

# Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local: uma revisão da literatura

Natália Molina Cetrulo<sup>I</sup>  
Tiago Balieiro Cetrulo<sup>II</sup>  
Sylmara Lopes Francelino Gonçalves Dias<sup>III</sup>  
Tomás Barros Ramos<sup>IV</sup>

<sup>I</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP

<sup>II</sup> Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP

<sup>III</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP

<sup>IV</sup> CENSE – Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade NOVA de Lisboa. Caparica - Portugal.

**Resumo:** O tema resíduos sólidos (RS) no contexto de sistemas de avaliação de sustentabilidade local (ASL) ainda foi pouco explorado. Este artigo faz uma revisão da literatura sobre essa temática, com foco na análise dos indicadores de RS e dos sistemas em que estão inseridos. É examinado se os indicadores conseguem representar a complexidade dos RS e aspectos da sustentabilidade. Os resultados desta revisão evidenciaram que 77,8% dos sistemas de indicadores utilizam no máximo dois indicadores para os RS. Evidenciaram também que a maioria deles é dedicada a representar as etapas da destinação e disposição final da gestão dos RS, os aspectos ambientais da sustentabilidade e os níveis de ordem intermediária na hierarquia de gestão de RS. Foram encontradas evidências sobre o impacto positivo da participação pública nas questões analisadas. As considerações finais apresentam recomendações sobre a inclusão de indicadores de RS em sistemas de ASL.

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade; Avaliação de sustentabilidade local; Participação pública; Hierarquia da gestão de resíduos.

São Paulo. Vol. 23, 2020

Artigo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190028r3vu2020L5AO>

## 1. Introdução

O crescimento populacional, o aumento da taxa de urbanização e as alterações nos padrões de consumo da sociedade acarretam aumento na produção de resíduos sólidos (ESMAELIAN et al., 2018). Essa grande produção acrescida à variabilidade e diversificação na composição dos resíduos, afeta a sustentabilidade de forma bastante complexa e localizada, uma vez que abrange aspectos sociais, ambientais, de governança e de gestão, com grande variabilidade de local para local (BURNLEY, 2007; GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013). Nesse sentido, é importante que aspectos da gestão dos resíduos sólidos (RS) sejam incorporados às ferramentas de avaliação de sustentabilidade local (ASL).

Diante desse cenário, a literatura apresenta uma série de sistemas de indicadores de sustentabilidade local que incorporam os RS, como os desenvolvidos por Lee e Huang (2007), Nader, Salloum e Karam (2008) e Moreno-Pires, Fidélis e Ramos (2014). Nesses casos, os indicadores de RS compõem o sistema de avaliação, juntamente com indicadores de outras áreas da sustentabilidade, ou seja, para cada aspecto da sustentabilidade é atribuído um pequeno grupo de indicadores que tem a função de representá-los.

Apesar de existirem vários trabalhos sobre indicadores de sustentabilidade em escala local, o tema específico de resíduos sólidos no contexto desses sistemas está pouco explorado. Diante da complexidade da temática dos resíduos sólidos, o questionamento que se faz é se os indicadores que compõem os sistemas de ASL são capazes de captar e demonstrar a realidade do problema nos territórios, onde esse tema assume particular importância para a sustentabilidade. Nesse sentido, o artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura visando compreender as principais características e abordagens metodológicas utilizadas para os indicadores de resíduos sólidos no contexto de sistemas de avaliação de sustentabilidade local.

## 2. Resíduos sólidos: complexidade e avaliação da sustentabilidade

No escopo do presente trabalho, entende-se que para avaliar a sustentabilidade local é essencial que seja considerado todo o contexto dos resíduos sólidos para uma determinada localidade. Importante ressaltar que Resíduo Sólido Urbano (RSU) é somente uma das tipologias de resíduos geradas e a ela podem ser somados os resíduos provenientes de outras fontes geradoras, como serviços de saúde, atividades agrícolas, construção civil, mineração, indústria e de qualquer outra fonte que esteja presente no local analisado. Não apenas a composição dos resíduos varia entre cidades, mas, também, dentro de uma cidade ao longo do tempo. Em um curto espaço de tempo, as características dos resíduos tendem a variar sazonalmente, mudando em quantidade e composição ao longo do ano (VERGARA; TCHOBANOGLIOUS, 2012). O Quadro 1 apresenta a classificação conforme as fontes geradoras e a variedade dos resíduos sólidos que podem ser produzidos mais frequentemente em uma localidade. Somada à questão da diversidade de resíduos em uma localidade está a geração, ambas influenciadas por fatores de urbanização, renda, cultura e padrão de consumo da sociedade (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2010, 2011; KAZA et al., 2018).

Ao considerar apenas essas duas características dos RS, de geração e variabilidade, múltiplos aspectos da sustentabilidade estarão envolvidos, nomeadamente: a) utilização de recursos naturais; b) degradação dos recursos naturais, uma vez que nas localidades são gerados resíduos com cargas poluidoras das mais diversas naturezas (infectantes, tóxicas, radioativas, entre outras) (MARTINEZ-ALIER, 2001); c) justiça ambiental, numa perspectiva em que as sociedades pressionam os ecossistemas de forma desigual e injusta (países desenvolvidos vs. em desenvolvimento, norte vs. sul, população urbana vs. rural, centro vs. periferia das cidades, entre outros) (WARLENIUS; PIERCE; RAMASAR, 2015); d) equidade intergeracional, compreendendo que a produção, o consumo e a consequente geração de resíduos interferem na capacidade dos ecossistemas em manter ou aumentar as oportunidades para as gerações futuras (PELLETIER, 2010).

**Quadro 1 – Classificação, fontes geradoras e variedade dos resíduos sólidos.**

Classificação dos Resíduos Sólidos	Atividade ou local onde o resíduo é gerado	Tipos de resíduos	Autores
Resíduos residenciais	Residências	Restos de alimentos, têxteis, jornais, embalagens (papel, papelão, plásticos, madeira, vidro, latas, etc), papel higiênico, fraldas descartáveis, resíduos de jardinagem, eletrônicos, móveis, pneus, óleos.	Tchobanoglous; Kreith (2002); Pitchel (2005); Rhyner et al. (1995); Williams (2005); Schalch et al. (2002).
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço	Lojas, restaurantes, escritórios, bares, supermercados, hotéis		
Resíduos institucionais	Escolas, presídios, hospitais (exceto os de saúde)		
Resíduos de serviços de limpeza urbana	Limpeza das vias públicas, praias, limpeza de galerias, córregos, terrenos, paisagismo, entre outros	Resíduos especiais, de varrição de rua, restos de podas de árvores, restos de construção e demolição, automóveis abandonados, corpos de animais, entre outros.	Tchobanoglous; Kreith; Williams (2002); Pitchel (2005); Williams (2005); Schalch et al. (2002).
Resíduos de serviço de saúde	Hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, postos de saúde, consultórios odontológicos e outros estabelecimentos	Sangue, fluídos corporais, órgãos ou partes de corpos de pessoas e animais, algodões, seringas, lâminas, materiais de manuseio, etc.	Pitchel (2005); Schalch et al. (2002)
Resíduos de construção e demolição	Áreas em construção, reparo de rodovias, demolição de edifícios	Materiais de demolições, restos de obras, reformas, compostos por madeira, aço, concreto, rochas, poeira, solo, etc.	Tchobanoglous; Kreith; Williams (2002); Pitchel (2005); Williams (2005); Schalch et al. (2002).

Resíduos de serviços de transporte	Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Materiais de higiene e asseio pessoal e restos de alimentos, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados ou países.	Pitchel (2005); Schalch et al. (2002).
Resíduos industriais	Empresas de construção, fabricação leve e pesada, refinarias, empresas químicas, de demolição, etc.	Sucata, cinzas de combustão, areia de fundição, óleos, lodos, plásticos, papéis, madeira, fibras, restos de alimentos, pneus, resíduos de construção e demolição, resíduos especiais e resíduos perigosos.	Tchobanoglous; Kreith; Williams (2002); Pitchel (2005); Rhyner et al. (1995); Williams (2005).
Resíduos de agricultura	Campo e áreas de colheita, pomar, vinícola, laticínio, fazendas	Restos de alimentos, biomassa e embalagens.	Tchobanoglous; Kreith; Williams (2002); Pitchel (2005); Rhyner et al. (1995); Williams (2005).
Resíduos de mineração	Empresas de mineração	Solos, rochas e rejeitos gerados durante o processamento de minérios e fundição.	Pitchel (2005); Rhyner et al. (1995); Williams (2005); Bagchi (2004).
Resíduos perigosos universais	Pequenas e grandes empresas, residências	Baterias de níquel-cádmio e chumbo ácido (presente em equipamentos eletrônicos, celulares e notebooks), agroquímicos, termômetros de mercúrio, lâmpadas de mercúrio e chumbo, etc.	Pitchel (2005).
Resíduos de processos nucleares	Plantas geradoras de eletricidade nuclear, instalações de reprocessamento de resíduos nucleares, instalações de armas nucleares, pesquisa e procedimentos médicos	Subprodutos de processos de fusão nuclear ou processamento de combustível nuclear contendo, principalmente, urânio e Plutônio. Os materiais para manuseio dessas substâncias.	Pitchel (2005).

