

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS MODELOS EMPREGADOS PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

PALOMA RAYANNE SILVA BEZERRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

TACIANA DE BARROS JERÔNIMO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

SANDRA MARIA ARAÚJO DE SOUZA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA (UEPB)

Agradecimento à orgão de fomento:

À CAPES visto que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS MODELOS EMPREGADOS PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

1. INTRODUÇÃO: PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

O foco deste estudo recai sobre os modelos (indicadores, métricas e outros parâmetros) elaborados para avaliar a sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU). Esta discussão se torna pertinente devido à relevância (econômica, social e ambiental) e à complexidade inerente à GRSU como alternativa para promover o desenvolvimento sustentável e alcançar a sustentabilidade.

Para fins deste estudo, a sustentabilidade é compreendida a partir do *Triple Bottom Line* (TBL), o qual está fundamentado na relação harmônica entre as dimensões econômica, social e ambiental; isto é, a sustentabilidade fundamenta-se em uma relação equilibrada entre o crescimento econômico, o bem-estar social e a conservação ambiental de forma que as nossas ações atuais não limitem possibilidades de sobrevivência das futuras gerações (Elkington & Trisoglio, 1996).

Reconhecido os elementos centrais do construto de sustentabilidade, é necessário diferenciá-lo do desenvolvimento sustentável. Esses conceitos são frequentemente considerados como sinônimos, mas existe uma diferença entre eles: tanto o conceito do desenvolvimento sustentável como o da sustentabilidade consideram o impacto da atividade econômica sobre o meio ambiente e sobre a qualidade de vida da geração presente e da geração futura, ambos são complementares, sendo o primeiro o caminho para se alcançar o segundo (Fernandes & Cândido, 2015).

Em função dos referidos construtos, a sustentabilidade da GRSU não diz respeito somente a disposição ambientalmente adequada dos resíduos, a questão é muito mais complexa (Castro, 2016). Especificamente, a GRSU contempla atividades diretamente relacionadas à sustentabilidade, por envolver aspectos ligados às questões ambientais, sociais e econômicas (Costa, 2017).

Dada a relevância e a complexidade relativa à GRSU, esta deve ser constantemente avaliada e os indicadores de sustentabilidade são instrumentos importantes para este fim, na medida em que fornecem informações relativas à sustentabilidade dos sistemas de gestão de um determinado recorte geográfico, auxiliando no monitoramento e na orientação de políticas públicas e de estratégias, bem como em diferentes processos de decisão (Santiago & Dias, 2012; Castro, 2016; Costa, 2017).

Dado que os indicadores representam uma forma de buscar a sustentabilidade e de acompanhar com mais facilidade os problemas enfrentados e as suas soluções (Machado & Almeida, 2017), inúmeros conjuntos de indicadores de sustentabilidade, voltados para a temática de resíduos sólidos, vêm emergindo na literatura, à medida que o tema ganha importância (Ramos, 2013), como pode ser consultado, por exemplo, nos estudos de: Santiago e Dias (2012), Pereira, Curi e Curi (2018), Barros e Silveira (2019), entre outros, que definiram indicadores de sustentabilidade para avaliar a GRSU.

Devido à diversidade de modelos desenvolvidos para esse propósito, o domínio do conhecimento relativo à avaliação da sustentabilidade no contexto da GRSU é amplo e heterogêneo, o que torna oportuno a realização de uma pesquisa com uma abordagem interdisciplinar para desenvolver uma compreensão holística sobre o tema. Nesse sentido, este artigo contribui ao mostrar o estado atual das estruturas conceitual e intelectual geral desta área de grande interesse para múltiplos atores sociais (poder público, empresários, acadêmicos, etc.). Isto posto, a pesquisa pauta-se na seguinte questão: Qual é o estado atual da literatura internacional sobre os modelos empregados na avaliação da sustentabilidade relativa à GRSU?

Desse modo, o objetivo deste estudo é mostrar o estado atual da literatura internacional sobre os modelos empregados na avaliação da sustentabilidade da GRSU. Quanto aos objetivos

secundários, esta pesquisa fornece uma análise quantitativa dos estudos analisados, incorporando os seguintes dados bibliométricos: a distribuição temporal das publicações, as fontes de publicações, os autores mais produtivos e a rede de coocorrência de palavras-chave.

Incluindo a presente introdução, o artigo está organizado em cinco seções. A segunda seção consiste no referencial teórico, que trata sobre a avaliação da sustentabilidade da GRSU. A terceira seção é direcionada aos procedimentos metodológicos utilizados para a realização desta pesquisa. A quarta seção traz a discussão dos resultados da pesquisa e, por fim, a quinta seção trata das considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Avaliação da sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos urbanos

O foco deste estudo recai sobre os resíduos sólidos urbanos (RSU), os quais são originários de atividades domésticas em residências urbanas, bem como resultam da varrição, da limpeza de logradouros e de vias públicas, dentre outros serviços de limpeza urbana (Brasil, 2016).

