encarando-o de forma sistêmica e pautado na Teoria dos Sistemas (CAPRA, 1996), com foco no entendimento de todas as etapas da cadeia dos resíduos.

Partindo desta visão holística e integrada, Pinheiro (2010) aponta os indicadores como ferramenta basilar e norteadora para a gestão dos resíduos sólidos, sendo, portanto, fundamental para reestruturar a filosofia e o *modus operandis* dos diversos elementos atuantes no sistema operacional e gerencial dos RSD. Jannuzzi (2009) define um indicador como uma medida geralmente quantitativa, porém dotada de um significado substantivo, podendo ser usado para substituir, quantificar ou operacionalizar um conceito abstrato, de cunho teórico (para pesquisas científicas) ou pragmático (para formulação de políticas públicas), que forneça respostas aos aspectos da realidade ou às mudanças que estão sendo processadas.

Desta forma, torna-se necessário identificar e elencar os indicadores que interferem direta ou indiretamente no processo. Segundo Bartelmus (2002), estes podem ser classificados como indicadores-insumo (*input*) e indicadores-produto (*output*). O primeiro, também chamado de *input* processual refere-se aos insumos do processo, ou seja, elementos de entrada que geram resultados identificáveis sob a forma de bens, serviços ou informações, por exemplo, os indicadores socioeconômicos como renda e população. O segundo, conhecido como *output* processual, está relacionado aos elementos de saída e representa o produto gerado após atividade processual, como os resíduos sólidos gerados por uma cidade. Estes indicadores (Fig. 1) norteiam os gestores municipais a buscar soluções para o manejo adequado dos resíduos sólidos.



**Fig. 1.** Indicadores de Input e de output na gestão dos RSD. Fonte: Próprio Autor.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), existe uma gama de indicadores que influenciam a gestão dos RSD, como o aspecto legal, os aspectos culturais, o grau de consumo, a renda, o nível de instrução, as condições climáticas, dentre outros. Dentre estes, a renda aparece como um fator estimulante na produção de resíduos sólidos (CAMPOS, 2012; JUCÁ et al., 2014), pois influencia no comportamento consumista da população. De acordo com Campos (2012), a renda direciona em termos quantitativos e qualitativos os resíduos gerados numa determinada região. Segundo Melo et al. (2009) em regiões de alta renda predomina-se a geração de materiais potencialmente recicláveis e em locais de baixa renda os resíduos orgânicos são mais expressivos.

Desta forma, para um gerenciamento com foco nas particularidades locais, como defendido pela PNRS (BRASIL, 2010), o diagnóstico de indicadores socioeconômico e ambientais é imprescindível, seja como norteador para um planejamento estratégico local, seja como instrumento decisório para um modelo de gerenciamento mais adequado. Neste sentido, o presente artigo estuda a correlação de quatro indicadores: população, renda, geração de resíduos e composição gravimétrica nos setores de coleta de RSD da cidade de Recife.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na cidade de Recife por apresentar instrumento legal já elaborado, como a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) ancorada na Lei nº 14.236 (PERNAMBUCO, 2010), Plano de gestão de resíduos sólidos em fase de estruturação e pela facilidade quanto ao acesso às informações. Recife é a capital do Estado de Pernambuco e está localizada na Região Nordeste do Brasil (Fig. 2). O município está situado a 7 metros de altitude e posicionado nas coordenadas geográficas de 8°3'15" Sul e 34°52'53" Oeste. Com área de 218,435 km<sup>2</sup>, está dividida em seis Regiões Político-Administrativa (RPA), compreendendo 94 bairros. Possui população estimada de 1.625.583 habitantes, densidade demográfica de 7.441,95 hab.km<sup>-2</sup>, Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de R\$ 31.513,07 e Índice de Desenvolvimento Urbano Municipal (IDHM) de 0,772 para o ano de 2016 (IBGE, 2016).



**Fig. 2.** Localização geográfica de Recife e identificação dos setores de coleta estudados.

O estudo foi realizado mediante a definição de setores de coleta de RSD presentes no mapa de rotas fornecido pela Vital Engenharia S/A, empresa responsável pela coleta domiciliar em 81 bairros de Recife, o que equivale a 70% da área coletada. Os setores ou rota de coleta são micro áreas que compreendem bairros, de forma parcial ou total, pelos quais os caminhões coletores passam e realizam as atividades de coleta e limpeza urbana.

