



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

MÉTODO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO COMO INSTRUMENTO DE APOIO NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO

*Samara Avelino de Souza França¹
Viviane Jin Hee Kim¹
Raphael Tobias de Vasconcelos Barros¹

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD AS A SUPPORT TOOL IN SOLID WASTE MANAGEMENT: A REVIEW

Recibido el 25 de marzo de 2023. Aceptado el 22 de septiembre de 2023

Abstract

Decision-making processes based on Multicriteria Decision-Making Models (MDMM) have been used to solve several problems, including those related to solid waste management. One such model is the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, which employs qualitative and quantitative criteria and the participation of different decision-makers. Thus, the aim of this article is to analyze the literature on the use of the AHP method in support of solid waste management. For this, a systematic literature review considered articles in English, available on the CAPES Periódicos Portal, from 2000 to 2022, with 12 studies that exclusively used the AHP method being discussed in depth. The studies used the method for destination or disposal decisions, solid waste treatment/utilization technologies, or in places for installing sanitary landfills, composting plants, etc. solid waste. All of them were based on the opinion of experts and stakeholders, revealing the AHP as a powerful decision-support tool. Some gaps found were that none of the studies detailed the source(s) and/or database of the literature review; some did not inform the number of participants; and only 5 studies explained how they proceeded with the sensitivity analysis. As main recommendations, it is suggested that these gaps be met, in addition to discussing whether the results met the expectations of the parties involved in the judgments.

Keywords: solid waste, multicriteria análisis, analytic hierarchy process.

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 31270-901. Brasil. Email: avelinosamara@gmail.com

Resumo

Processos decisórios baseados em Modelos de Tomada de Decisão Multicritérios (MTDM) têm sido utilizados para solucionar diversos problemas, entre eles os relacionados à gestão de resíduos sólidos. Um desses modelos é o método AHP (Processo Analítico Hierárquico), que emprega critérios qualitativos e quantitativos e a participação de diferentes tomadores de decisão. Assim, o objetivo deste artigo é analisar a literatura sobre o uso do método AHP em apoio à gestão de resíduos sólidos. Para isso, a revisão sistemática de literatura considerou artigos em inglês, disponíveis no Portal Periódicos CAPES, de 2000 a 2022, sendo discutidos com profundidade 12 estudos que utilizaram exclusivamente o método AHP. Os estudos empregaram o método para decisões de destinação ou disposição final, tecnologias de tratamento/aproveitamento de resíduos sólidos ou em locais para instalação de aterro sanitário, usinas de compostagem etc., revelando como tendência a aplicação do AHP para decidir sobre alternativas de aproveitamento energético de resíduos sólidos. Todos eles se basearam na opinião de especialistas e stakeholders, revelando o AHP como uma poderosa ferramenta de apoio à tomada de decisão. Algumas lacunas verificadas foram: que nenhum dos estudos detalhou a(s) fonte(s) e/ou base de dados da revisão da literatura; alguns não informaram o número de participantes; e apenas 5 estudos explicitaram como procederam para análise de sensibilidade. Como principais recomendações sugere-se que essas lacunas sejam preenchidas, além de discutir se os resultados atenderam às expectativas das partes envolvidas nos julgamentos.

Palavras-chave: resíduos sólidos, análise multicritério, processo analítico hierárquico.

Introdução

Globalmente são gerados cerca de 2.01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, correspondente a um per capita de 0.74 kg/hab.dia⁻¹ com 33% não sendo gerenciadas adequadamente (Kaza *et al.*, 2018; Abdel-Shafy e Mansour, 2018). Daí a necessidade de estratégias de gestão que modifiquem esse cenário e garantam o alcance, entre outras metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da meta 12.5 de reduzir consideravelmente a geração de resíduos até 2030, por meio de medidas de prevenção, reutilização e reciclagem (IPEA, 2018).