Fonte: Elaboração própria

Após a geração dos resíduos sólidos, outros fatores políticos, normativos, administrativos e operacionais interagem como processos da gestão integrada dos RS. Nesse artigo, considera-se que esses fatores estão relacionados aos processos de segregação na fonte, coleta, destinação (transporte, triagem, processamento, transformação de resíduos sólidos) e disposição final (VERGARA; TCHOBANOGLIOUS, 2012; WILSON et al., 2012; KAZA et al., 2018). Aqui, todos esses processos estão intrinsecamente relacionados com aspectos da sustentabilidade, tais como: a) prevenção de poluição na disposição final

ou tratamento dos resíduos, visando a manutenção dos recursos naturais e integridade do sistema socioecológico (PELLETIER et al., 2014); b) adaptação à economia circular, num paradigma de fechamento de ciclos, no qual os resíduos são vistos como matéria prima ou fonte energética (IACOVIDOU et al., 2017; SAVINI, 2019); c) eficiência financeira, visando redução no consumo de matéria e energia e uma produção mais limpa; d) interferência no bem-estar humano, uma vez que o RS têm o potencial de gerar mau cheiro, poluição visual, proliferação de vetores causadores de doenças e contaminação nos seres humanos (ZHANG; MATSUTO, 2013; SIMSEK et al., 2014) e) a civilidade socioambiental e a governança socioambiental democrática e participativa, numa perspectiva de que a segregação na fonte, reuso e outras etapas da gestão de RS envolvem estímulos ao engajamento e sensibilização do cidadão (GRUNERT; THORGENSEN, 2005; BARR; GILG; SHAW, 2011; ROUSTA; DAHLÉN, 2015) e à responsabilidade coletiva (GIBSON; HASSAN; TANSEY, 2005; HENRIKSSON; ÅKESSON; EWERT, 2010).

Além disso, as localidades podem apresentar aspectos específicos que impactam à sustentabilidade local. Nos países em desenvolvimento, por exemplo, há relatos da presença de pessoas e animais morando em lixões (BJERKLI, 2015; SAMSON, 2017), assim como discussões sobre a participação de catadores na coleta seletiva dos municípios, que precisam ser dignamente integrados e valorizados na gestão dos resíduos sólidos (CETRULO et al., 2018; VALLIN; GONÇALVES-DIAS, 2019). Já em países desenvolvidos, as localidades podem enfrentar problemas como a alta geração de resíduos sólidos, especialmente eletrônicos e a dependência sociotécnica (locked in) de plantas de incineração como caminho prioritário para o tratamento dos resíduos sólidos municipais (CORVELLEC; CAMPOS; ZAPATA, 2013).

Portanto, a inserção da dimensão RS em avaliações de sustentabilidade local utilizando sistema de indicadores não é simples. Nas avaliações de sustentabilidade, aspectos importantes a serem considerados na análise são transformados em indicadores e incorporados ao sistema, o que muitas vezes resulta em ferramentas complexas e densas. Na tentativa de olhar de forma holística para os aspectos da sustentabilidade, os sistemas de indicadores acabam por negligenciar alguns pontos importantes para o desenvolvimento sustentável daquela localidade em análise. Ou seja, na tentativa de abranger grande parte dos aspectos da sustentabilidade, os indicadores podem se tornar superficiais e informações importantes podem ser perdidas no processo. No caso de aspectos complexos, como a temática dos resíduos sólidos, há maior probabilidade de isso ocorrer.

Outra questão, não menos importante, está ligada à complexidade dos RS variar de local para local. Do ponto de vista da avaliação da sustentabilidade é importante ressaltar que, para a utilização prática desses sistemas, é necessário compreender o contexto, político, institucional e cultural no qual o indicador está sendo construído para refletir as especificidades locais (RYDIN; HOLMAN; WOLF, 2003; MICKWITZ; MELANEN, 2009; POLIDO; JOÃO; RAMOS, 2014). E isso requer o envolvimento da comunidade a que se destinam os indicadores, devendo ser construídos de forma coerente com tal realidade (MORENO-PIRES, 2011; SINGH et al., 2012). Uma vez que a comunidade está envolvida na construção dos indicadores, há garantias de que fatores relevantes daquela

localidade serão avaliados pelo sistema de indicadores, ou melhor, que os indicadores serão escolhidos em decorrência do que é importante avaliar para aquela comunidade (BELL; MORSE, 2001; FRASER et al., 2006). E isso é especialmente importante na questão dos resíduos, uma vez que esse problema faz parte do cotidiano das pessoas e começa no núcleo residencial e familiar (BULKELEY; GREGSON, 2009; RØPKE, 2009; BARR; GILG; SHAW, 2011). Portanto, esse aspecto reflete o grau de envolvimento da sociedade na problemática dos resíduos sólidos, o que depende da inclusão das pessoas da própria comunidade na gestão de RS e para melhoria das questões relacionadas à sustentabilidade, uma vez que somente elas percebem e sentem os problemas locais causados pelos resíduos. Além disso, a própria participação dos atores sociais no processo de construção de indicadores é fundamental para a consolidação da ferramenta de avaliação de sustentabilidade e reforça aspectos de estímulo à uma civilidade socioambiental e governança democrática (MEADOWS, 1998; VALENTIN; SPANGENBERG, 2000; RAMOS; CAEIRO; MELO, 2004; REED; FRASER; DOUGILL, 2006). Nesse contexto, o conceito de governança ganha importância significativa por incorporar determinantes políticos aos vários interesses e realidades dos atores sociais envolvidos na gestão de RS em cada localidade.

### 3. Método

A revisão sistemática de literatura foi realizada em artigos científicos, publicados em periódicos indexados que abordam sistemas de indicadores (SI) em contexto de avaliação de sustentabilidade local. A pesquisa utilizou a base de dados Scopus®, pois é o maior banco de dados da literatura revisada por pares. Os parâmetros de busca foram artigos ou revisões publicadas nos últimos 15 anos (de 2002 até maio de 2017). Foram utilizados os termos de busca: “sustainability indicators” e “cities”; “sustainability indicators” e “local”; “sustainable development indicators” e “cities”; “sustainable development indicators” e “local”; “solid waste indicators”; “solid waste” e “sustainability indicators”; “solid waste” e “sustainable development indicators”. Dos 651 artigos encontrados, foram excluídos os repetidos, os que não apresentavam indicadores de resíduos sólidos nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade e os que não se referiam ao “contexto local” (cidades, regiões, municípios ou comunidades).

Um total de 77 artigos passaram para análise temática dos dados, conforme as recomendações de Krippendorff (2004) e Fereday e Muir-Cochrane (2006). O processo envolveu a identificação desses temas por meio de leitura, releitura e análise das informações. Dessa forma, foi possível o reconhecimento de padrões e três grupos de artigos foram encontrados: a) o primeiro, composto por SIs que avaliam o desempenho técnico para gestão de resíduos sólidos (25 trabalhos) e abordam temas como análise de fluxo de material (ZACCARIELLO; CREMIATO; MASTELLONE, 2015), taxa de recuperação de energia (BUENO; LATASA; LOZANO, 2015), técnicas para avaliação e melhoria de performance dos sistemas de coleta, tratamento e gestão (ADAMOVIĆ et al., 2017; CHAMIZO-GONZALEZ; CANO-MONTERO; MUÑOZ-COLOMINA, 2016; PLATA-DÍAZ et al., 2014), tratamentos biológicos (LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015)

e inovações (NING; CHANG; HUNG, 2013). Porém, os indicadores que compõem esses sistemas não são dedicados à avaliação da sustentabilidade local; b) no segundo grupo, os SI também são dedicados exclusivamente à componente dos RS (como nos artigos de VEIGA et al., 2016; CASTRO; SILVA; MARCHAND, 2015; SANTIAGO; DIAS, 2012), porém o foco está na avaliação da sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos e não na avaliação da sustentabilidade da localidade (16 trabalhos); c) o último grupo é composto por indicadores que estão inseridos em SI para avaliação da sustentabilidade local (36 trabalhos) e os resíduos sólidos somam-se aos demais aspectos da sustentabilidade que compõem as ferramentas. Apenas os artigos dessa última categoria foram incluídos nessa revisão.

Três etapas de análise foram realizadas com os 36 artigos incluídos na revisão sistemática. Na primeira, foram descritas as características dos estudos (análise quantitativa) quanto ao periódico, área de publicação, número de autores, distribuição temporal e espacial dos estudos (Seção 4).

Para entender como ocorreu a inserção da temática dos resíduos sólidos nos Sistemas de Indicadores, a segunda etapa focou no processo de construção do sistema de avaliação de sustentabilidade local (ASL) e na representatividade dos indicadores de resíduos sólidos nos sistemas de avaliação de sustentabilidade local. Para tanto, foram levantados: o número total de indicadores do sistema, o número de indicadores de RS, a organização do SI adotada pelo autor (dimensões do desenvolvimento sustentável ou áreas temáticas), as dimensões nas quais estavam alocados os indicadores de RS e o processo de construção do sistema de avaliação de sustentabilidade local (Seção 5).