Precisamente, a pesquisa avança o estudo sobre a gestão desses resíduos, a qual é indispensável para a promoção da sustentabilidade dos espaços urbanos no mundo. A gestão de resíduos é um conjunto de ações direcionadas para a busca de soluções para os resíduos, de maneira a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob o princípio do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2017). Assim, a oferta de uma gestão adequada dos resíduos não é somente um indicador de desenvolvimento, mas também de sustentabilidade mais ampla (Beyene, Adam, & Minale, 2023).

Diante da relevância e da complexidade inerente aos processos de GRSU, nos últimos anos, houve um aumento considerável na quantidade de modelos (indicadores, métricas e outros parâmetros) elaborados para avaliar a sustentabilidade da GRSU, resultado dos esforços de atores nacionais e de atores internacionais. Os estudos de: Santiago e Dias (2012), Pereira et al., (2018), Barros e Silveira (2019), entre outros, são exemplos de iniciativas voltadas para o desenvolvimento desses instrumentos, os quais, a partir de uma série de indicadores, tornam possível avaliar os aspectos multifacetados da sustentabilidade no contexto da GRSU.

Esses modelos permitem acompanhar a evolução de estratégias e de políticas públicas aplicáveis à GRSU, contemplando diferentes períodos e possibilitando melhorias no setor. Particularmente, os indicadores de sustentabilidade emergiram como ferramentas fundamentais à medida que possibilitam o diagnóstico e o monitoramento da GRSU, bem como auxiliam na definição de objetivos e de metas para a sua melhoria contínua. Especificamente, os indicadores fornecem uma visão geral da GRSU dos municípios, facilitando a identificação de prioridades e de pontos críticos, tornando possível a proposição de medidas para auxiliar futuras decisões (Barbosa & Carvalho Júnior, 2020). Tais avaliações são indispensáveis para incrementar o desempenho, a eficiência e a sustentabilidade da GRSU, contemplando as particularidades de cada recorte geográfico (Pereira et al., 2018).

Diante da importância de tais modelos, que vêm sendo cada vez mais utilizados por instituições governamentais, por pesquisadores e por outros atores sociais como forma de avaliar a GRSU de diferentes localidades, bem como diante da existência de avanços teóricos, conceituais e metodológicos acerca dos indicadores de sustentabilidade voltados à GRSU, a presente pesquisa se propõe a fornecer uma compreensão holística sobre trabalhos desenvolvidos a respeito do assunto. A partir de tais considerações, a próxima seção apresentará os procedimentos metodológicos empregados para alcançar o objetivo proposto.

3. METODOLOGIA

O objetivo deste estudo é mostrar o estado atual da literatura internacional sobre os modelos empregados na avaliação da sustentabilidade da GRSU. O processo desta análise

bibliométrica contempla a seleção da base de dados e do *software* bibliométrico, a definição da amostra, a tabulação e o tratamento de dados descritivos seguidos da análise dos dados (Sousa, Fontenele, Silva, & Sousa Filho, 2019).

Os documentos foram coletados por meio da execução de buscas automáticas na biblioteca digital *Web Of Science* (WOS) em maio de 2024 (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios de busca usados no WOS

String de busca	TS=("waste management") AND TS=("city" OR "cities" OR "urban") AND TS=("indicator*" OR "index" OR "indices" OR "metric*" OR "measur*" OR "assessment*" OR "evaluation" OR "index" OR "performanc*")
Período estipulado	1945-2024
Idioma	Inglês

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

O levantamento inicial resultou em 3.104 publicações. Depois de uma análise preliminar (leitura do título, das palavras-chave e do *abstract*) com a finalidade de verificar a aderência dos estudos com o objetivo desta pesquisa, 2.923 documentos foram removidos, resultando em uma amostra de 181 documentos.

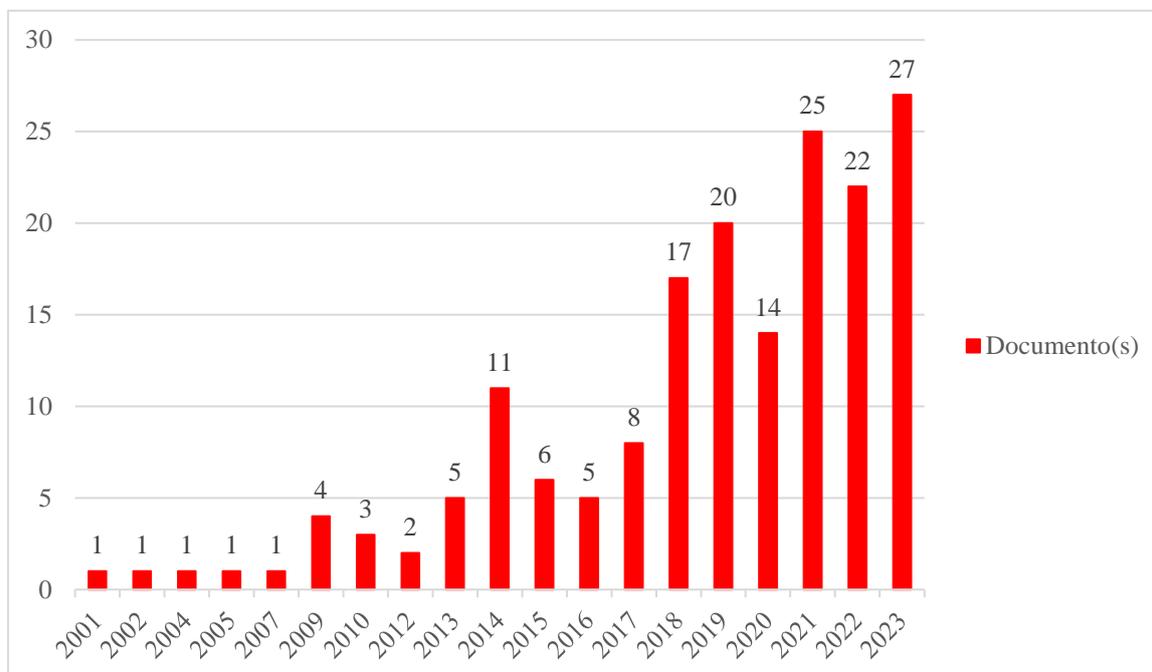
Para auxiliar no gerenciamento e na seleção dos estudos identificados, bem como para criar o gráfico que mostra a distribuição temporal das pesquisas utilizou-se o *Software Microsoft Excel*. Por sua vez, o *Software VOSViewer* foi utilizado para mapear as redes bibliométricas de coocorrência de palavras-chave e as redes de citação relativas às fontes de publicação e aos autores.