Quanto à essas estratégias, todas devem estar pautadas na hierarquia de gestão de resíduos, mas considerando que para diferentes contextos existem alternativas diferenciadas e específicas de gestão. Essa hierarquia define um caminho que parte da opção mais preferida à menos preferível, respectivamente, da prevenção, passando pela reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final em aterros sanitários (Van Ewijk e Stegemann, 2016).

Assim, os gestores (nacionais e locais, públicos e privados) precisam se adequar às novas diretrizes, deveres e metas definidas para o setor, considerando a gestão sustentável de resíduos. Dessa maneira, a tomada de decisão precisa estar baseada em metodologias e ferramentas de apoio, tais como os Modelos de Tomada de Decisão Multicritérios (MTDM), afinal a tomada de decisão é resultado de uma sequência de processos usados para orientar e apoiar os decisores na resolução de problemas.

Neste seguimento, desde os anos 60 foram desenvolvidos modelos de apoio à decisão, inicialmente voltados à elementos particulares do sistema de gerenciamento de resíduos e, ao longo dos anos 80 e 90, direcionados ao seu estudo por completo. Na perspectiva da gestão de resíduos, os MTDM mostram-se importantes ferramentas, pois além de abarcarem aspectos econômicos, sociais e ambientais, se configuram também como uma técnica participativa, permitindo o envolvimento das partes interessadas (Goulart Coelho, Lange e Coelho, 2017).

Esses modelos podem orientar os tomadores de decisão quanto à avaliação de alternativas existentes ou potenciais, por meio da análise simultânea de diversos critérios. Assim, por conta da sua capacidade de reunir múltiplos critérios, os MTDM são considerados instrumentos eficazes e completos para a tomada de decisão em gestão de resíduos sólidos (Soltani *et al.*, 2015).

Esses modelos são divididos em dois grupos: modelos de Tomada de Decisão Multiatributo e de Tomada de Decisão Multiobjetivo, conforme Figura 1.

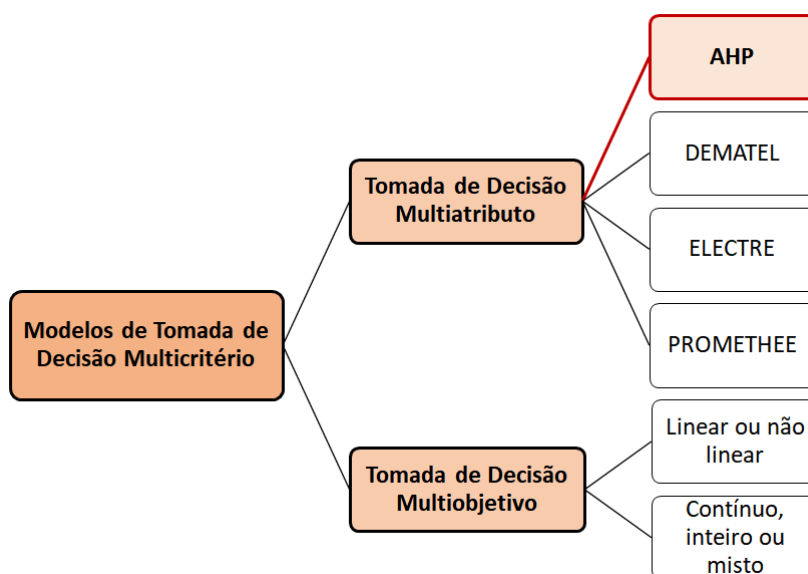


Figura 1. Classificação e exemplos de Modelos de Tomada de Decisão Multicritério. *Fonte: Elaborado pelos autores (2023).*

Os modelos de Tomada de Decisão Multiatributo são utilizados quando há um número limitado e pré-determinado de critérios/alternativas a serem avaliados, considerando para isso as seguintes etapas: (1) definição do objetivo e escopo; (2) estruturação teórica; (3) definição da formulação matemática; (4) seleção de critérios; (5) normalização dos dados; (6) validação do modelo; e (7) análise de sensibilidade, mostradas na Figura 2.