A seleção dos setores seguiu estes critérios: bairros inseridos no setor, localização geográfica, nível econômico, presença de estabelecimentos comerciais e domiciliares, e frequência dos veículos coletores de RSD. A localização geográfica dos setores procedeu com base nas Regiões Político-Administrativas (RPA), que divide a cidade do Recife em Centro, Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste e Sul (RECIFE, 1997). O nível econômico inicial dos setores utilizou os dados de Cavalcanti, Lyra e Avelino (2008) e seguiu a categorização utilizada por Jucá et al. (2014), a saber: classe A (mais de dez salários mínimos), B (de cinco a dez salários), C (de dois a cinco salários) e D (até dois salários). As informações relacionadas à predominância de estabelecimentos domiciliares e comerciais foram obtidas através de visitas *in loco*. A frequência de coleta dos RSD foi obtida junto a Vital Engenharia e os setores foram agrupados em alternado diurno (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), alternado diurno (terça-feira, quinta-feira e sábado), alternado noturno (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), alternado noturno (terça-feira, quinta-feira e sexta-feira), diário noturno, e Diário diurno.

Sendo assim, foram selecionados 31 setores (Tab. 1), correspondendo a aproximadamente 30% da população finita. Este artigo foi fruto de uma consultoria prestada pelo Grupo de Resíduos Sólidos (GRS) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) à concessionária citada, nos meses de dezembro/2013 a março/2014.

Tab. 1. Perfil dos setores de coleta de RSD					
Setores	Bairros inseridos	RG	CE	CA	FVC
1-04	Casa Amarela e Monteiro	NO	C	R e C	AD2
1-16	Casa Forte, Parnamirim e Casa Amarela	NO	A	R	AD2
1-22	Arruda e Água Fria	N	C	R e C	AD2
1-30	Campina do Barreto, Peixinhos e Água Fria	N	D	R e C	AD2
1-38	Prado, Zumbi, Madalena e Cordeiro	O	D	R	AD2
2-14	San Martin, Mustardinha e Bongí	SE	D	R	AD1
2-34	Imbiribeira, Jiquiá, Afogados e Areias	S	D	R	AD1
2-40	Ipsep	S	C	R e C	AD1
2-42	Ipsep	S	C	R	AD1
2-44	Afogados e Bongí	SO	D	R e C	AD1
3-01	Santo Amaro e Campo Grande	CE	D	R e C	AN2
3-05	Espinheiro, Aflitos e Encruzilhada	NO	A	R e C	AN2
3-09	Jaqueira, Tamarineira, Rosarinho e Graças	NO	A	R e C	AN2
3-37	Cordeiro, Zumbi e Iputinga	O	C	R	AN2
3-45	Madalena, Graças e Derby	O	B	R	AN2
4-03	Pina e Boa Viagem	S	B	R	AN1
4-13	Boa Viagem	S	C	R	AN1
4-17	Boa Viagem e Imbiribeira	S	D	R e C	AN1
4-23	Boa Viagem	S	A	R	AN1
4-29	Boa Viagem	S	C	R	AN1
5-03	Boa Vista, Soledade e Ilha do Leite	CE	C	C	DN
5-09	Recife (Centro), Santo Amaro e St. Antônio	NO	D	C	DN
5-11	Santo Amaro e Boa Vista	CE	C	C	DN
5-14	Torrões e Cordeiro	O	D	R	DN
5-22V	Água Fria e Fundão	N	D	R e C	DN
5-32V	Dois Unidos, Beberibe e Linha do Tiro	N	D	R	DN
6-12	Nova Descoberta e Brejo da Guabiraba	NO	D	R e C	DD
6-20	Morro da Conceição, Vasco da Gama	NO	D	R	DD
6-24	Mangabeira e Alto José do Pinho	NO	D	R	DD
6-82	Pina, Imbiribeira e Cabanga	CE	D	R	DD
6-84	Brasília Teimosa e Pina	S	D	R	DD

Legenda: RG – região geográfica, N – norte, S – sul, O – oeste, NO – noroeste, SE – sudeste, SO – sudoeste, CE – centro, CE – classe econômica, CA – característica, R – área residencial, C – área comercial, FVC – frequência dos veículos coletores, AD1 – alternado diurno (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), AD2 – alternado diurno (terça-feira, quinta-feira e sábado), AN1 – alternado noturno (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), AN2 – alternado noturno (terça-feira, quinta-feira e sexta-feira), DN – diário noturno, e DD – Diário diurno.