Por fim, foi feita uma análise (Seção 6) com a finalidade de verificar se os indicadores escolhidos, que compõem os SI, conseguem representar a complexidade dos RS e sua relação com a sustentabilidade. Para tanto, todos os indicadores de RS foram classificados quanto:

a) à etapa do processo que ele representa na Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Sejam eles, geração, coleta, destinação, disposição final e governança [essa divisão foi adotada considerando os conceitos apresentados por Tchobanoglous, Kreith e Williams (2002), Vergara e Tchobanoglous (2012) e pela Diretiva Europeia 2008/98/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2008)];

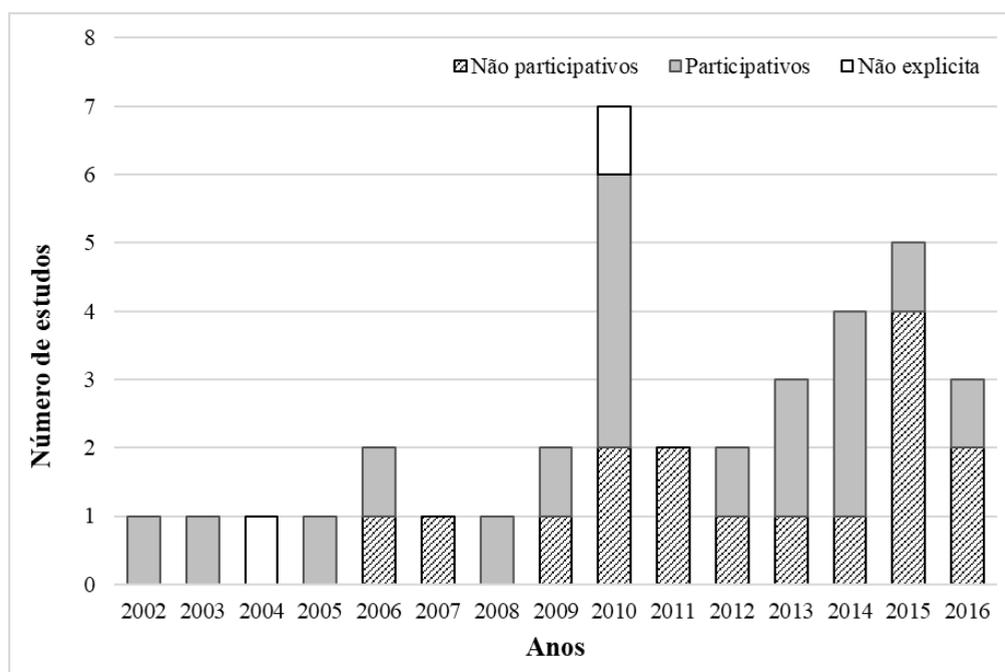
b) ao nível de importância que ele representa na hierarquia da GRS (a hierarquia de GRS da Diretiva Europeia 2008/98/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2008) foi utilizada como base devido sua harmonia com os aspectos da sustentabilidade. Nela, a prioridade estratégica é a não geração de resíduos seguida, sucessivamente, pelas ações de reuso, reciclagem, recuperação até a disposição final);

c) ao seu potencial de representar os aspectos da sustentabilidade (sintetizados nas dimensões ambiental, econômica e social).

#### 4. Características dos estudos

A análise cronológica dos 36 estudos levantados na revisão de literatura apontou um aumento no número de publicações sobre o tema nos últimos quinze anos (Figura 1), com destaque para os anos de 2010 e 2015.

**Figura 1 – Distribuição dos artigos científicos de avaliação de sustentabilidade local que contam com indicadores de RS, por ano de publicação.**



Fonte: Elaboração própria

A sustentabilidade, inicialmente explorada em acordos retratados na escala internacional, passa a ser incorporada em políticas, programas e projetos na escala local (ICLEI, 2017; MAPAR et al., 2017). Evidências dessa nova orientação podem ser observadas no ODS 11 (UNITED NATION, 2015) que versa sobre as Cidades e Comunidades Sustentáveis. A importância da localidade na busca pelo desenvolvimento sustentável aponta para a necessidade de adoção de ferramentas para avaliação de sustentabilidade local (MAPAR et al., 2017). Da mesma forma, observa-se o aumento dessa discussão na literatura, no que se refere à análise de sistemas de indicadores já consolidados (SHEN et al., 2011; KING, 2016), bem como das novas propostas e dos desdobramentos da temática em escala local (MASCARENHAS; NUNES; RAMOS, 2015). A participação no desenvolvimento das ferramentas é melhor discutida na Seção 5.

No que se refere à área<sup>1</sup> de publicação, a maioria dos artigos foram publicados em

1 - A área da publicação está em consonância com a categorização da Scimago

periódicos nas áreas de Ciência Ambiental (28%), Agricultura e Ciências Biológicas (22%) e Gestão e Negócios (14%). Há ainda estudos publicados na área de Energia (11%), Ciências Sociais (8%) e Engenharia (5%), dentre outras, porém com menor representatividade. Essa diversidade observada nas áreas de publicação dos estudos pode ser explicada pelo caráter multidimensional e interdisciplinar intrínseco à sustentabilidade e que é ainda mais imprescindível nas ferramentas de avaliação (BOSEL, 1999; RAMOS; CAEIRO, 2010). Por outro lado, as Ciências Ambientais apresentam um escopo abrangente ao incorporarem as relações entre o ambiente e a sociedade, proporcionando um caráter mais holístico à área de estudo. Nessa perspectiva, há aderência das publicações no que tange à avaliação de sustentabilidade local.

A revisão de literatura apontou muita dispersão entre os periódicos que já publicaram sobre o tema, com maior incidência para o periódico *Ecological Indicators* (7 artigos), seguido da revista *Sustainability* (4 artigos). A relação dos periódicos, bem como o respectivo número de artigos localizados sobre indicadores de RS inseridos em sistemas para avaliação da sustentabilidade local está apresentada no Quadro 2.

**Quadro 2 - Distribuição dos artigos científicos de avaliação de sustentabilidade local que contam com indicadores de RS, por periódico.**

Periódico	Número de artigos
Ecological indicators	7
Sustainability	4
Cities	2
Environmental Impact Assessment Review	2
Journal of Environmental Planning and Management	2
Tourism Management	2
Journal of Environmental Management	2
Australian Journal of Social Issues	1
Building and Environment	1
Environment, Development and Sustainability	1
Environmental Progress & Sustainable Energy	1
European Planning Studies	1
Habitat International	1
Int. J. Sustainable Society	1
International Journal of Sustainable Development & World Ecology	1
International review for spatial planning and sustainable development	1
Journal of Cleaner Production	1

Local Environment	1
Progress in Planning	1
Rev. Ambient. Água	1
Sustainability Science	1
URBE - Brazilian Journal of Urban Management	1
<b>Total</b>	<b>36</b>

Fonte: Elaboração própria

Vale ressaltar que a maior parte dos trabalhos selecionados (89%) foram produzidos por mais de um autor. Esse dado pode ter sido influenciado pelo caráter mais sistêmico e interdisciplinar das discussões acerca da avaliação de sustentabilidade. Entre os artigos localizados, foram identificados 99 diferentes autores dos quais cinco aparecem em duas referências e somente um autor em três artigos.

No que se refere à origem dos autores, 47% são europeus, com destaque para Portugal com 8 pesquisadores que trabalhavam com o tema. Dentre os 24% de autores asiáticos, 8 pesquisadores eram chineses e dentre os 22% do continente americano, destaca-se o Brasil com 11 autores. Há ainda a participação de pesquisadores da Oceania, com cerca de 7% do total de autores. Numa análise agrupada por continente, localidades na Europa foram estudadas em mais de 30% dos trabalhos (notar que quase metade dos autores identificados nesta revisão eram europeus), 22% dos artigos se dedicaram a analisar localidades da América, 14% da Ásia e 8% da Oceania. Chama a atenção a ausência de autores e SI para o continente africano.

## 5. Características dos sistemas de indicadores

Essa seção se dedica a explorar como ocorreu a inserção da temática dos resíduos sólidos nos Sistemas de Indicadores. Como pode ser observado no Quadro 3, esses sistemas são desenvolvidos em nível local, tanto para comunidades, cidades ou regiões. Há grande variabilidade na forma de organização dos SI, tanto em tipo, quanto em quantidade das categorias. Por exemplo, Nader, Salloum e Karam (2008) organizaram o sistema em quatro temas; Castellani e Sala (2010) utilizaram seis áreas; Fehr et al. (2004) utilizaram doze parâmetros de sustentabilidade; e Braulio-Gonzalo, Bovea e Ruá (2015) utilizaram 14 categorias.

### Quadro 3: Características dos sistemas de indicadores de avaliação de sustentabilidade local, que contam com indicadores de RS.

Autor	Local	Organização do SI <sup>a</sup>	Número de indicadores do SI	Número de Indicadores de RS	Processo de construção do SI
Kelly e Moles (2002)	Cidade (Irlanda)	<b>Ambiental</b> ; Social; Econômica	25	2	Participativo
Yuan et al. (2003)	Cidade (Xangai, China)	Não há categorização	17	1	Participativo
Fehr et al. (2004)	Cidades (Brasil)	Evolução demográfica; Transporte público; <b>Resíduos sólidos</b> ; Efluentes líquidos; Monitoramento do ar; Abastecimento de água doce; Educação pública; Manifestações; culturais; Abastecimento de energia; Manutenção de parques; Uso do solo e preservação dos recursos	68	6	Não explica
McAlpine e Birnie (2005)	Comunidade (Ilha Guernsey)	Não há categorização	55	3	Participativo
Choi e Sirakaya (2006)	Comunidade	Social; Econômica; <b>Ecológica</b> ; <b>Política</b> ; Tecnológica; Cultural	125	3	Não participativo
Fraser et al. (2006)	Comunidade (Ilha Guernsey)	Não há categorização	17	3	Participativo
Lee e Huang (2007)	Cidade (Taipei, Taiwan)	<b>Ambiental</b> ; Social; Econômica; Institucional	51	3	Não participativo
Nader, Salloum e Karam (2008)	Municípios do Líbano	<b>População e indicadores socioeconômicos</b> ; Indicadores econômicos; Indicadores ambientais; Atividades do desenvolvimento sustentável e indicadores políticos	110	6	Participativo
Mickwitz e Melanen (2009)	Região de Kymenlaakso (Finlândia)	Não há categorização	50	2	Participativo
Spilanis et al. (2009)	Ilhas da Grécia (Paros and Kos)	<b>Ambiental</b> ; Social; Econômica	39	1	Não participativo