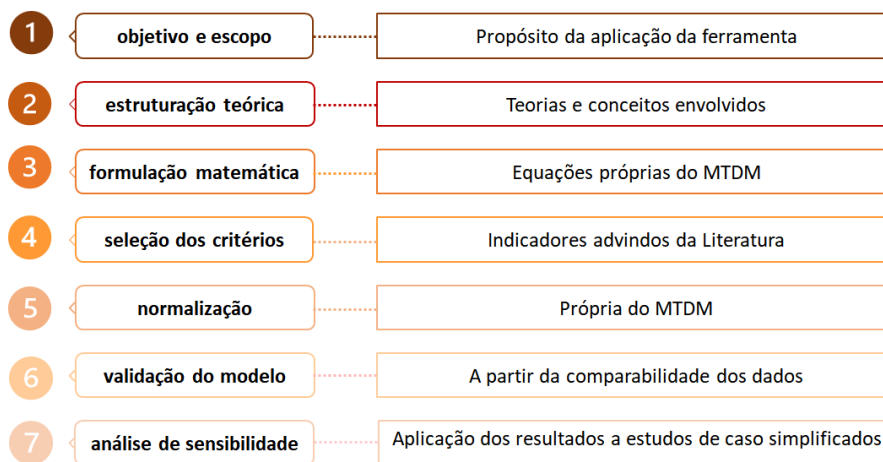


Figura 2. Representação das etapas de MTDM. Fonte: Adaptado de Goulart Coelho, Lange e Coelho (2017).

Mais especificamente quanto ao método AHP, pertencente ao grupo de Modelos Multiatributo, foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 80, em busca de um método que permitisse a hierarquização de alternativas a partir da ponderação de diferentes critérios e somatório das avaliações de determinada solução. Trata-se de uma abordagem baseada em funções de valor, sendo utilizado quando o pesquisador e/ou tomador de decisão usa seu julgamento e conhecimento para avaliar critérios em um determinado estudo ou situação problema (Saaty, 1991), oportunizando quantificar e avaliar diversos critérios e ter uma melhor percepção e comparação dos critérios e suas singularidades.

O método é ancorado na comparação par a par de critérios organizados em vários níveis, onde são atribuídas escalas de importância de 1 a 9 para cada comparação. Como resultado é possível avaliar os critérios e/ou alternativas a partir de uma estrutura hierárquica. Mais detalhes do passo a passo podem ser encontrados em Taherdoost (2017).

Ressalta-se que a principal vantagem do AHP é poder avaliar o nível de concordância dos julgamentos das comparações par a par por meio do cálculo da razão de consistência, admitida em 0,10, podendo o método ser utilizado de duas formas:

1. Definido o problema decisório (ex.: gestão da coleta seletiva em municípios do Pará), determinam-se os critérios prioritários que devem ser levados em consideração para tomada de decisão;
2. O pesquisador identifica as alternativas disponíveis para solução do problema (ex.: reciclagem, tratamento térmico, compostagem) e a partir daí chega-se à uma ordenação ou escolha de uma dessas alternativas.

Diversos pesquisadores têm utilizado MTDM para analisar a gestão de resíduos sólidos. O método DELPHI foi utilizado para seleção e validação de indicadores para a coleta seletiva (Bringhenti, Zandonade e Günther, 2011); o ELECTRE III para decidir melhor alternativa para recuperação energética de resíduos (Karagiannidis e Perkoulidis, 2009; El Hanandeh e El-Zein, 2010) e cenários de tratamento e disposição final (De Medina-Salas *et al.*, 2017).

Em revisão de 68 artigos de 1991 a 2013, Soltani *et al.* (2015) demonstraram a tendência de ampliação do uso do AHP, pois verificaram que ele foi bastante utilizado em conjunto com outros MTDM para apoiar decisão quanto à locais para instalação de aterro sanitário, sendo que em 81% dos estudos os participantes atribuíram pesos aos critérios, com destaque à representantes de governos/municípios e especialistas.