## 2.2 Definição dos indicadores

Os indicadores gerenciais foram definidos *ex post* a seleção dos setores de coleta do estudo. Foram utilizados quatro indicadores, três quantitativos: população, renda e geração de RSD, e um qualitativo: composição gravimétrica. Os valores de população e renda total e *per capita* foram obtidos em Jucá et al. (2014), com base nos dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Os resultados alusivos à renda média domiciliar foram analisados e agrupados em classes econômicas, por meio da tabela de classificação social da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (SAE, 2013) (Tab. 2). A geração média e *per capita* dos resíduos nos setores, referentes ao ano de 2013, foram fornecidos pela Vital Engenharia. Os dados de geração de resíduos do estudo corresponderam às médias mensais de RSD coletadas pelo sistema convencional e destinadas ao aterro sanitário CTR Candeias, destino final dos RSD coletados pelo sistema domiciliar da cidade. A geração *per capita* foi calculada pela Eq. 1:

$$\text{GRPC} = \frac{\text{GR}}{\text{POP}} \quad (1)$$

Onde, GRPC - Geração de resíduos *per capita* (kg.hab.<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>), GR - Geração média mensal de resíduos (kg.mês<sup>-1</sup>) e POP - População estimada na rota para o ano de 2013 (hab.), com base nos dados do Censo brasileiro de 2010 (IBGE, 2010).

Tab. 2. Classificação da Classe Social			
Classe social	Grupo	Renda <i>per capita</i>	Renda familiar (pai, mãe e 2 filhos)
Baixa	Extremamente pobre	Até R\$ 81	Até R\$ 324
	Pobre, mas não extremamente vulnerável	Até R\$ 162	Até R\$ 648
	Vulnerável	Até R\$ 291	Até R\$ 1.164
Média	Baixa classe media	Até R\$ 441	Até R\$ 1.764
	Média classe media	Até R\$ 641	Até R\$ 2.564
	Alta classe media	Até R\$ 1.019	Até R\$ 4.076
Alta	Baixa classe alta	Até 2.480	Até R\$ 9.920
	Alta classe	Acima de 2.480	Acima de R\$

Fonte: SAE (2013)

A composição gravimétrica das 31 rotas de RSD ocorreu nas proximidades da área de descarte final da CTR Candeias durante os meses de novembro e dezembro de 2013, nos turnos manhã e tarde. A amostragem dos resíduos seguiu a técnica de quarteamento, com base na metodologia da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Os resíduos foram descarregados numa área pavimentada e protegida com lona (em torno de 12 toneladas) com o auxílio de um caminhão compactador, foram previamente homogeneizados por uma retroescavadeira hidráulica, separados em quatro partes iguais com cerca de 2,0 t (primeiro quarteamento) e selecionados aleatoriamente em 2 partes. Este procedimento foi realizado novamente resultando num montante final de aproximadamente 1,0 t. Em seguida, realizou-se uma amostragem de 110 a 115 kg de resíduos, os quais foram segregados, adicionados sem compactação em recipientes identificados e pesados com o auxílio de uma balança eletrônica digital (Marca Filizola/Modelo MF 100), com capacidade máxima de 100 kg e sensibilidade de 0,02 kg.

Como no Brasil não existe uma legislação específica que padronize a caracterização gravimétrica de RSD, foi utilizada a classificação da Norma Portuguesa, Portaria nº 851/2009 (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2009), a mesma adotada para Comunidade Econômica Europeia (CEE). Esta foi adaptada conforme a realidade brasileira. Os resíduos foram categorizados em putrescíveis (somatório dos resíduos alimentares, de jardim e madeira/coco), recicláveis (composto pelos plásticos filme e rígido, metal, vidro, papel/papelão, jornal/revista) e outros resíduos (soma dos componentes têxtil, sanitários, compósitos, borracha/couro, resíduos perigosos e rejeito), conforme Jucá et al. (2014).

### 2.3 Tratamento estatístico dos dados

Os indicadores utilizados no estudo foram: população; renda domiciliar e *per capita*; geração total e *per capita* de RSD; e composição gravimétrica - resíduos putrescíveis (resíduos alimentares, de jardim e madeira/coco), recicláveis (plásticos, papel/papelão, metal e vidro) e outros resíduos. Os dados foram previamente padronizados por log (x + 1) para que tivessem a mesma escala de medida, conforme realizado por Ferraz (2012). Devido à natureza dos dados, foi aplicada a análise multivariada para entender a inter-relação dos indicadores nos setores. Para tanto, utilizou-se a análise de componente principal (ACP) para identificar os indicadores definidores dos setores de coleta.