Castellani e Sala (2010)	Comunidade	População; Habitação; Serviços; Economia e trabalho; <b>Ambiente</b> ; Turismo	20	1	Participativo
Chávez-Cortés e Maya (2010)	Comunidade	<b>Ambiental</b> ; Social; Econômica; Institucional	34	2	Participativo
Cox et al. (2010)	Comunidade (Vitória – Austrália)	Saúde, segurança e inclusão na comunidade; Economia dinâmica e resiliente; <b>Construção sustentável e ambiente natural</b> ; Riqueza cultura e comunidades vibrantes; Democracia e engajamento da comunidade	90	2	Participativo
Mascarenhas et al. (2010)	Região de Algarve (Portugal)	Não há categorização	20	2	Participativo
Tanguay et al. (2010)	Cidades (Estados Unidos, Europa e Canadá)	Ambiental; Social; Econômica; Equitativa (entre social e econômico); <b>Habitável (entre social e ambiental)</b> ; <b>Viável (entre econômico e ambiental)</b> ; Sustentável (intersecção do ambiental, econômico e social)	29	2	Não participativo
Tolón-Becerra, Lastracano-Gómez (2010)	Comunidades rurais (Andaluzia – Espanha)	Meios de trabalho; Demografia; Economia local; Turismo, energia e transporte; Agricultura e pecuária <b>Recursos naturais</b> ; Recursos sociais	228	2	Não explica
Yigitcanlar e Dur (2010)	Cidade (Gold Coast, Austrália)	<b>Ambiente</b> ; Demografia; Uso do solo e forma urbana; Transporte	29	1	Não participativo
Choon et al. (2011)	Cidades da Malásia	<b>Bem-estar ecológico</b> ; Bem-estar humano	30	5	Não participativo
Shen et al. (2011)	Cidades (Ásia, Europa e América do Norte)	<b>Ambiental</b> ; Social; Econômica; Governança	37	1	Não participativo

Turcu (2012)	Comunidade (bairros na Inglaterra)	<b>Sustentabilidade ambiental;</b> Sustentabilidade social; Sustentabilidade econômica; Sustentabilidade institucional	26	1	Participativo
Xu e Coors (2012)	Comunidade (Cidade da Alemanha)	<b>Ambiente;</b> Habitação; Economia; Sociedade	24	1	Não participativo
Castellani e Sala (2013)	Cidades da Itália	Ar e clima; Água; Uso do solo; Agricultura; Biodiversidade; <b>Resíduos;</b> Energia	21	2	Não participativo
Tourneau et al. (2013)	Comunidades da Amazônia (Brasil)	Condições de vida; <b>Condições ambientais;</b> Necessidades presentes e perspectivas futuras; Governança	44	1	Participativo
Turcu (2013)	Comunidades (áreas urbanas do Reino Unido)	<b>Sustentabilidade ambiental;</b> Sustentabilidade social; Sustentabilidade econômica; Sustentabilidade institucional	24	1	Participativo
Canavese, Ortega e Queirós (2014)	Região de Algarve (Portugal)	Demografia; Saúde; Utilização e qualidade da água; <b>Produção e tratamento de resíduos;</b> Poluição do ar; Financiamento	13	2	Não participativo
Graymore (2014)	Comunidade (Vitória – Austrália)	<b>Bem-estar ecológico;</b> Bem-estar humano	41	2	Participativo
Mascarenhas, Nunes e Ramos (2014)	Região de Algarve (Portugal)	Não há categorização	14	1	Participativo
Moreno Pires, Fidélis e Ramos (2014)	Cidades de Portugal (Cascais e Oeiras)	Educação para o Desenvolvimento Sustentável; Instituições do ambiente costeiro e marinho; Conservação natural e Biodiversidade; Conservação natural/Planejamento de florestas; Ar; Água <b>Resíduos;</b> Energia; Transportes; Ruídos Agricultura; Turismo	21	1	Participativo

Braulio-Gonzalo, Bovea e Ruá (2015)	Cidade (Espanha)	Solo; Morfologia urbana; Mobilidade e transporte; Natureza e biodiversidade; Construção e habitação; Energia; Água Materiais; <b>Resíduos</b> ; Poluição; Aspectos sociais; Aspectos econômicos; Gestão e instituição; Inovação	63	2	Não participativo
Egilmez, Gumus e Kucukvar (2015)	Cidades (Estados Unidos e Canadá)	Ar; Uso de energia; Construções; Água <b>Resíduos</b> ; Uso da terra; Transportes	16	1	Não participativo
Martins e Cândido (2015)	Cidades (Brasil)	<b>Racionalidade eco energética</b> ; Metabolismo urbano; <b>Pureza</b> ; Cidadania; Eficiência; <b>Equidade</b> ; Patrimônio	172	15	Não participativo
Robati, Monavari e Majedi (2015)	Cidades (Capital do Irã e cidades do oeste da Ásia)	<b>Física</b> ; Socioeconômica; Cultural	16	1	Não participativo
Sui-Qui e Leng (2015)	Cidade (México)	<b>Ambiental</b> ; Socioeconômica; Urbana; Turismo	50	6	Participativo
King (2016)	Cidade (Estados Unidos)	<b>Econômica</b> ; Ambiental; Social	25	1	Participativo
Manitiu e Pedrini (2016)	Cidades (Europa)	<b>Ambiental</b> ; Social; Cultural	61	2	Não participativo
Pereira e Vieira (2016)	Cidade (Belém, Brasil)	Não há	11	1	Não participativo

Fonte: Elaboração própria

Nota:

<sup>a</sup> As categorias utilizadas pelos autores para organizar os SI são variáveis, por exemplo: dimensões, setores, áreas, temas, parâmetros. Em negrito estão destacadas as categorias, nas quais estão inseridos os indicadores de RS

Também há grande distinção nas categorias nas quais os indicadores de RS são inseridos, o que faz sentido uma vez que as categorias são muito diversas. Porém, notou-se que um determinado aspecto dos resíduos sólidos pode estar alocado em categorias com propósitos divergentes. Como exemplo, tem-se o indicador sobre geração de resíduos hospitalares, que no sistema apresentado por Nader, Salloum e Karam (2008) está alocado no tema “População e indicadores socioeconômicos” e no SI proposto por Martins e Cândido (2015) está alocado na dimensão “racionalidade ecoenergética”.

No que se refere ao processo de construção das ferramentas de avaliação da sustentabilidade, só foi possível observar a participação social na construção do sistema de indicadores em metade dos trabalhos analisados (Quadro 3). Indicativo de SI construídos sem o envolvimento das partes interessadas, numa abordagem de tomada de decisão top down. Os resultados não indicam relação entre a participação dos atores sociais e a quantidade de indicadores de resíduos sólidos nos SI.

Em relação à representatividade dos indicadores de resíduos sólidos nos sistemas de avaliação de sustentabilidade local, uma análise de frequência evidenciou que mais de 80% dos SI apresentam somente um, dois ou três indicadores de RS ( $f_i = 15, 12$  e  $4$ , respectivamente). Apenas quatro trabalhos apresentam cinco ou mais indicadores, sendo que Martins e Cândido (2015) incluíram 15 indicadores de RS.

## 6. Características dos indicadores de resíduos sólidos

O Quadro 4 apresenta os 50 indicadores de resíduos sólidos encontrados nos SI para ASL e identifica os objetos aos quais eles buscam representar. Esses objetos foram divididos em três categorias: etapa do processo da GRS, nível de importância na hierarquia da GRS e dimensões de sustentabilidade.

**Quadro 4: Características dos indicadores de resíduos sólidos presentes nos SI, segundo seu potencial de representar etapa do processo da GRS, nível de importância na hierarquia da GRS e dimensões da sustentabilidade**

Indicador	Autor	Etapa do processo da GRS	Nível de importância na hierarquia da GRS	Dimensão de sustentabilidade
Geração de resíduos <sup>8</sup>	Tolón-Becerra, Lastra-Bravo e Galdeano-Gómez (2010); Cox et al. (2010); Yigitcankar e Dur (2010); Robati, Monavari e Majedi (2015); King (2016); Shen et al. (2011); Nader, Salloum e Karam (2008); Sui-Qui e Leng (2015); Lee e Huang (2007); Castellani e Sala (2013); Mcalpine e Birnie (2005); Fraser et al. (2006); Xu e Coors (2012); Chávez-Cortés e Maya (2010); Martins e Cândido (2015)	Geração	Alta	Ambiental, Econômica e Social
Produção de RSU por tipo de resíduo	Mascarenhas et al. (2010)	Geração	Alta	Ambiental, Econômica e Social

Quantidade de resíduos sólidos (entulhos) per capita (hab./dia)	Martins e Cândido (2015)	Geração	Alta	Ambiental e Econômica
Quantidade de resíduos em caixa estacionária per capita (hab./dia)	Martins e Cândido (2015)	Geração	Alta	Ambiental, Econômica e Social
Quantidade de resíduos de podas per capita (hab./dia)	Martins e Cândido (2015)	Geração	Alta	Ambiental
Composição do resíduo municipal	Nader, Salloum e Karam (2008)	Geração	Alta	Ambiental e Social
Resíduos perigosos	Sui-Qui e Leng (2015); Kelly e Moles (2002)	Geração (Perigosos)	Alta	Ambiental
Geração de resíduos hospitalares <sup>3</sup>	Nader, Salloum e Karam (2008); Martins e Cândido (2015)	Geração (Perigosos)	Alta	Ambiental
Resíduos sólidos coletados por habitante/ano <sup>9</sup>	Manitiu e Pedrini (2016); Choon et al. (2013)	Geração e coleta	Alta	Ambiental e Social
Produção e Coleta seletiva de resíduos municipais e recuperação de resíduos municipais	Moreno Pires, Fidélis e Ramos (2014)	Geração, Coleta e Destinação (reciclagem)	Média e alta	Ambiental, Econômica e Social
Cobertura da coleta de resíduos sólidos <sup>1</sup>	Pereira e Vieira (2016); Canavese, Ortega e Queirós (2014); Choon et al. (2013)	Coleta	Baixa	Ambiental e Social