Além disso, Goulart Coelho, Lange e Coelho (2017), ao revisarem 260 trabalhos que utilizaram MTDM, de 1981 a 2016, concluíram que sua utilização tem sido predominantemente orientada para solucionar problemas relacionados à localização de instalações ou estratégias de gestão, sendo que 78% dos artigos analisados adotaram a método Multiatributo, com destaque ao método AHP, que permite que o pesquisador trabalhe com critérios divididos em níveis, tais como econômico, ambiental, social, entre outros. Por exemplo, o uso do AHP em conjunto com outras ferramentais, tais como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), tem auxiliado na decisão sobre local para instalação de aterro sanitário (Şener *et al.*, 2010; Ghobadi, Babazadeh e Bagheri, 2013; Barakat *et al.*, 2017; Damasceno Pavani *et al.*, 2019; Asif *et al.*, 2020).

Dessa maneira, uma revisão dos estudos anteriores é importante indicativo de como o método AHP tem sido utilizado e adequado para a temática da gestão de resíduos sólidos, apoiando não somente tomadores de decisão de governos, mas também pesquisadores e gestores de resíduos. Além disso, um artigo de revisão também permite destacar potenciais tópicos, nos quais aplicações do método AHP podem ser exploradas.

Assim, o presente trabalho pretende responder: como o método AHP tem sido empregado na gestão de resíduos sólidos? Para responder essa pergunta, o objetivo geral foi analisar as publicações sobre o tema nos últimos vinte anos.

Metodologia

A revisão de literatura foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica (Marconi e Lakatos, 2017), seguindo 5 etapas: (i) formulação da pergunta de pesquisa; (ii) busca por artigos; (iii) seleção dos artigos com base em critérios de inclusão e exclusão, e (iv) análise dos artigos selecionados.

Assim, a revisão de literatura buscou elementos para responder a seguinte pergunta: como o método AHP tem sido empregado para tomada de decisão na gestão de resíduos sólidos? O levantamento de artigos foi feito no Portal Periódicos CAPES, uma biblioteca virtual desenvolvida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em que é possível acessar produções nacionais e internacionais de alta relevância científica.

Dessa maneira, em setembro de 2022 foram levantados artigos (de Pesquisa e de Revisão), na língua inglesa, do período compreendido de 2010 a 2022, adotando-se como estratégia de busca as expressões-chave "municipal solid waste" AND "analytic hierarchy process". Em seguida foram incluídos para leitura na íntegra: (i) os artigos cujo título e resumo estiveram dentro tema de pesquisa, e (ii) que utilizaram exclusivamente o método AHP, enquanto foram excluídos aqueles (i) trabalhos que utilizaram outro MTDM ou um ou mais MTDM em conjunto com o AHP, e (ii) artigos repetidos. Finalmente, a análise dos artigos selecionados foi feita a partir de três categorias: (1) objetivo da tomada de decisão e participantes; (2) tipos de critérios e subcritérios utilizados; e (3) explicitação da análise de sensibilidade e das limitações do estudo.

Resultados e discussão

Foram recuperados pela estratégia de busca 142 artigos. Pelo critério de leitura do título e resumo, foram desconsiderados 64 artigos que estiveram fora do tema de pesquisa. Dos 78 restantes, em que foram utilizados MTDM, selecionaram-se para leitura na íntegra 12 artigos, os quais utilizaram exclusivamente o método AHP, conforme mostrado na Figura 3.