4. DISCUSSÃO

4.1. Distribuição dos artigos por ano de publicação

Esta seção mostra a distribuição temporal dos artigos, de 2001 a 2023 (Figura 1).

Figura 1. Distribuição dos artigos por ano de publicação



Fonte: Dados da pesquisa (2024)

O ano de 2023 foi o que apresentou maior concentração da produção científica sobre o tema com 27 documentos (~15% do total de estudos), seguido de 2021 e 2022 com 22 e 25 ocorrências (~26% do total de estudos), respectivamente. Por sua vez, o número de artigos publicados nos demais períodos variam entre 1 e 20 ocorrências, somando 107 documentos (~59% do total de estudos).

Os resultados sugerem que o número de publicações sobre a avaliação da sustentabilidade da GRSU teve um aumento significativo nos últimos anos. Embora o primeiro artigo tenha sido publicado em 2001, cerca de 83% dos estudos foram publicados a partir de 2015, possivelmente influenciados pela Assembleia Geral das Nações Unidas que ocorreu em 2015 e definiu a Agenda 2030 (Bezerra, Schramm, & Schramm, 2021).

4.2. Redes de citações das principais fontes de publicação

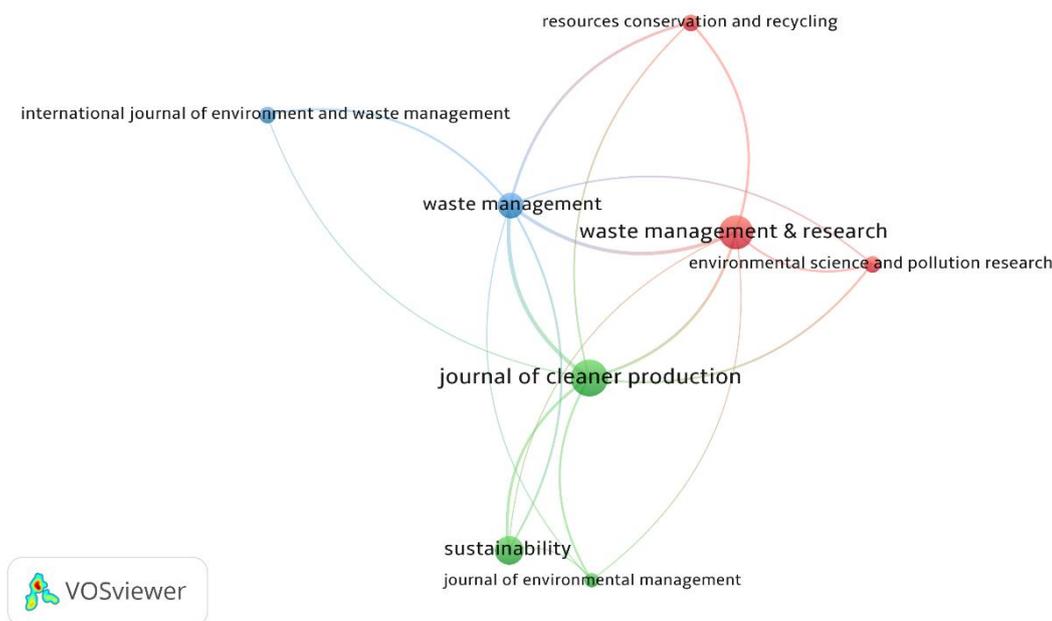
A presente análise é realizada com base na Lei de Bradford, a qual considera a dispersão da produção científica de um campo do conhecimento considerando as fontes de publicação (Machado Junior, Souza, Parisotto, & Palmisano, 2016). Nesta análise, a pesquisa se concentra em fontes de publicação com no mínimo 5 ocorrências, resultando em 8 periódicos distribuídos em 3 *clusters* (Figura 2).