Sistema de coleta eficiente <sup>2</sup>	Sui-Qui e Leng (2015); Martins e Cândido (2015)	Coleta	Baixa	Econômica
Porcentagem de resíduos coletados / previsto	Castellani e Sala (2013)	Coleta	*	*
Tipo de coleta dos resíduos sólidos	Fehr et al. (2014)	Coleta	*	*
Proporção de domicílios com disposição dos resíduos coletados	Martins e Cândido (2015)	Coleta	Baixa	Ambiental e Social
Distância das residências aos contêineres de coleta seletiva	Braulio-Gonzalo et al. (2015)	Coleta	Média	Social
Frequência de coleta de resíduos sólidos	Fehr et al. (2014)	Coleta	Baixa	Ambiental e Social
Coleta seletiva de resíduos sólidos <sup>4</sup>	Martins e Cândido (2015); Castellani e Sala (2010); Canavese, Ortega e Queirós (2014)	Coleta	Média	Ambiental e Social
Número e porcentagem de residências que apresentam problemas na disposição dos resíduos domésticos	Nader, Salloum e Karam (2008)	Coleta	Baixa	Ambiental e Social
Coleta de lixo e reciclagem por 10.000 habitantes	Choon et al. (2013)	Coleta e destinação (reciclagem)	Baixa e média	Ambiental, Econômica e Social

Tratamento e gestão dos resíduos sólidos	Yuan et al. (2003)	Coleta, Destinação (processamento) e Disposição	Baixa e média	Ambiental e Econômica
Destinação de resíduo sólido doméstico	Nader, Salloum e Karam (2008)	Destinação	Média e baixa	Ambiental
Existência de empresas de reciclagem <sup>5</sup>	Martins e Cândido (2015)	Destinação (reciclagem)	*	*
Taxa de reciclagem <sup>6</sup>	Mcalpine e Birnie (2005); Fraser et al. (2006); Egilmez, Gumus, e Kucukvar (2015); Lee e Huang (2007); Tanguay et al. (2010); Turcu (2012); Turcu (2013); Cox et al. (2010); Choi e Sirakaya (2006); Fehr et al. (2014); Graymore (2014)	Destinação (reciclagem)	Média	Ambiental, Econômica e Social
Volume de resíduos reciclados	Chávez-Cortés e Maya (2010); Sui-Qui e Leng (2015)	Destinação (reciclagem)	Média	Ambiental, Econômica e Social
Número de estações de reciclagem	Robati, Monavari e Majedi (2015)	Destinação (reciclagem)	Média	Ambiental
Proporção de resíduos sólidos compostos (encaminhados à compostagem)	Lee e Huang (2007)	Destinação (compostagem)	Média	Ambiental e Econômica
Taxa de recuperação de resíduos	Mickwitz e Melanen (2009)	Destinação (recuperação)	Média	Ambiental, Econômica e Social
Taxa de tratamento dos resíduos industriais	Zhou et al. (2015)	Destinação (processamento)	Baixa	Ambiental

Proporção dos resíduos de construção e demolição tratados	Braulio-Gonzalo et al. (2015)	Destinação (processamento)	Baixa	Ambiental e Econômica
Tratamento dos resíduos	Tourneau et al. (2013)	Destinação (processamento)	Baixa	Ambiental e Econômica
Recuperação e eliminação de resíduos	Mascarenhas, Nunes e Ramos (2014)	Destinação (recuperação) e Disposição final	Média e baixa	Ambiental, Econômica e Social
Valorização e disposição de resíduos	Mascarenhas et al. (2010)	Destinação (recuperação) e Disposição final	Média e baixa	Ambiental, Econômica e Social
Disposição dos resíduos sólidos	Kelly e Moles (2002)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Descarga per capita de resíduos sólidos	Choi e Sirakaya (2006)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Problemas na disposição final dos resíduos domésticos	Nader, Salloum e Karam (2008)	Disposição final	Baixa	Ambiental e Social
Eliminação dos resíduos sólidos em aterros controlados	Tolón-Becerra, Lastra-Bravo e Galdeano-Gómez (2010)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Existência de unidades de processamento dos resíduos sólidos, tipo aterro sanitário	Martins e Cândido (2015)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Resíduos domésticos destinados ao aterro <sup>7</sup>	Mickwitz e Melanen (2009); Graymore (2014); Tanguay et al. (2010)	Disposição final	Baixa	Ambiental

Proporção de resíduos sólidos processados pelo aterro	Manitiu e Pedrini (2016)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Prioridade de encaminhamento para o aterro sanitário	Fehr et al. (2014)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Aterro em concordância com a norma	Sui-Qui e Leng (2015)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Qualidade do aterro	Fehr et al. (2014)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Área de aterro dos resíduos sólidos	Spilanis et al. (2009)	Disposição final	Baixa	Ambiental
Período de envolvimento em programas de reciclagem	Choon et al. (2013)	Governança	*	Social
Existência de projetos comunitários de reciclagem	Martins e Cândido (2015)	Governança	*	Social
Tipo de administração (gestão de resíduos sólidos)	Fehr et al. (2014)	Governança	*	*
Apresentação do relatório do programa de reciclagem	Choon et al. (2013)	Governança	*	*

Disponibilidade de política e gestão de resíduos sólidos	Choi e Sirakaya (2006)	Governança	*	*
Repasse de resíduos sólidos coletados para outro município	Martins e Cândido (2015)	*	Baixa	Ambiental, Econômica e Ambiental

Fonte: Elaboração própria

Notas:

Inclui os indicadores “Acesso à coleta regular de resíduos sólidos (%)” e “Porcentagem da área que recebe serviços de coleta de lixo”.

2 Inclui o indicador “Percentual da população atendida com frequência de duas ou três vezes por semana pelo serviço de coleta de resíduos”.

3 Inclui o indicador “Quantidade de resíduos hospitalares per capita (hab./dia)”.

4 Inclui os indicadores: “Existência de sistema de coleta seletiva de resíduos” e “Resíduos municipais coletados de forma seletiva”.

5 Inclui os indicadores “Existência de empresas de tecnologias para reciclagem de materiais” e “Existência de tecnologias patenteadas para reciclagem”.

6 Inclui os indicadores “Resíduos municipais reciclados”, “Proporção de resíduos reciclados”, “Quantidade de resíduos reciclados (ton./hab./ano)” e “Reciclagem de resíduos domésticos”.

7 Inclui o indicador “Quantidade de resíduos domiciliares enviados para aterro sanitário (ton./ano)”.

8 Inclui os indicadores “Produção anual de resíduos”, “Geração de resíduos domésticos”, “Geração de resíduos e gestão”, “Geração de resíduo sólido municipal”, “Produção per capita de resíduos”, “Produção diária de resíduos”, “Resíduos domiciliares”, “Resíduos comerciais”, “Quantidade de resíduos sólidos domiciliares per capita (hab./dia)”.

9 Inclui o indicador “Média diária de coleta de lixo por pessoa”.

\* Não foi possível classificar com as informações disponíveis nos artigos.

A primeira observação é que muitas das tipologias de RS (ver Quadro 1) foram incorporadas aos SI. Embora a maior parte dos indicadores sejam referentes a resíduos residenciais, comerciais e institucionais, há indicadores específicos para resíduos de serviços de limpeza urbana (por exemplo, ‘Quantidade de resíduos de podas per capita’), resíduos de construção e demolição (por exemplo, ‘Quantidade de resíduos sólidos – entulhos, per capita’), resíduos Industriais (por exemplo, ‘Taxa de Tratamento dos resíduos industriais’) e resíduos de serviço de saúde. Não foram identificados indicadores específicos para resíduos de agricultura ou de mineração, que poderiam ser incorporados para localidades, cujas atividades econômicas são baseadas nessas atividades. Isso retoma a discussão acerca de como a temática deve ser considerada de forma localizada, uma vez que há grande variabilidade na geração de resíduos, em termos quantitativos e qualitativos.

A GRS é complexa, envolve várias etapas (geração, coleta, destinação, disposição final e governança) e como todas essas etapas estão interconectadas à sustentabilidade local, seria interessante que o conjunto de indicadores para ASL buscassem representá-las (ver Seção 2). No entanto, os resultados mostram que apenas dois sistemas (YUAN et al., 2003; MORENO PIRES; FIDÉLIS; RAMOS, 2014) contam com indicadores capazes de captar três etapas do processo de GRS. De fato, os conjuntos de indicadores propostos pela maioria dos sistemas (94,3%) são capazes de representar somente uma ou duas dessas etapas. Como está descrito a seguir, há uma tendência na utilização de indicadores de destinação, disposição final de resíduos sólidos e coleta, sendo os indicadores de governança menos frequentes.