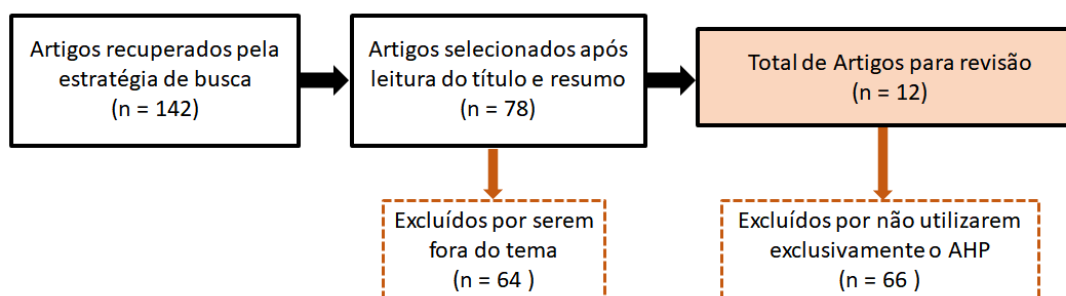


Figura 3. Fluxograma da seleção de artigos para revisão da literatura. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Quanto aos artigos que não utilizaram exclusivamente o método AHP, e que, portanto, foram excluídos da presente revisão, verificou-se que a maioria (n=42) atrelou o AHP a outra ferramenta, como em i) 29 estudos que aplicaram em complementariedade ao AHP o Sistema de Informação Geográfica (SIG) em decisão relacionada à escolha de melhor local para instalação de

aterro sanitário (Şener *et al.*, 2010; Alavi *et al.*, 2013; Uyan, 2014; Yıldırım e Güler, 2016; Khodaparast *et al.*, 2018; Kamdar *et al.*, 2019; Osra e Kajjumba, 2020; Langa *et al.*, 2021; Amirsoleymani, Abessi e Ghajari, 2022); ii) 9 estudos que combinaram o AHP com a lógica Fuzzy, a fim de decidir, por exemplo, sobre localização de aterro sanitário (Afzali, Samani e Rashid, 2011; Ahmadi *et al.*, 2020) e aproveitamento energético (Alao, Popoola e Ayodele, 2022; Van Thanh, 2022); iii) 5 estudos onde o AHP foi usado junto com a Análise de Ciclo de Vida (ACV) para avaliações em sustentabilidade; e iv) 15 estudos mesclaram o AHP com outro MTDM, com destaque ao TOPSIS (Beskese *et al.*, 2015; Jaiswal *et al.*, 2018; Manyoma-Velásquez *et al.*, 2020; Mojaver *et al.*, 2022).

Poucos (n=9) não utilizaram o AHP, valendo-se de um ou dois outros MTDM em seu estudos, tais como Aragonés-Beltrán *et al.* (2010), que utilizaram o método *Analytic Network Process* (ANP) para decidir sobre a melhor localização de uma usina de resíduos em Valência (Espanha); Eskandari, Homae, e Mahmodi (2012), que usaram o método DELPHI na decisão de melhor local para aterros sanitários em Marvdasht (Irã); Alao *et al.* (2020), que aplicaram o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) para decidir sobre a melhor tecnologia para aproveitamento energético de resíduos em Lagos (Nigéria); e Liu, Li, e Jiao (2021), que empregaram o *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) e ANP para seleccionar local para implantação de aterro sanitário em Lanzhou (China).

Os 12 artigos selecionados para esta revisão foram publicados de 2008 a 2022, como mostrado na Figura 4, demonstrando média de um artigo por ano e publicações anuais a partir de 2018.

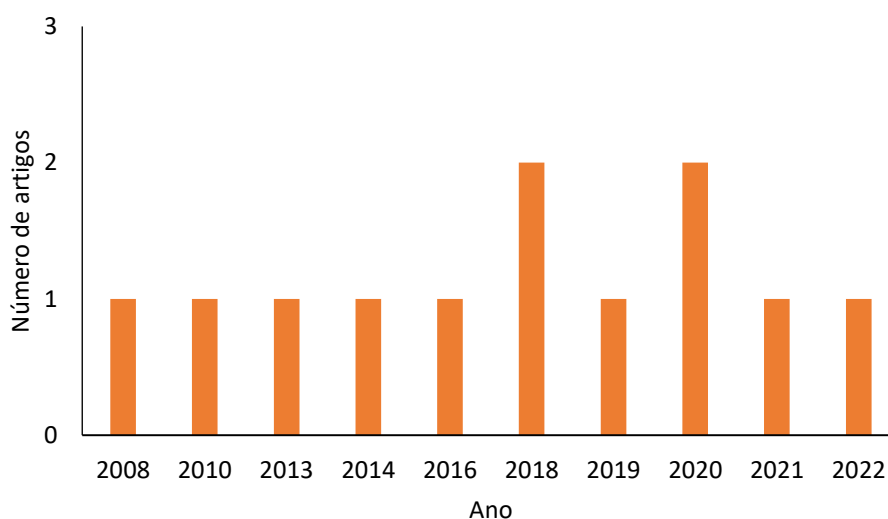


Figura 4. Distribuição temporal dos artigos. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