O primeiro *cluster* (cor vermelha) reúne os seguintes periódicos: “*Waste Management & Research*”, “*Environmental Science And Pollution Research*” e “*Resources Conservation And Recycling*” com, respectivamente, 12, 6 e 6 ocorrências. Com base em informações do *Scimago Journal & Country Rank*, este conjunto de periódicos possui interesse em pesquisas sobre a sustentabilidade e o meio ambiente. De maneira mais exata, estas fontes de publicações convergem ao explorar o desafio de minimizar os impactos ambientais adversos oriundos da atuação humana, de otimizar os recursos ambientais e de sustentar a qualidade de vida. No geral, as alternativas de eliminação de resíduos urbanos eram selecionadas apenas com base na eficácia financeira, mas com uma preocupação crescente com o meio ambiente, outros critérios também devem ser tomados em consideração, tais como a utilização de recursos, o impacto ambiental, etc (Powell, 1996).

O segundo *cluster* (cor azul) é composto pelos periódicos “*Waste Management*” e “*International Journal Of Environment And Waste Management*” com, respectivamente, 9 e 6 ocorrências. O foco deste grupo de periódicos é voltado para pesquisas sobre a gestão e o gerenciamento de resíduos. Mais precisamente, fornecem uma cobertura abrangendo soluções de gestão (estratégias, políticas, tomada de decisão, etc.) e orientações técnicas relacionadas à prevenção, à geração, à caracterização, ao monitoramento, ao tratamento, ao manuseio, à reutilização e à disposição final de resíduos sólidos. Essa discussão se torna pertinente devido ao aumento da população mundial, ao rápido crescimento econômico e à elevação dos padrões de vida, os quais ampliaram a geração de resíduos urbanos, tornando sua gestão uma questão global. Particularmente, o problema é ainda mais grave em áreas urbanas, uma vez que seu manejo inadequado provoca a contaminação do solo, da água e do meio ambiente, gerando riscos à saúde pública (Singh, 2019).

O terceiro *cluster* (cor verde) contempla os periódicos “*Journal Of Cleaner Production*”, “*Sustainability*” e “*Journal Of Environmental Management*” com, respectivamente, 13, 10 e 6 ocorrências. Este conjunto de periódicos se concentra em pesquisas sobre a sustentabilidade e a gestão ambiental. Especificamente, abrangem estratégias e ferramentas ambientais para auxiliar a sociedade na operacionalização do conceito de sustentabilidade. São exemplos de ferramentas ambientais: o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a Produção Mais Limpa (P+L) (Oliveira, Oliveira, Ometto, Ferraud, & Salgado, 2016), a logística reversa (Prajapati, Kant, & Shankar, 2019), a avaliação do ciclo de vida (Shrestha, Ghimire, Dangi, & Urynowicz, 2023), etc.

Figura 2. Redes de citações das principais fontes de publicação



Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Desse modo, no que diz respeito às fontes de publicação, o resultado confirma a Lei de Bradford, uma vez que existe uma dispersão da produção científica sobre a avaliação da sustentabilidade no contexto da GRSU. Somado a isso, observa-se que as principais fontes de publicação deste campo do conhecimento estão organizadas em três linhas de pesquisa: (i) sustentabilidade e meio ambiente, (ii) gestão e gerenciamento de resíduos e (iii) sustentabilidade e gestão ambiental.

4.3. Redes de citações dos principais autores

Esta análise considera a Lei de Lotka, a qual prevê que, em determinado período, a relação entre a quantidade de autores e o volume de artigos de sua autoria decresceria, isto é, poucos dos pesquisadores publicam muito, enquanto a maioria publica pouco (Machado Junior et al., 2016). Para fins desta análise, considerou-se pesquisadores com no mínimo 3 ocorrências, resultando em 8 autores distribuídos em 3 *clusters* (Figura 3).

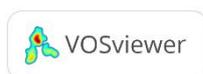
O primeiro *cluster* (cor vermelha) é formado por Tat-Dat Bui, Raymond Rui Ming Tan e Feng-Ming Tsai com 3 ocorrências cada. Baseado nos documentos analisados, verifica-se que esses autores se concentram em estudos sobre o subsídio de tecnologias na GRSU. Precisamente, esse grupo sugere que a eficácia e a eficiência da GRSU estão associadas ao uso de tecnológicas para promover a mobilização social e a integridade ambiental, onde os profissionais devem considerar as novas tecnologias de aquisição de dados e de comunicação, entre outros aspectos, para impulsionar o desempenho sustentável (Bui, Tsai, Tseng, Wu, & Chiu, 2020). Por exemplo, exploram o uso de recursos tecnológicos para: analisar atributos inerentes à GRSU (Tsai, Bui, Tseng, & Wu, 2020), auxiliar na tomada de decisão relativa à gestão sustentável de resíduos sólidos nas cidades (Tsai, Bui, Tseng, Lim Ming, & Tan, 2021), avaliar cenários em que combinações alternativas de métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos são exploradas (Jia, Wang, Li, Wang, Tan, & Qian, 2018), etc.