A ACP, denominada por Hotelling de *Principal Component Analysis* (PCA) (HOTELLING, 1933), é uma técnica estatística que possibilita a análise multivariada de dados, sem perdas significativas de informações. A análise consiste na conversão de uma matriz original n x p em uma matriz sintética (onde n é o número de indivíduos e p representa o conjunto de variáveis); na determinação de autovalores e autovetores; e na obtenção de combinações lineares das variáveis originais, as quais são denominadas de Componentes Principais (CP). Esta CP possui dimensão equivalente a matriz original, independência estatística, indivíduos similares agrupados e eliminação das variáveis originais com pouca informação (BRO; SMILDE, 2014).

Cada combinação linear maximiza a variabilidade dos dados deixados pela matriz anterior. Assim,

a primeira componente (CP1) apresentará maior grau de explicabilidade dos dados da matriz original, e a segunda componente (CP2) explicará o máximo da variância restante da CP1. A CP pode ser determinada por meio do algoritmo de variância-covariância ( $\Sigma$ ) ou de correlação (R) (Soares et al., 2017). No presente estudo, utilizou-se a matriz de correlação para avaliar a inter-relação dos indicadores, e identificar os mais representativos no estudo, como realizado por Agovino et al. (2014). Estes foram selecionados e utilizados na análise por *cluster*. O círculo unitário foi método gráfico adotado para a análise de correlação, conforme utilizado por Jardim et al. (2014). A análise foi realizada pelo programa Statistica versão 7.0.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Indicadores

Os resultados estão apresentados de acordo com a seguinte ordem: população, renda domiciliar e *per capita*, geração total e *per capita* de resíduos sólidos, composição gravimétrica e análise de componente principal dos indicadores.

##### 3.1.1 População dos setores

A população dos 31 setores de coleta de RSD no ano de 2013 foi de 473.478 habitantes, correspondendo a aproximadamente 30% da amostra total (Fig. 2). A população média dos setores foi de 15.273 habitantes, com valores máximos e mínimos de 29.814 e 4.078 habitantes, respectivamente. Os setores 6-12 e 6-20 apresentaram as maiores populações do estudo, com valores de 29.814 e 29.241 habitantes, respectivamente, ao passo que os setores 5-11 e 5-09, com populações respectivas de 4.078 e 5.333 habitantes, apresentaram as menores populações. Os dados populacionais dos setores foram distintos devido à densidade demográfica, ao número de bairros inseridos e às características residencial e comercial do setor.

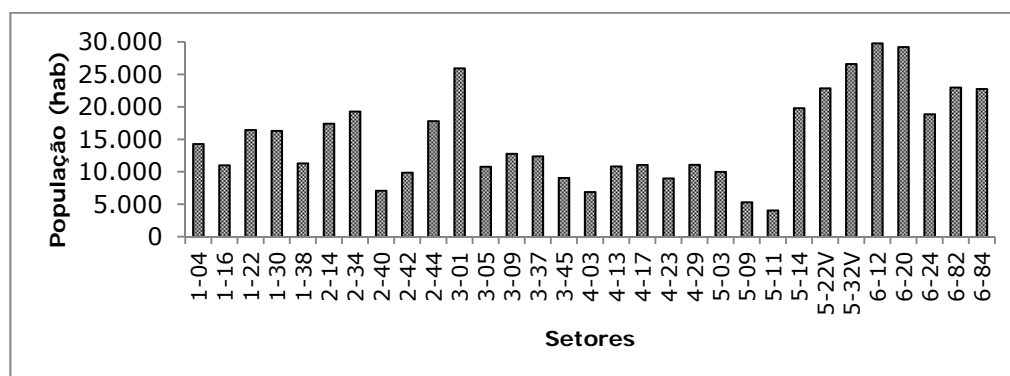


Fig. 2. Estimativa populacional dos setores de coleta para o ano de 2013.

##### 3.1.2 Renda média dos setores

A renda domiciliar média dos setores (Fig. 3) foi de R\$ 2.091,00, com valor máximo de R\$ 6.066,00, mínimo de R\$ 523,00. Quanto à renda *per capita*, os valores máximo e mínimo foram respectivamente de R\$ 2.153,00 a R\$ 153,00 e média de aproximadamente. Os setores 1-16, 4-03 e 3-05 apresentaram as maiores rendas médias domiciliares do estudo, com valores de R\$ 6.066,00, R\$ 5.995,00 e R\$ 5.989,00, respectivamente. Em contrapartida, as rotas 5-32V e 6-12, por compreender bairros de baixo poder aquisitivo, obtiveram os menores valores.