De maneira geral, os estudos focaram em tecnologias de tratamento/aproveitamento de resíduos sólidos ou em locais para instalação de aterro sanitário, usinas de compostagem etc. Quanto à atribuição de pesos aos critérios, todos os estudos se basearam na opinião, por meio de julgamentos de especialistas e *stakeholders* e na maioria os critérios foram selecionados com base na literatura.

Apesar de todos os autores explicarem que a literatura esteve baseada em trabalhos anteriores, apresentando autor(es) e ano, nenhum deles detalhou o desenho usado para a revisão, qual ou quais base de dados foram consultadas, a estratégia de busca utilizada e os critérios para inclusão e exclusão dos estudos anteriores. Assim, infere-se que a principal motivação de usar a literatura para selecionar os critérios e/ou alternativas para o método AHP seja por conta de que nem sempre existe um indicador, cujos dados possuam um nível atestado de veracidade e aplicabilidade para a área de estudo considerada.

Destaca-se que 5 trabalhos também consideraram para seleção dos critérios diretivas locais/nacionais de suas áreas de estudo, tais como departamentos de meio ambiente e saúde (Ramjeawon e Beerachee, 2008; Siejka *et al.*, 2020; Sasikumar, Sivasangar e Venkatachalam, 2022), leis e decretos (De Feo e De Gisi, 2010) e indicadores locais já existentes (Milutinović *et al.*, 2014). Nas subseções seguintes discutem-se os artigos considerados para leitura segundo os três grupos adotados.

Grupo 1: objetivo da tomada de decisão e participantes

O método AHP foi empregado nos seguintes objetivos de tomada de decisão: aproveitamento de resíduos sólidos para geração de energia (n=4); localização de alternativas de destinação ou disposição final (n=3); gestão sustentável de resíduos sólidos (n=2); determinação de impactos ambientais (n=1); tecnologias de tratamento (n=1); e alternativas de coleta e métodos de transporte (n=1).

Aproveitamento de resíduos sólidos para geração de energia

Milutinović *et al.* (2014) determinaram os critérios mais influentes para a gestão de resíduos com fins de recuperação energética, tendo como estudo de caso a cidade de Nis, Sérvia. Os autores contaram com a participação de cientistas da Universidade de Niš (das áreas de ciência ambiental, econômica e de tratamento de resíduos) e especialistas do governo local. Para eles, o cenário mais influente foi a "compostagem de resíduos orgânicos e reciclagem de resíduos inorgânicos".

Qazi, Abushammala e Azam (2018) selecionaram uma tecnologia adequada para geração de energia a partir do aproveitamento energético de resíduos sólidos para Omã (ou Sultanato de Omã), país do Oriente Médio. 15 especialistas (do Departamento de Gestão de Resíduos e setor de Desenvolvimento Estratégico em Be'ah Oman, pesquisadores dos Departamentos de

Engenharia Química e Ambiental da Sultan Qaboos University) opinaram e o processo de “digestão anaeróbica” foi considerado o mais adequado, sendo os “critérios ambientais” considerados os mais importantes para essa escolha.

Kurbatova e Abu-Qdais (2020) selecionaram uma tecnologia adequada para geração de energia a partir do aproveitamento energético de resíduos sólidos para Moscou (Rússia). Os autores contaram com o julgamento de 16 especialistas (palestrantes e pesquisadores com formação ambiental, operadores de estações de tratamento de resíduos sólidos, tomadores de decisão de autoridades federais e locais, operadores e pesquisadores na área de energia, membros de agências internacionais de doação em Moscou e pesquisadores de doutorado em gestão integrada de resíduos sólidos). A tecnologia de "geração de gás de aterro sanitário" foi considerada a melhor alternativa, de maneira que o critério ambiental teve forte importância.