Os indicadores da etapa ‘destinação’ dos RS foram os mais frequentes (30%) com destaque para o indicador ‘Taxa de reciclagem’ que está em onze sistemas de avaliação de sustentabilidade. É importante destacar que Turcu (2012; 2013) e Egilmez, Gumus e Kucukvar (2015) utilizam apenas esse indicador para representar o tema dos resíduos sólidos no sistema de ASL. Entende-se que ‘Taxa de reciclagem’ contempla a dimensão ambiental (em aspectos de diminuição de recursos naturais e prevenção de poluição) e a dimensão econômica, mais especificamente atrelado à economia circular. O indicador ainda capta a dimensão social relacionada à motivação e engajamento da população necessárias para o sucesso de programas de reciclagem. Apesar das três dimensões de sustentabilidade poderem ser representadas pelo indicador, o indicador consegue retratar somente níveis intermediários da hierarquia de gestão de resíduos sólidos (reciclagem e valorização dos resíduos), pois não incorpora as questões prioritárias de prevenção e redução na geração de resíduos.

Quatorze indicadores (28%) para a etapa ‘disposição final’ foram identificados e a grande maioria contempla apenas a dimensão ambiental, mais especificamente aspectos de prevenção de poluição, como ‘Descarga per capita de resíduo sólidos’ e ‘Resíduos domésticos destinados ao aterro’. Há três exceções: o indicador ‘Problemas na disposição dos resíduos domésticos’, no qual é possível identificar a dimensão social relacionada ao bem-estar da população e os indicadores ‘Recuperação e eliminação de resíduos’ e ‘Valorização e disposição de resíduos’, nos quais, além da prevenção de poluição, há outro aspecto da dimensão ambiental relacionado à diminuição de utilização de recursos naturais. Os mesmos dois indicadores podem representar a dimensão econômica, no que se refere à economia circular e à dimensão social, no aspecto de engajamento da população.

Foram também identificados dez indicadores (20%) utilizados para representar a ‘geração’ de resíduos. Autores como Yigitcanlar e Dur (2010), King (2016) e Xu e Coors (2012) utilizam apenas indicadores dessa natureza para representar a problemática dos resíduos. Tais autores entendem que eles são de suma importância para representar a problemática dos resíduos sólidos, pois a geração de resíduos está intrinsecamente ligada ao consumo e, no contexto social contemporâneo, esse aspecto representa elemento importante para avaliação da sustentabilidade. De fato, há um fluxo muito intenso de produção, consumo e descarte (GONÇALVES-DIAS, 2015), que impactam negativamente na sustentabilidade local. Porém, existem outros aspectos da sustentabilidade relacionados

aos RS, que não podem ser captados por esses indicadores (por exemplo, prevenção de poluição e governança socioambiental democrática e participativa).

Outra característica analisada foi a capacidade dos indicadores em representar os níveis de importância na hierarquia da GRS (alta prioridade: prevenção e não geração; média prioridade: ações de reuso, reciclagem e valorização dos resíduos; baixa prioridade: ações de tratamento ou disposição final). Os indicadores que ilustram os níveis de baixa prioridade foram os mais frequentes (40%), seguidos daqueles com alta (18%) e média prioridade (14%). Somente cinco (10%) SIs contam com um conjunto de indicadores apto a retratar os três níveis da hierarquia da GRS, dezenove (38%) conseguem sinalizar dois níveis e doze (24%) somente um. Portanto, foi identificada uma preferência pela utilização de indicadores e sistemas concentrados na pós geração dos resíduos. Porém, numa perspectiva da sustentabilidade (uma vez que são estudos de ASL) eram esperados mais indicadores destinados para medir os esforços da sociedade pela prevenção e minimização dos resíduos ou redução da demanda por recursos naturais (PELLETIER, 2010).

Em relação às dimensões de sustentabilidade, a maioria dos sistemas incorpora indicadores capazes de representar aspectos para as três dimensões (72.22% dos SI). Há maior quantidade de indicadores destinados a captar e retratar aspectos da dimensão ambiental (40 indicadores), nomeadamente diminuição de recursos naturais e prevenção de poluição. Na dimensão econômica, a grande maioria dos indicadores remetem à economia circular, porém há outras duas concepções observadas: 'Repasse de resíduos sólidos coletados para outro município' e 'Sistema de coleta eficiente'. Tais indicadores denotam um ponto de vista de eficiência financeira. De outro lado, o indicador 'Quantidade de resíduos sólidos (entulhos) per capita' pode indicar processos mais limpos de produção econômica e industrial. Foi considerado que 19 indicadores podem representar aspectos da dimensão social da sustentabilidade: a) onze indicadores incorporam a mobilização da sociedade para valorização, recuperação de resíduos e reciclagem; b) quatro deles, 'Cobertura da coleta de resíduos sólidos', 'Frequência de coleta de resíduos sólidos', 'Problemas na disposição dos resíduos domésticos' e 'Número e porcentagem de residências que apresentam problemas na disposição dos resíduos domésticos', remetem ao bem-estar da sociedade. Além de problemas de saúde pública ocasionados pela disposição incorreta dos resíduos, como incômodo provocado pelo odor, contato visual e proliferação de vetores (ZHANG; MATSUTO, 2013; SIMSEK et al., 2014); c) já os indicadores 'Produção de RSU por tipo de resíduo', 'Resíduos sólidos coletados por habitante/ano', 'Composição do resíduo municipal' e 'Geração de resíduos' trazem à tona a concepção de justiça social. A composição e a quantidade de resíduos gerados por uma sociedade estão intrinsecamente relacionadas à renda, cultura e padrão de consumo. Logo, é possível uma análise acerca da equidade intrageracional (países desenvolvidos vs. em desenvolvimento, norte vs. sul, população urbana vs. rural) e intergeracional.

A última análise é relacionada ao impacto da abordagem da construção dos indicadores (participativos vs. não participativos) no potencial em representar as etapas do processo da GRS, os níveis de hierarquia da GRS e as dimensões da sustentabilidade. Das ASL participativas, 27,78% apresentaram um conjunto de indicadores apto a captar pelo

menos 3 elementos da GRS, essa proporção foi menor em ASL não participativas (12,5%). Metade dos sistemas não participativos contam com indicadores para representar somente uma etapa da GRS, isso ocorre em menor proporção para os processos participativos (27,8%). Analisando a questão da representação dos níveis de ordem da hierarquia da GRS, há maior proporção de SI participativos que captam pelo menos dois níveis (72,2%) do que não participativos (56,62%). Em relação às dimensões de sustentabilidade que devem ser objeto dos indicadores, 77,78% dos SI baseados em processos participativos propuseram conjuntos de indicadores capazes de representar aspectos das três dimensões da sustentabilidade, essa proporção foi menor em SI não participativos (62,5%).

## 7. Considerações finais

Entender como os indicadores de resíduos sólidos foram inseridos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local tem muita relevância para permitir que novos sistemas venham a ser construídos e possam aprender com as limitações e potencialidades dos já existentes. A revisão aqui realizada visou identificar e analisar como é que os indicadores são utilizados para representar a temática dos RS, considerada de alta complexidade para a tomada de decisão de gestores públicos e privados.

Da investigação destaca-se que mais de 80% dos SI de ASL apresentam no máximo três indicadores para representar toda complexidade dos RS. Dessa forma, o conjunto de indicadores não é capaz de captar e representar todas as etapas da GRS. De fato, os resultados apontam que a maioria dos SI (80,5%) são aptos a representar, no máximo, duas dessas etapas. As etapas da GRS foram organizadas em níveis de prioridade (hierarquia da GRS) e os resultados mostraram que a maioria dos indicadores utilizados são dedicados a ilustrar os níveis de baixa prioridade (somente cinco SI contam com um conjunto de indicadores apto a retratar os três níveis da hierarquia da GRS). Em relação às dimensões de sustentabilidade, 72,22% dos SI contam com indicadores capazes de captar aspectos das três dimensões (econômica, ambiental e econômica). Foram encontradas evidências de que o processo participativo influencia positivamente na capacidade dos conjuntos de indicadores representar a complexidade da GRS e sua conexão com a sustentabilidade.

Algumas recomendações gerais são aqui delineadas para a inclusão mais apropriada de indicadores de RS nos sistemas de indicadores para avaliação de sustentabilidade local:

a) com base nos princípios de sustentabilidade é recomendável que o SI capte, através de seus indicadores de RS, aspectos de diminuição de utilização de recursos naturais e de prevenção de poluição (dimensão ambiental); adaptação à economia circular, eficiência financeira e de produção mais limpa (dimensão econômica); além de aspectos de bem-estar e de justiça social (dimensão social);

b) é recomendável que os SI contemplem todos os níveis de importância da hierarquia da GRS, desde a utilização de tecnologias caracterizadas como *end of pipe* até questões paradigmáticas de não geração. Através da metanálise do SI, a tendência é que ele amadureça interativamente com a GRS e que cada vez menos indicadores da base da

ordem da hierarquia da GRS sejam utilizados; c) é recomendável que todas as etapas do processo da GRS sejam contempladas, pois todas apresentam relação com aspectos da sustentabilidade.

Uma das linhas para trabalhos futuros será o desenvolvimento de conjunto de indicadores comuns de GRS para integrar ao SI local. Esta lista comum será sempre complementada pelas especificidades de cada contexto local, em particular se os resíduos forem um fator crítico para a sustentabilidade local. Outra recomendação para estudos futuros é a investigação sobre a complementação dos indicadores de RS com indicadores de outras áreas da sustentabilidade, dentro dos SI, sob uma abordagem de avaliação integrada (não reducionista e fragmenta em pilares sujeita ao efeito de trade-offs).