O segundo *cluster* (cor azul) é composto por Renato da Silva Lima e Atiq Uz Zaman com 3 ocorrências cada. O foco desses autores está voltado para a cidade circular (CC), a qual promove os princípios da economia circular (EC). Esta pode ser promovida, em nível municipal, especialmente pela aplicação de estratégias eficientes de GRSU. Os autores sugerem o desenvolvimento de novas ferramentas para avaliar a GRSU e para ampliar a reutilização e a

reciclagem de materiais com o intuito de acelerar a transição para a CC. Esses instrumentos podem ajudar os tomadores de decisão e os formuladores de políticas na adoção, na implementação e no monitoramento de práticas circulares. Portanto, oferecem diretrizes para auxiliar na transição de uma cidade linear para uma cidade circular sustentável (Moraes, Goncalves, Lima, & Lima, 2023). Mais precisamente, a CC e a EC perpassam por diversas estratégias, tais como a logística reversa (Goncalves, Fagundes, Miranda, & Lima, 2019) e a redução do desperdício. Quanto a este aspecto, um índice de desperdício zero foi apresentado como uma ferramenta para avaliação de desempenho dos sistemas de gerenciamento de resíduos (Zaman, 2014). Esse índice prevê a quantidade de materiais virgens, de energia, de água e de emissões de gases de efeito estufa substituídos pelos recursos que são recuperados dos fluxos de resíduos (Zaman & Lehmann, 2013).

O terceiro *cluster* (cor verde) é constituído por Costas A. Velis, David C. Wilson e Anne Scheinberg com, respectivamente, 4, 4 e 3 ocorrências. Baseado na amostra analisada, observa-se esses pesquisadores se concentram no estudo de indicadores de desempenho relativo à GRSU. Em particular, eles fornecem um conjunto abrangente de indicadores de desempenho da GRSU (Velis, Wilson, Gavish, Grimes, & Whiteman, 2023), explorando uma das lacunas relativas à gestão internacional de resíduos sólidos, que é a falta de dados consistentes para permitir a comparação do desempenho de cidades ao longo do tempo (Wilson, Rodic, Cowing, Velis, Whiteman, Scheinberg, Vilches, Masterson, Stretz, & Oelz, 2015), bem como para definir seus respectivos perfis conforme as características físicas e os aspectos de governança (Sim, Wilson, Velis, & Smith, 2013). Relativo a essa avaliação, sugere-se a participação de múltiplos atores sociais no processo de seleção dos indicadores de GRSU e o uso de um conjunto atualizado de dados e de informações (Oduro-Appiah, Scheinberg, Mensah, Afful, Boadu, & Vries, 2017).

Figura 3. Redes de citações dos principais autores



Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Por fim, a Tabela 2 mostra o Índice-H obtido na WOS para cada um dos referidos pesquisadores. A análise do Índice-H quantifica a produtividade dos autores com base nos seus artigos mais citados, combinando a produtividade do pesquisador com o seu impacto (Hirsch, 2005).

Tabela 2. Índice-H dos principais autores

Autor	Índice-H
-------	----------

Raymond Rui Ming Tan	48
Costas A. Velis	27
David C. Wilson	25
Tat-Dat Bui,	18
Atiq Uz Zaman	17
Feng-Ming Tsai	16
Renato da Silva Lima	11
Anne Scheinberg	9

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Desse modo, com relação aos autores que integram a amostra, os resultados confirmam a Lei de Lotka, dado que são poucos os autores mais produtivos e muitos os autores com pouca publicação sobre o tema. Somado a isso, a análise do Índice-H sugere que os principais autores são, respectivamente, Raymond Rui Ming Tan, Costas A. Velis e David C. Wilson. Por fim, constatou-se que os autores estudam diferentes eixos temáticos associados ao recorte temático desta pesquisa, com evidência para os seguintes eixos temáticos: (i) GRSU e tecnologias, (ii) cidade circular e (iii) indicadores de avaliação de desempenho da GRSU.

4.4. Redes de coocorrência de palavras-chave

Segundo a Lei de Zipf, a análise de coocorrência de palavras-chave identifica possíveis linhas de pesquisa sobre o campo do conhecimento explorado, uma vez que identifica os termos mais frequentes da amostra de estudos (Machado Junior et al., 2016). Para fins deste estudo, essa análise contempla palavras-chave registradas pelos autores da amostra de documentos analisados (*author keywords*) com no mínimo 10 ocorrências, resultando em 9 termos distribuídos em 3 *clusters* (Figura 4).