Dos 31 setores estudados, 15 foram enquadrados como classe baixa (1-04, 1-22, 1-30, 2-44, 3-01, 3-37, 4-17, 5-14, 5-22V, 5-32V, 6-12, 6-20, 6-24, 6-82 e 6-84), 10 como classe média (1-38, 2-14, 2-34, 2-40, 2-42, 4-13, 4-29, 5-03, 5-09 e 5-11) e 6 (seis) como classe alta (1-16, 3-05, 3-09, 3-45, 4-03, 4-23). A renda domiciliar média dos setores de classe alta (R\$ 5.490,00) foi sete vezes superior à renda média dos setores de classe baixa (R\$ 778,00) e aproximadamente três vezes superior à renda média dos setores de classe média (R\$ 2.022,00). Os setores de classe alta (R\$ 1.907,56) apresentaram renda *per capita* média oito vezes superior à média dos setores de classe baixa (R\$ 233,00) e cerca de três vezes superior a média dos setores de classe média (R\$ 693,98).

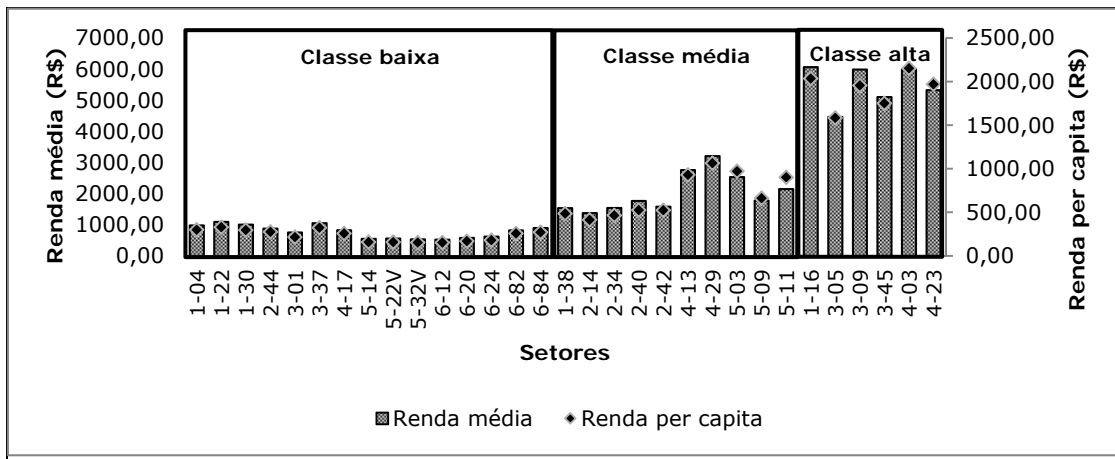


Fig. 3. Renda domiciliar média e *per capita* dos setores.

### 3.1.3 Geração dos resíduos sólidos domiciliares

A geração total média dos setores de coleta de RSD em 2013 foi de aproximadamente 8.285,00 toneladas (Fig. 4). Ao passo que a geração *per capita* média foi de 0,77 Kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Os setores 5-03 e 5-11 apresentaram as maiores gerações de RSD correspondendo a 441,73 t.mês<sup>-1</sup> e 373,95 t.mês<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os setores essencialmente comerciais 5-11 (3,17 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>), 5-09 (1,70 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) e 5-03 (1,53 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) apresentaram as maiores gerações *per capita* do estudo.