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

- ADAMOVIĆ, V. M. et al. Prediction of municipal solid waste generation using artificial neural network approach enhanced by structural break analysis. **Environ Sci Pollut Res**, v. 24, p. 299–311, 2017.
- BAGCH, A. **Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management**. Wiley, 2004.
- BARR, S.; GILG, A.; SHAW, G. 'Helping People Make Better Choices': Exploring the behaviour change agenda for environmental sustainability. **Applied Geography**, v.31, n.2, p. 712-720, 2011.
- BJERKLI, C. L. Power in waste: Conflicting agendas in planning for integrated solid waste management in Addis Ababa, Ethiopia. **Norwegian Journal of Geography**, v. 69, n.1, p. 18-27, 2015
- BELL, S.; MORSE, S. Breaking through the glass ceiling: who really cares about sustainability indicators? **Local Environment**, v.6, n.3, p. 291–309, 2001.
- BOSSSEL H. **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications**. A Report to the Balaton Group. IISD, Canada. CES, 1999. Index of Sustainable and Economic Welfare.
- BRAULIO-GONZALO, M.; BOVEA, M. B.; RUÁ, M. J. 2015. Sustainability on the urban scale: Proposal of a structure of indicators for the Spanish context. **Environmental Impact Assessment Review**, v.53, p. 16-30, 2015.
- BUENO, G.; LATASA, I.; LOZANO, P.J. Comparative LCA of two approaches with different emphasis on energy or material recovery for a municipal solid waste management system in Gipuzkoa. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.51, p. 449-459, 2015.

- BULKELEY, H.; GREGSON, N. Crossing the Threshold: Municipal Waste Policy and Household Waste Generation. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 41, p. 929-945, 2009.
- BURNLEY, S.J. A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. **Waste Management**, v. 27, n. 10, p. 1274-1282, 2007.
- CANAVESI, D.; ORTEGA, N. R. S.; QUEIRÓS, M. The assessment of local sustainability using fuzzy logic: An expert opinion system to evaluate environmental sanitation in the Algarve region, Portugal. **Ecological Indicators**, v.36, p. 711-718, 2014.
- CASTELLANI, V.; SALA, S. 2010. Sustainable performance index for tourism policy development. **Tourism Management**, v.31, n.6, p. 871-880, 2010.
- CASTELANI, V.; SALA, S. Sustainability Indicators Integrating Consumption Patterns in Strategic Environmental Assessment for Urban Planning. **Sustainability**, v. 5, p. 3426-3446, 2013.
- CASTRO, M. A. O.; SILVA, N. M.; MARCHAND, G. A. E. L. Developing indicators for sustainable management of solid waste in Iranduba, Manacapuru and Novo Airão municipalities, Amazon, Brazil. **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.3, p. 415-426, 2015.
- CETRULO, T. B. et al. Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 205, p.179-187, 2018.
- CHAMIZO-GONZALEZ, J.; CANO-MONTERO, E. I.; MUÑOZ-COLOMINA, C.I. Municipal Solid Waste Management services and its funding in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 107, p. 65-72, 2016.
- CHÁVEZ-CORTÉS, M.; MAYA, J. A. A. 2010. Identifying and Structuring Values to Guide the Choice of Sustainability Indicators for Tourism Development. **Sustainability**, v. 2, p. 3074-3099, 2010.
- CHOI, H. S. C.; SIRAKAYA, E. Sustainability indicators for managing community tourism. **Tourism Management**, v.27, n. 6, p. 1274-1289, 2006.
- CHOON, S. W. et al. 2011. A sustainable city index for Malaysia. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v.18, p. 28-35, 2011.
- CORVELLEC, H.; CAMPOS, M. J. Z.; ZAPATA, P. Infrastructures, Lock-in, and Sustainable Urban Development: The Case of Waste Incineration in the Göteborg Metropolitan Area. **Journal of Cleaner Production**, v. 50, p. 32-39, 2013.
- COX, D. et al. Developing and using local community wellbeing indicators: Learning from the experience of Community Indicators Victoria. **Australian Journal of Social Issues**, v. 45, n.1, p. 71-88, 2010.
- EGILMEZ, G.; GUMUS, S.; KUCUKVAR, M. 2015. Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises: An expert judgment-based multi-criteria decision-making approach. **Cities**, v. 42, p. 31-41, 2015.

- ESMAEILIAN, B. et al. The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper. **Waste Management**, v.81, p. 177-195, 2018.
- FEHR, M. et al. Proposal of indicators to assess urban Sustainability in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 355–366, 2004.
- FEREDAY, J.; MUIR-COCHRANE, E. Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. **International Journal of Qualitative Methods**, v. 5, n. 1, 2006.
- FRASER, E. D. G. et al. Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. **Journal of Environmental Management**, v.78, n. 2, p. 114-127, 2006.
- GIBSON, B.; HASSAN, S.; TANSEY, J. **Sustainability Assessment: Criteria and Processes**. London: Routledge, 2005.
- GONÇALVES-DIAS, S. F. L. Consumo & Resíduos: duas faces da mesma moeda. **GV Executivo**, v.14, n.1, 2015.
- GRAYMORE, M. L. M. Sustainability Reporting: An Approach to Get the Right Mix of Theory and Practicality for Local Actors. **Sustainability**, v.6, n.6, p. 3145-3170, 2014.
- GRUNERT, K. G.; THORGENSEN, J. **Consumers, Policy and Environment: a tribute to Folke Ölander**. New York: Springer, p.127-150, 2005.
- GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.
- HENRIKSSON, G.; ÅKESSON, L.; EWERT, S. Uncertainty regarding waste handling in everyday life. **Sustainability**, n. 2, p. 2799–2813, 2010.
- IACOVIDOU, E. et al. Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, V. 166, p. 910-938, 2017.
- ICLEI - Local Governments for Sustainability. About ICLEI. Disponível em: <http://www.iclei.org/iclei-global/who-is-iclei>. Acesso em: 04 dez 2018.
- KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 Urban Development Series**. International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. 2018. Disponível em < <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174> >. Acesso em: 27 de Mar. de 2019.
- KELLY, R.; MOLES, R. The Development of Local Agenda 21 in the Mid-west Region of Ireland: A Case Study in Interactive Research and Indicator Development. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.45, n. 6, p. 889-912, 2002.

- KING, L. K. Functional sustainability indicators. **Ecological Indicators**, v.66, p.121-131, 2016.
- KRIPPENDORFF, K. Reliability in content analysis: some common misconceptions and recommendations. **Human Communication Research**, v. 30, n. 3, p. 411–433, 2004.
- LEE, Y. J.; HUANG, C. M. Sustainability index for Taipei. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, p. 505–521, 2007.
- MANITIU, D. N.; PEDRINI, G. Urban smartness and sustainability in Europe. An ex ante assessment of environmental, social and cultural domains. **European Planning Studies**, 2016.
- MAPAR, M. et al. Sustainability indicators for municipalities of megacities: Integrating health, safety and environmental performance. **Ecological Indicators**, n. 83, p. 271-291, 2017.
- MARTINEZ-ALIER, J. Mining conflicts, environmental justice, and valuation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 86, p.153-170, 2001.
- MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G.A. Assessment model of urban sustainability level: proposal to Brazilian cities. **Brazilian Journal of Urban Management**, v.7, n.3, p. 397-410, 2015.
- MASCARENHAS, A. et al. 2010. The role of common local indicators in regional sustainability assessment. **Ecological Indicators**, v.10, n.3, p. 646-656, 2010.
- MASCARENHAS, A.; NUNES, L. M.; RAMOS, T. B. Selection of sustainability indicators for planning: combining stakeholders' participation and data reduction techniques. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 295-307, 2015.
- MCALPINE, P.; BIRNIE, A. Is there a correct way of establishing sustainability indicators? The case of sustainability indicator development on the Island of Guernsey. **Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability**, v.10, n.3, p. 243-257, 2005.
- MEADOWS, D. **Indicators and informations systems for sustainable development**. Hart Land Four Corners: The Sustainability Institute, 1998.
- MICKWITZ, P.; MELANEN, M. The role of co-operation between academia and policymakers for the development and use of sustainability indicators – a case from the Finnish Kymenlaakso Region. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n.12, p. 1086–1100, 2009.
- MORENO PIRES, S. M. **Sustainability Indicators and Local Governance in Portugal**. 2011. Tese de Doutorado. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.
- MORENO-PIRES, S.; FIDÉLIS T, RAMOS TB. Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. **Cities**, v. 39, p. 1-9, 2014.
- NADER, M. R.; SALLOUM, B. A.; KARAM, N. Environment and sustainable development indicators in Lebanon: A practical municipal level approach. **Ecological Indicators**, v.8, n.5, p.

771-777, 2008.

NING, S. K.; CHANG, N. B.; HUNG, M. C. Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, n. 15, p. 56-66, 2013.

PARLAMENTO EUROPEU. (2008) Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Diario Oficial de la Unión Europea.

PELLETIER, N. Of laws and limits: An ecological economic perspective on redressing the failure of contemporary global environmental governance. **Global Environmental Change**, 20, 220–228, 2010.

PELLETIER, N.; MAAS, R.; GORALCZYK, M.; WOLF, A. Conceptual basis for development of the European Sustainability Footprint. **Environmental Development**, 9, 12-23, 2014.

PEREIRA, F. S.; VIEIRA, I. C.G. Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n.3, p. 731- 744, 2016.

PLATA-DÍAZ, A. M. et al. Alternative management structures for municipal waste collection services: The influence of economic and political factors. **Waste Management**, v.34, n.11, p. 1967-1976, 2014.

POLIDO, A.; JOÃO, E.; RAMOS, T.B. Sustainability approaches and strategic environmental assessment in small islands: An integrative review. **Ocean & Coastal Management**, v. 96, p. 138-148, 2014.