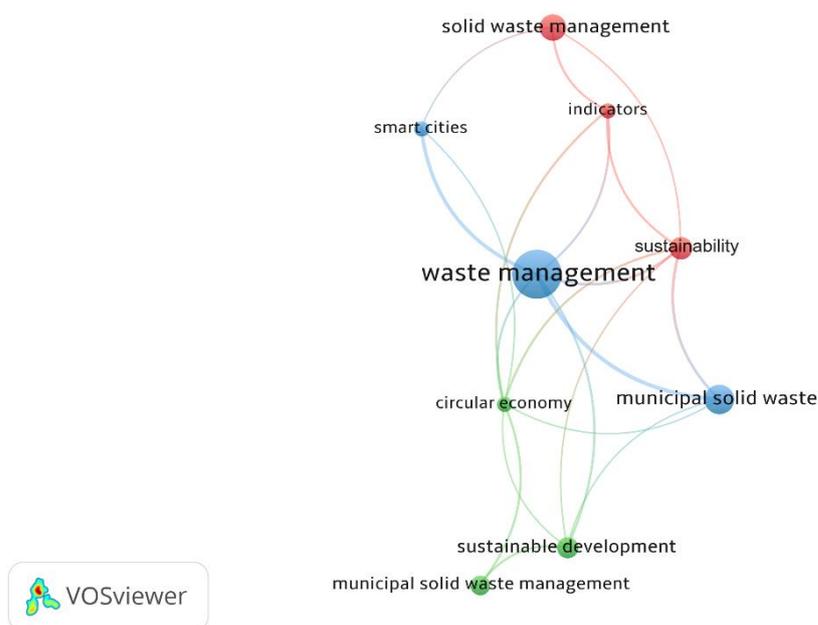
No primeiro *cluster* (cor vermelha), as palavras-chave mais citadas são “*solid waste management*”, “*sustainability*” e “*indicators*” com, respectivamente, 19, 16 e 11 ocorrências. Esse grupo de palavras sugere estudos sobre o uso de indicadores de sustentabilidade na GRSU. Os indicadores de sustentabilidade são ferramentas de apoio que auxiliam no estabelecimento de ações de desempenho direcionadas para o desenvolvimento sustentável municipal (Juca, Barbosa, & Sobral, 2020). Com a construção de indicadores, procura-se reduzir fenômenos complexos a fórmulas simplificadas, facilmente comunicáveis, mensuráveis e passíveis de agregações, de comparações e de extrapolações. No geral, esses indicadores são destinados à tomada de decisão e ao estabelecimento de estratégias e de prioridades, o que requer que sejam de fácil compreensão, numericamente limitados e baseados em dados disponíveis ou passíveis de serem coletados em tempo hábil e a custos razoáveis (Brisolla, 2009).

No segundo *cluster* (cor azul), as palavras-chave mais frequentes são “*waste management*”, “*municipal solid waste*” e “*smart cities*” com, respectivamente, 35, 21 e 11 ocorrências. Tais ocorrências sugerem estudos que relacionam a gestão municipal de resíduos sólidos ao conceito de cidades inteligentes. As cidades inteligentes estão recebendo crescente atenção de pesquisadores e de profissionais, pois são configuradas como soluções potenciais para os desafios enfrentados pelas cidades (Clarival, Simonofski, Henry, Vanderose, & Dumas, 2023) em várias áreas: transporte, comunicação, saúde, segurança, gestão de resíduos, etc (Yorukoglu & Aydin, 2022). Precisamente, a gestão de resíduos em cidades inteligentes implica uma abordagem holística integrando avanços tecnológicos com o envolvimento comunitário, a sustentabilidade e a resiliência. Diante desse cenário, a aplicação de tecnologias modernas, como a *Internet of Things (IoT)*, a computação móvel de ponta, a tecnologia *blockchain*, entre outras, tornou-se fundamental na revolução da gestão de resíduos em cidades inteligentes. Essas tecnologias oferecem uma abordagem abrangente à gestão de resíduos, permitindo estratégias inovadoras como a monitorização em tempo real, a otimização de rotas,

a triagem e a classificação automatizadas de resíduos, etc (Szpilko, de la Torre Gallegos, Naharro, Rzepka, & Remiszewska, 2023).

No terceiro *cluster* (cor verde), as palavras-chave mais recorrentes são “*sustainable development*”, “*municipal solid waste management*” e “*circular economy*” com, respectivamente, 15, 14 e 11 ocorrências. Estas sugerem uma interseção entre a gestão sustentável de resíduos urbanos e a economia circular. A economia circular representa uma mudança de paradigma no sistema produtivo global (modelo linear) para a maximização o modelo da intensidade de recursos e da agregação de valor. Precisamente, essa transição busca uma qualidade ótima da recuperação de resíduos, os quais são considerados como recursos (Yang, Ma, Liu, & Yuan, 2023).

Figura 4. Redes de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Desse modo, a Lei de Zipf permitiu identificar três linhas de pesquisa relacionadas à avaliação de sustentabilidade da GRSU: indicadores de sustentabilidade, cidades inteligentes e economia circular, as quais precisam ser exploradas para auxiliar na construção do arcabouço teórico deste campo do conhecimento.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo, buscamos mostrar o estado atual da literatura internacional sobre os modelos empregados na avaliação da sustentabilidade da GRSU. Para alcançar o objetivo proposto, a pesquisa forneceu uma análise quantitativa dos documentos analisados, incorporando dados bibliométricos.

Observou-se que este recorte temático ganhou crescente atenção de acadêmicos nos últimos anos, sendo essa ênfase uma provável decorrência da Agenda 2030 publicada em 2015. Em relação às redes bibliométricas analisadas, os resultados confirmaram três leis clássicas da bibliometria: a Lei de Bradford (produtividade de periódicos), a Lei de Lotka (produtividade de autores) e a Lei de Zipf (ocorrências de palavras-chave). Assim, observou-se que: (i) existe uma dispersão da produção científica sobre a avaliação da sustentabilidade da GRSU por um volume amplo de periódicos; (ii) existem poucos autores produtivos, dentre os quais destaca-se Raymond Rui Ming Tan, Costas A. Velis e David C. Wilson; e (iii) as possíveis linhas de pesquisa sobre o recorte temático tratam sobre indicadores de sustentabilidade, cidades inteligentes e economia circular.