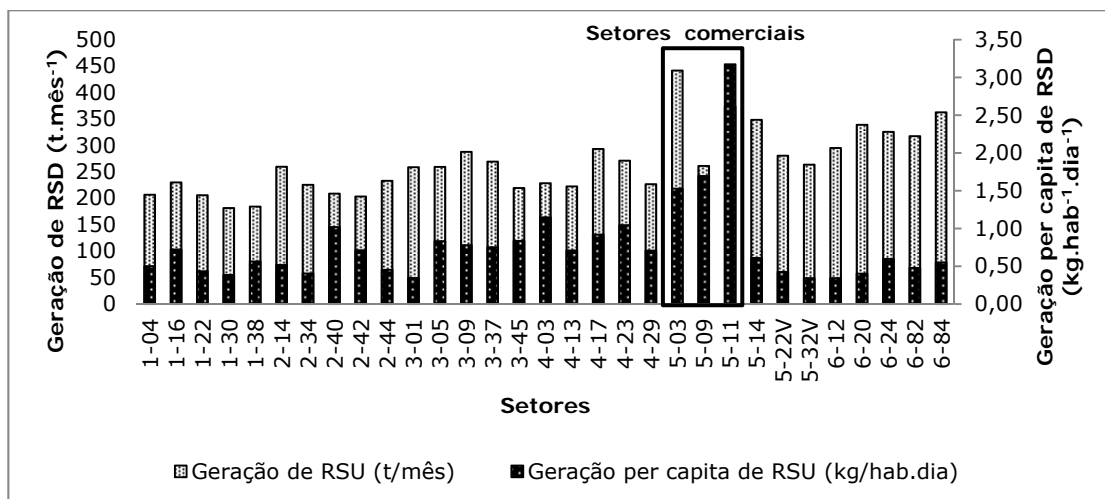


Fig. 4. Geração total e *per capita* de RSD dos setores de coleta.

### 3.1.4 Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares

A geração de resíduos recicláveis no estudo (41,17%) foi superior a de resíduos putrescíveis (em torno de 36%) e aos outros resíduos (22,81%) (Fig. 5). Os setores 1-16 e 1-04 apresentaram os maiores percentuais de resíduos recicláveis, com valores de 57,78% e 50,90%, respectivamente. Em contrapartida, os setores 5-09, 3-01, 1-30 e 3-45 apontaram maiores gerações de putrescíveis com valores respectivos de 47,34%, 46,72%, 44,18% e 43,58%. Notou-se que a maior geração de resíduos recicláveis ocorreu nos setores de classe alta (42,54%) e comercial (42,41%). No entanto, os maiores percentuais de resíduos putrescíveis nos setores comerciais (41,16%), frente aos de classe alta (36,69%), média (37,46%) e baixa (34,8%).



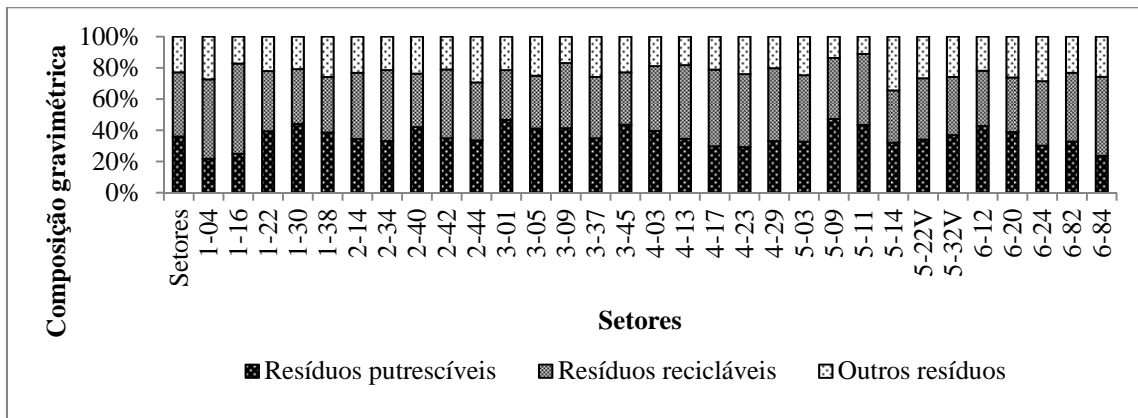


Fig. 5. Gravimetria dos RSD dos setores de coleta de Recife.

### 3.2 Análise de Componentes Principais dos Indicadores

As CP1 e CP2 explicaram 70,20% da variabilidade do conjunto de dados do modelo. Os indicadores população (POP), renda média domiciliar (RMD), renda média *per capita* (RMPC), geração de resíduos *per capita* (GRPC), resíduos recicláveis (RE), resíduos alimentares (RA) e resíduos putrescíveis (PU), foram bem representados no estudo, devido ao elevado peso dos autovalores (Fig. 6). Ao passo que o vidro (V), a madeira/coco (MC) e a produção de resíduos (PR) apresentaram dados com pouca informação.