PRICE, J. L.; JOSEPH, J.B. Demand Management – A basis for Waste Policy: A critical review of the applicability of the Waste Hierarchy in terms of achieving sustainable waste management. **Sustainable Development**, v. 8, p. 96-105, 2000.

RAMOS, T. B.; CAEIRO, S. Meta-performance evaluation of sustainability indicators. **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 157-166, 2010.

RAMOS, T. B.; CAEIRO, S.; MELO, J.J. Environmental indicator frameworks to design and assess environmental monitoring programs. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 22, n.1, p. 47-62, 2004.

REED, M. S.; FRASER, E. D. G.; DOUGILL, A. J. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. **Ecological Economics**, v.59, n.4, p. 406-418, 2006.

RHYNER, C.R. et al. **Management and Resource Recovery**. Lewis Publishers: New York (1995)

ROBATI, M.; MONAVARI, S. M.; MAJEDI, H. 2015. Urban Environment Quality Assessment by Using Composite Index Model. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n.5, p. 1473-1480, 2015.

- RØPKE, I. Theories of practice — New inspiration for ecological economic studies on consumption. **Ecological Economics**, v.68, n.10, p. 2490-2497, 2009.
- ROUSTA, K.; DAHLÉN, L. **Source separation of household waste**; technology and social aspects. In Tahezadeh, M.J., Richards, T., Eds. *Resource Recovery to Approach Zero Municipal Waste*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA; p. 61–77, 2015.
- RYDIN, Y.; HOLMAN, N.; WOLF, E. Local Sustainability Indicators. **Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability**, v.8, n.6, p. 581-589, 2003.
- SAMSON, M. Not Just Recycling the Crisis: Producing Value at a Soweto Garbage Dump. **Historical Materialism**, v.25, n.1, p. 36-62, 2017.
- SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matrix of sustainability indicators for the urban solid waste management. **Eng Sanit Ambient**, v.17 n.2, p. 203-212, 2012.
- SANTOS, V. M. N.; BACCI, D. L. C. Proposta para governança ambiental ante os dilemas socioambientais urbanos. **Estud. av.**, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 199-212, Apr. 2017.
- SAVINI, F. The economy that runs on waste: accumulation in the circular city. **Journal of Environmental Policy & Planning**, Taylor & Francis (on line) p.1-18, 2019.
- SHEN, L. Y. et al. The application of urban sustainability indicators - A comparison between various practices. **Habitat International**, v.35, n.1, p. 17-29, 2011.
- SIMSEK, C.; ELCI, A.; GUNDUZ, O.; TASKIN, N. An improved landfill site screening procedure under NIMBY syndrome constraints. **Landscape and Urban Planning**, v. 132, p.1-15, 2014.
- SINGH, R. H. et al. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, v. 15, n.1, p. 281–299, 2012.
- SPILANIS, I. Monitoring sustainability in insular areas. **Ecological Indicators**, v.9, p.179-187, 2009.
- SUI-QUI, T.; LENG, H. Review on the Development of a Sustainability Indicator System in Agenda 21 for Tourism in Mexico. **International review for spatial planning and sustainable development**, v.3, n.2, p. 4-21, 2015.
- TANGUAY, G. A. et al. Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 407-418, 2010.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F.; WILLIAMS, M.E. Introduction. In: TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2 ed. New York, McGraw-Hill, 2002.
- TOLÓN-BECERRA, A.; LASTRA-BRAVO, X.; GALDEANO-GÓMEZ, E. Planning and neo-endogenous model for sustainable development in Spanish rural areas. **Int. J. Sustainable Society**, v.2, n.2, p. 156-176, 2010.

TOURNEAU, F. M.; et al. Assessing the impacts of sustainable development projects in the Amazon: the DURAMAZ experiment. **Sustain Sci**, v. 8, p. 199–212, 2013.

TURCU, C. Local experiences of urban sustainability: Researching Housing Market Renewal interventions in three English neighborhoods. **Progress in Planning**, v. 78, p. 101–150, 2012.

TURCU, C. 2013. Re-thinking sustainability indicators: local perspectives of urban sustainability. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.56, n.5, p. 695-719, 2013.

UNITED NATIONS. Sustainable Development Goals – United Nations, 2015. Disponível em: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 04 dez 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework. Division of Technology, Industry and Economics, 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, 2011.

VALENTIN, A.; SPANGENBERG, J.H. A guide to community sustainability indicators. **Environmental Impact Assessment Review**, v.20, n.3, p. 381–392, 2000.

VALLIN, I. C.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. The Double Burden of Environmental Injustice in a Female Waste Pickers Cooperative in Brazil. **Journal Für Entwicklungspolitik**, v. XXXV, n. 2/3, p. 116–143, 2019.

VEIGA, T. B. et al. Building sustainability indicators in the health dimension for solid waste management. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, v. 24, 2016.

VERGARA, S. E.; TCHOBANOGLIOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. **Annu. Rev. Environ. Resour.** v. 37, p.277–309, 2012

XU, Z.; COORS, V. 2012. Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development. **Building and Environment**, v. 47, p. 272-287, 2012.

YIGITCANLAR, T.; DUR, F. Developing a Sustainability Assessment Model: The Sustainable Infrastructure, Land-Use, Environment and Transport Model. **Sustainability**, v.2, p. 321-340, 2010.

YUAN, W. et al. Development of sustainability indicators by communities in China: a case study of Chongming County, Shanghai. **Journal of Environmental Management**, v. 68, n. 3, p. 253–261, 2003.

WARLENIUS, R.; PIERCE, G.; RAMASAR, V. **MART Global Environmental Change**, v. 30, p. 21-30, 2015.

WILLIAMS, P.T. Waste Treatment and Disposal. 2 ed. John Wiley and Sons, 2005.

WILSON, D.C.; RODIC, L.; SCHEINBERG, A.; VELIS, C.A.; ALABASTER, G. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. **Waste Management & Research**, v. 30, p. 237–254, 2012.

ZACCARIELLO, L.; CREMIATO, R.; MASTELLONE, M.L. Evaluation of municipal solid waste management performance by material flow analysis: Theoretical approach and case study. **Waste Management & Research**, v.33, n.10, p. 871–885, 2015.

ZHANG, X.; MATSUTO, T. Assessment of internal condition of waste in a roofed landfill. **Waste Management**, v. 33, p.102–108, 2013.

**Natália Molina Cetrulo**

✉ molinacetrulo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1247-7079>

Submetido em: 11/03/2019

Aceito em: 28/03/2020

2020;23:c00283

**Tiago Balieiro Cetrulo**

✉ tiagocetrulo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2961-1839>

**Sylmara Lopes Francelino Gonçalves Dias**

✉ sgdias@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-2129>

**Tomás Barros Ramos**

✉ tabr@fct.unl.pt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8270-4022>

**Como citar:** CETRULO, N. M. et al. Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local: uma revisão da literatura. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 23, p. 1-33, 2020.

# Indicadores de residuos sólidos en sistemas locales de evaluación de sostenibilidad: una revisión de la literatura

Natália Molina Cetrulo  
Tiago Balieiro Cetrulo  
Sylmara L. F. Gonçalves Dias  
Tomás Barros Ramos

São Paulo. Vol. 23, 2020

*Artículo original*

**Resumen:** El tema residuos sólidos (RS) dentro del contexto de evaluación de sostenibilidad local (ESL) aún fue poco explorado. Este artículo trae un revisión de literatura sobre esa temática, centrándose en el análisis de los indicadores de RS y los sistemas en los que se insertan. Es examinado si los indicadores pueden representar la complejidad de la RS y los aspectos de sostenibilidad. Los resultados de esta revisión evidencian que 77.8% de los SI utilizan como máximo 2 indicadores para los RS. Evidencian también que la mayoría de ellos es dedicado a representar los elementos de la destinación y disposición final de la gestión de los RS, los aspectos ambientales de sostenibilidad y los niveles de orden intermedio en la jerarquía de gestión de RS. Se encontró evidencia sobre el impacto positivo de la participación social en los temas analizados. Las consideraciones finales presentan recomendaciones sobre la inclusión de indicadores de RS en sistemas de ASL.

**Palabras-clave:** Indicadores de sostenibilidad, Evaluación de la sostenibilidad local; Participación social; Jerarquía de gestión de residuos.

**Como citar:** CETRULO, N. M. et al. Indicadores de residuos sólidos en sistemas locales de evaluación de sostenibilidad: una revisión de la literatura. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-33, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190028r3vu2020L5AO>

# Solid waste indicators in local sustainability assessment: a literature review

Natália Molina Cetrulo  
Tiago Balieiro Cetrulo  
Sylmara L. F. Gonçalves Dias  
Tomás Barros Ramos

São Paulo. Vol. 23, 2020  
*Original Article*

**Abstract:** The Solid Waste (SW) topic within the local sustainability assessment (LSA) system context remains little explored. This article is a literature review on this topic, with emphasis on the analysis of SW indicators and of systems they concern to. It assessed whether these indicators can represent SW complexity and sustainability aspects. Results in the present review have evidenced that 77.8% of system indicators use at most two SW indicators. Most of these indicators aim at indicating destination stages and the final SW management, environmental sustainability aspects and intermediate magnitude levels in SW management hierarchy. There was evidence of the positive impact of Public participation on the assessed matters. Final considerations present recommendations about SW indicators inclusion in LSA systems.

**Keywords:** Sustainability indicators; Local Sustainability assessment; Public participation; Waste management hierarchy.

**How to cite:** CETRULO, N. M. et al. Solid waste indicators in local sustainability assessment: a literature review. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-31, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190028r3vu2020L5AO>