Deste modo, concluiu-se que o domínio temático estudado continua a despertar grande interesse entre múltiplos atores no cenário internacional, uma vez que a promoção do desenvolvimento sustentável e o alcance da sustentabilidade perpassa pela GRSU, embora a operacionalização dos referidos construtos necessite também percorrer por outros caminhos. Ademais, constatou-se que o domínio do conhecimento relativo à avaliação da sustentabilidade da GRSU é constituído por diversos eixos temáticos, com destaque para: indicadores de sustentabilidade, cidades inteligentes e economia circular.

O uso da WOS como única fonte consultada para a coleta de dados é a principal limitação desta pesquisa, apesar de destacar-se entre as bibliotecas digitais mais reconhecidas pela comunidade científica.

Pesquisas futuras podem ampliar os estudos sobre a avaliação da sustentabilidade da GRSU, sendo sugerido o seguinte:

- Consultar outras bases de dados: *IEEE Explore*, *Science Direct*, *ACM Digital Library*, *Springer Link*, *Scopus*, etc.
- Explorar os eixos temáticos associados ao tema para auxiliar na construção do arcabouço teórico.
- Realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) para mapear dimensões da sustentabilidade, indicadores, métricas e outros parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade da GRSU.

Esta pesquisa contribuiu para a ampliação do conhecimento sobre a avaliação da sustentabilidade da GRSU, mostrando a distribuição temporal das publicações, as fontes de publicações, os autores mais produtivos e os principais eixos temáticos. Assim, este estudo abre caminhos para novos *insights* e pesquisas adicionais que abordem as relações entre a sustentabilidade e a GRSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, L. N. V., & de Carvalho Júnior, F. H. (2020). Estudo de indicadores para a gestão de resíduos sólidos urbanos no município de Maracanaú—Ceará. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 9(18), 65-78. <https://doi.org/10.22292/mas.v9i18.903>
- Barros, R. T. de V., & Silveira, Á. V. F. (2019). Uso de indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(2), 411–423. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019177499>
- Beyene, E., Adam, A. G., & Minale, A. S. (2023). Examining the practice of urban governance using UN-Habitat urban governance index in Gondar city, North West Ethiopia. *Cogent Social Sciences*, 9(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2208934>
- Bezerra, P. R. S., Schramm, F., & Schramm, V. B. (2021). A literature review on models for assessing corporate sustainability. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 1306–1318. <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1999531>
- Brasil. (2017). *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília: Câmara dos Deputados.
- Brasil. (2016). *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília: Câmara dos Deputados.
- Brisolla, S. N. (2009). Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, 3(1), 213–225. <https://doi.org/10.20396/rbi.v3i1.8648897>
- Bui, T.-D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., Wu, K., & Chiu, A. S. F. (2020). Effective municipal solid waste management capability under uncertainty in Vietnam: Utilizing economic efficiency and

- technology to foster social mobilization and environmental integrity. *Journal Of Cleaner Production*, 259(20), 120981. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120981>
- Castro, A. L. C. (2016). Aplicação de Indicadores de Sustentabilidade de Resíduos Sólidos Urbanos no município de Uberlândia-MG. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- Clarival, A., Simonofski, A., Henry, J., Vanderose, B., & Dumas, B. (2023). Introducing the Smart City to Children: Lessons Learned from Hands-On Workshops in Classes. *Sustainability*, 15(3), 1774. <https://doi.org/10.3390/su15031774>
- Costa, A. R. S. Análise da gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Recife-PE a partir de indicadores de sustentabilidade. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Elkington, J., & Trisoglio, A. (1996). Developing realistic scenarios for the environment: Lessons from Brent Spar. *Long Range Planning*, 29(6), 762-769. [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(97\)82814-2](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(97)82814-2)
- Fernandes, P. A. A., & Cândido, G. A. (2015). Da sustentabilidade à competitividade: um caminho viável? *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 4(1), 55 – 76. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v4e1201555-76>
- Goncalves, A. T.T., Fagundes, L. D., Miranda, R. de C., & Lima, R. da S. (2019). Discrete event simulation as a decision-making tool for end-of-life tire reverse logistics in a Brazilian city consortium. *Environmental Science And Pollution Research*, 26(23), 23994–24009. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05559-3>
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National academy of Sciences*, 102(46),16569-72. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Jia, X., Wang, S., Li, Z., Wang, F., Tan, R. R., & Qian, Y. (2018). Pinch analysis of GHG mitigation strategies for municipal solid waste management: A case study on Qingdao City. *Journal Of Cleaner Production*, 174(10), 933–944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.274>
- Juca, J. F. T., Barbosa, K. R. M., & Sobral, M. C. (2020). Sustainability indicators for municipal solid waste management: A case study of the Recife Metropolitan Region, Brazil. *Waste Management & Research*, 38(12), 1450–1454. <https://doi.org/10.1177/0734242X20941088>
- Machado Junior, C., de Souza, M. T. S., Parisotto, I. R.S., & Palmisano, A. (2016). As leis da bibliometria em diferentes bases de dados científicos. *Revista de Ciências da Administração*, 18(44), 111-123. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-8077.2016v18n44p111>
- Moraes, F. T. F., Goncalves, Andriani Tavares Tenorio , Lima, J. P., & Lima, R. da S. (2023). Transitioning towards a sustainable circular city: How to evaluate and improve urban solid waste management in Brazil. *Waste Management & Research*, 41(5), 1046–1059. <https://doi.org/10.1177/0734242X221142227>
- Oduro-Appiah, K., Scheinberg, A., Mensah, A., Afful, A., Boadu, H. K., & de Vries, N. (2017). Assessment of the municipal solid waste management system in Accra, Ghana: A 'Wasteaware' benchmark indicator approach. *Waste Management & Research*, 35(11), 1149–1158. <https://doi.org/10.1177/0734242X17727066>
- Oliveira, J. A., Oliveira, O. J., Ometto, A. R., Ferraudo, A. S., & Salgado, M. H. (2016). Environmental Management System ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner