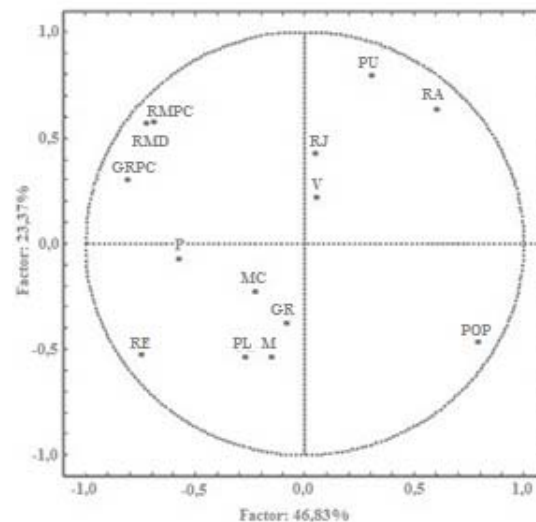


Fig. 6. Correlação dos 14 indicadores utilizados no estudo

Os indicadores renda (domiciliar e *per capita*) e produção *per capita* de resíduos apresentaram forte correlação positiva. Esta lógica foi constatada nos estudos realizados por Jadoon et al. (2014) em Lahore, no Paquistão; por Buenrostro-Delgado et al. (2015) em Morélia, no México; por Medeiros et al. (2015) na cidade de João Pessoa; por Cardoso (2016) no Distrito Federal; e por Chu et al. (2016) na China.

No entanto, pesquisas realizadas por Saladié (2016) na Catalunha, Espanha; e por Xu et al. (2016) na ilha de Xiamen na China, não encontraram correlação positiva significativa entre estas variáveis. Segundo Xu et al. (2016), ainda não foi alcançada uma visão consensual quanto à correlação positiva da renda e geração de RSD, pois esta relação depende de outros fatores, como por exemplo o grau de urbanização da área estudada. Nesta perspectiva, nos estágios iniciais de urbanização, a ascensão da renda familiar estimularia o consumo e, por consequência, aumentaria a produção de RSD. Contudo, os efeitos positivos do nível de renda sobre o consumo diminuiriam gradualmente conforme o processo de urbanização. Assim, nos estágios avançados, o aumento da renda implicaria na redução da produção de RSD, devido à difusão da consciência ambiental da população. Isto foi observado pelos autores na Ilha de Xiamen, na China, no qual constataram correlação não significativa da renda e geração de resíduos, em virtude dos estágios avançados de urbanização na área estudada.

A população das rotas selecionadas apresentou forte correlação negativa com a produção de



resíduos *per capita* e com a renda. Assim, rotas de classe baixa e com elevada concentração populacional apresentaram baixos quantitativos de resíduos *per capita*. Esta lógica aplicou-se nas rotas de classe alta que, mesmo com população menor, apresentaram elevada produção *per capita* de RSD.

#### 4. Conclusão

Os setores apresentaram valores distintos de população, renda, geração e composição gravimétrica, devido às especificidades socioeconômica e ambiental de cada rota, como número de bairros inseridos, localização geográfica, classe social, característica residencial e/ou comercial, dentre outras. Os indicadores renda domiciliar e *per capita* influenciaram na geração *per capita* dos RSU dos 31 setores de coleta da cidade de Recife. Desta forma, os setores de maior poder aquisitivo apresentaram maior produção de resíduos por habitante. Entretanto, notou-se que nos setores essencialmente comerciais a geração *per capita* de RSD foi superior as dos setores de alto poder aquisitivo.

Os setores estudados apresentaram valores mais expressivos de resíduos potencialmente recicláveis frente aos putrescíveis, reflexo de uma economia pautada no crescente consumo de produtos industrializados e descartáveis. A geração dos resíduos putrescíveis foi inferior aos resíduos recicláveis nos setores de classe baixa, fato que contrapõe estudos anteriores.

Os indicadores renda e geração *per capita* apresentaram forte correlação positiva entre si, em detrimento da correlação negativa com os dados populacionais, ficando claro que este parâmetro apresentou fraca influência nos aspectos quantitativos e qualitativos dos RSU gerados nos setores. Além disto, a renda do setor implica na tipologia do RSD produzido, inclusive em seus percentuais de frações recicláveis e/ou putrescíveis.