- Production practices. *Journal of Cleaner Production*, 133(1), 1384–1394.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.013>
- Pereira, S. S., Curi, R. C., & Curi, W. F. (2018). Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(3), 471–483. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018162872>
- Powell, J. C. (1996). The Evaluation of Waste Management Options. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 14(6), 515–526.
<https://doi.org/10.1177/0734242X9601400601>
- Prajapati, H., Kant, R., & Shankar, R. (2019). Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics. *Journal of Cleaner Production*, 211(20), 503–520.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.187>
- Ramos, R. R. (2013). Gestão de resíduos sólidos urbanos: indicadores de sustentabilidade aplicados a programas de gestão e associações de catadores de materiais recicláveis. *Geografia (Londrina)*, 22(3), 27–45. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2013v22n3p27>
- Santiago, L. S., & Dias, S. M. F. (2012). Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 17(2), 203–212.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000200010>
- Shrestha, P. P., Ghimire, A., Dangi, M. B., & Urynowicz, M. A. (2023). Development of a Municipal Solid Waste Management Life Cycle Assessment Tool for Banepa Municipality, Nepal. *Sustainability*, 15(13), 9954. <https://doi.org/10.3390/su15139954>
- Sim, N. M., Wilson, D. C., Velis, C. A., & Smith, S. R. (2013). Waste management and recycling in the former Soviet Union: The City of Bishkek, Kyrgyz Republic (Kyrgyzstan). *Waste Management & Research*, 31(10), 106–125. <https://doi.org/10.1177/0734242X13499813>
- Singh, A. (2019). Solid waste management through the applications of mathematical models. *Resources Conservation And Recycling*, 151(December), 104503.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104503>
- Sousa, E. da S., Fontenele, R. E. S., Silva, Á. L. L., & Sousa Filho, J. M. (2019). Mapeamento da produção científica internacional sobre intenção empreendedora. *Revista de Gestão e Secretariado*, 10(3), 114–139. <http://dx.doi.org/10.7769/gesec.v10i3.901>
- Szpilko, D., de la Torre Gallegos, A., Naharro, F. J., Rzepka, A., & Remiszewska, A. (2023). Waste Management in the Smart City: Current Practices and Future Directions. *Resources-Basel*, 12(10), 115. <https://doi.org/10.3390/resources12100115>
- Tsai, F. M., Bui, T.-D., Tseng, M. L., Lim Ming K., & Tan, R. R. (2021). Sustainable solid-waste management in coastal and marine tourism cities in Vietnam: A hierarchical-level approach. *Resources Conservation And Recycling*, 168(May), 105266.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105266>
- Tsai, F. M., Bui, T.-D., Tseng, M.-L., & Wu, K. J. (2020). A causal municipal solid waste management model for sustainable cities in Vietnam under uncertainty: A comparison. *Resources Conservation And Recycling*, 154(March), 104599.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104599>
- Velis, C. A., Wilson, D. C., Gavish, Y., Grimes, S. M., & Whiteman, A. (2023). Socio-economic development drives solid waste management performance in cities: A global analysis using

- machine learning. *Science Of The Total Environment*, 872(10), 161913.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161913>
- Wilson, D. C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., & Oelz, B. (2015). 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste Management*, 35(January), 329–342.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.006>
- Yang, C.K., Ma, H.W., Liu, K.-H., & Yuan, M. H. (2023). Measuring circular economy transition potential for industrial wastes. *Sustainable Production And Consumption*, 40(September), 376–388. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.06.013>
- Yorukoglu, M., & Aydin, S. (2022). Assessment of Smart Waste Management Systems with Spherical AHP Method. *Artificial Intelligence For Knowledge Management, Energy, And Sustainability*, 637(February), 32–43. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96592-1_3
- Zaman, A. U. (2014). Measuring waste management performance using the 'Zero Waste Index': the case of Adelaide, Australia. *Journal Of Cleaner Production*, 66(1), 407–419.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.032>
- Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. *Journal Of Cleaner Production*, 50(1), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.041>