#### Referências

- Agovino, M.; Ferrara, M.; Garofalo, 2016. A. An exploratory analysis on waste management in Italy: A focus on waste disposed in landfill. *Land Use Policy*. 57, 669–681.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004. 14 p.
- Bartelms, P, (Eds), 2002. Environmental accounting and material flow analysis. A Handbook of Industrial Ecology. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
- Brasil. Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.
- Bro, R.; Smilde, A.K, 2014. Principal component analysis. *Analytical Methods*. 6, 2812-2831.
- Buenrostro-Delgado, O.; Ortega-Rodriguez, J. M.; Clemitshaw, K. C.; González-razo, C.; Hernández-Paniagua, I.Y, 2015. Use of genetic algorithms to improve the solid waste collection service in an urban área. *Waste Management*. 41, 20-27.
- Cardoso, M.S.S. A gestão de resíduos sólidos urbanos na RIDE-DF: a geração e a coleta seletiva. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, DF, 2016.
- Campos, H. K. T, 2012. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 17, 2, 171-180.
- Capra, F. A, (Eds), 1996. A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Cultrix, São Paulo.
- Carvalho Júnior, F. H. Estudos de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza-CE. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Fortaleza, CE, 2013.
- Cavalcanti, H.; Lyra, M. R. B.; Avelino, E, (Eds), 2008. Mosaico urbano do Recife: Inclusão/Exclusão Socioambiental. Massangana, Pernambuco.
- Chu, Z.; Wu, Y.; Zhou, A.; Huang, W.C, 2016. Analysis of influence factors on municipal solid waste generation based on the multivariable adjustment. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 35, 6, 1629-1633.
- Diário da República Portuguesa. Portaria nº 851/2009. Norma portuguesa que estabeleci a padronização da

caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos. 1<sup>o</sup> Série, nº 152, 7 de agosto de 2009.

El-Deir, S.G. (Eds), 2012. Educação ambiental no semiárido: propostas metodológicas de extensão rural. Edufrpe, Recife.

Ferraz, H.D.A. Associação da Ocorrência de Cianobactérias às Variações de Parâmetros de Qualidade da Água em Quatro Bacias Hidrográficas de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. BH, 2012. P. 133.

Grimberg, E.; Blauth, P., (Eds), 1998. Coleta Seletiva: reciclando materiais, Reciclando valores. Polis: estudos, formação e assessoria em políticas sociais, 31, Brasil.

Hotelling, H., 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. Journal of Educational Psychology. 24, 417-441 and 498-520.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo demográfico 2010: resultados da amostra – rendimento para os municípios pernambucanos. 2010.

Jadoon, A.; Batool, S.A.; Chaudhry, M.N, 2014. Assessment of factors affecting household solid waste generation and its composition in Gulberg Town, Lahore, Pakistan. J Mater Cycles Waste Manag. 16, 73–81.

Jannuzzi, P. M., (Eds), 2009. Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações para a formulação e avaliação de Políticas Públicas e elaboração de estudos socioeconômicos. 4, Alínea, Campinas.

Jardim, F. A. et al, 2014. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. 19, 3.

Jucá, J. F. T. et al, (Eds), 2014. Estudo da geração e composição dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Recife. Relatório técnico, Recife.

Lemos, P. F. I, 2012. Resíduos sólidos e responsabilidade civil pós-consumo. Revista dos Tribunais. 2.

Machado, P. A. L., (Eds), 2012. Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos. Manole, Barueri.

Medeiros, J.E.S.F.; Paz, A.R.; Morais Júnior, J.A, 2015. 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. Engenharia Sanitária e Ambiental. 20, 1, 119-130.

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. 14, 4, 551-558.

Pernambuco. Lei 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. PE, 2010.

Pinheiro, T. S. M. 2010. Gestão Integrada Corporativa de Resíduos Sólidos, Estudo de Caso numa Empresa da Área de Transportes Urbanos. In: XII Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente - ENGEMA, São Paulo.

Recife. Lei 16.293, de 22 de janeiro de 1997. Dispõe sobre as Regiões Político- Administrativas do Município de Recife.

Sae. Secretária de Assuntos Estratégicos. 2014. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/>>. Acessado em: 12 de julho de 2016.

Saladié, O, 2016. Determinants of waste generation per capita in Catalonia (North-eastern Spain): the role of seasonal population. European Journal of Sustainable Development. 5, 3, 489-504.

Santos, J. V. A gestão dos resíduos sólidos urbanos: um desafio. Tese de Doutorado. São Paulo: Biblioteca Digital USP, 2009.

Xu, L.; Lin, T.; Xu, Y.; Xiao, L.; Ye, Z.; Cui, S, 2016. Path analysis of factors influencing household solid waste generation: a case study of Xiamen Island, China. J Mater Cycles Waste Management. 18, 377–384.