Por fim, o estudo de Agbejule *et al.* (2021) permitiu selecionar uma tecnologia adequada para geração de energia a partir do aproveitamento energético de resíduos sólidos em Accra (Gana). 10 especialistas em gestão de resíduos da cidade (professores e pesquisadores com formação em energia renovável e gestão de resíduos, profissional de resíduos, pesquisadores de pós-graduação em bioenergia e gestão de resíduos, pesquisadores doutores em bioenergia e gestão de resíduos, especialista em regulação de energia e gerente de negócios em uma empresa local de resíduos) decidiram que o processo de “incineração” foi considerado o mais adequado, sendo os “fatores ambientais” considerados os mais importantes para essa escolha.

Esses artigos evidenciam que o aproveitamento energético de resíduos pode ser uma temática a ser mais explorada em processos decisórios com fins a reduzir externalidades negativas relacionadas aos resíduos e garantir novas alternativas energéticas, especialmente pela preocupação com os fatores ambientais.

Além disso, na hierarquia de gestão de resíduos sólidos, embora o aterro sanitário seja o método de disposição, ainda é o menos preferível em termos de sustentabilidade a longo prazo. Dessa maneira, o aproveitamento energético de resíduos, enquanto estratégia de recuperação, possibilita uma mudança de paradigma em que a disposição final seja tratada como o último recurso no fluxo de gestão.

Localização de alternativas de destinação ou disposição final

Ramjeawon e Beerachee (2008) determinaram a melhor localização de aterro sanitário nas Ilhas Maurício (África), a partir da opinião de representantes do Ministério do Governo Local, do Ministério do Meio Ambiente, da Universidade das Ilhas Maurício, de operador do aterro sanitário na época e de uma ONG. O critério "a nordeste da Ilha" foi o escolhido, com os

subcritérios "geologia", "poluição das águas subterrâneas" e "realocação" sendo apontados como os mais importantes.

De Feo e De Gisi (2010) verificaram a eficácia do método AHP para determinação do melhor local para instalação de uma planta de compostagem em Avellino, no sul da Itália. Para isso consideram os julgamentos de 15 tomadores de decisão técnicos e 15 não técnicos. Segundo esses autores, o método AHP para ponderação de critérios pode ser amplamente utilizado, em que tomadores de decisão técnicos e não técnicos mostraram o mesmo comportamento na seleção do melhor local, bem como nos critérios mais avaliados ("ausência de áreas de maior valor para *habitats* naturais" e "espécies de plantas e animais").

Finalmente, Siejka *et al.* (2020) classificaram cinco áreas mais adequadas para instalação de uma planta de incineração de resíduos sólidos em Cracóvia (Polônia). A partir da opinião de autoridades municipais locais, a melhor área considerada foi onde se situa uma usina siderúrgica na cidade.

Dessa maneira, verifica-se que o método AHP foi útil para decidir quanto à localização de alternativas de destinação ou disposição final, segundo mostrado pelos três artigos, uma vez que decidir sobre a área mais adequada para a implementação desses tipos de projeto de engenharia é uma tarefa complexa, pois depende de inúmeros fatores e, por vezes, diante de um cenário de escassez de áreas disponíveis diante de tantas restrições para sua instalação.

Gestão sustentável de resíduos sólidos

Tot *et al.* (2016) identificaram os critérios e subcritérios que exercem maior influência na gestão de resíduos sólidos na Sérvia, por meio da opinião de 10 tomadores de decisão (funcionários do setor privado e do setor público, especialistas em gestão de resíduos sólidos e professores pesquisadores de duas Universidades). O critério "institucional-administrativo" e o subcritério "nível de especialização" e "motivação" foram os mais importantes para pautar soluções de gestão de resíduos sólidos.

O método AHP revelou que o planejamento é importante para a aplicação das normas no campo da gestão de resíduos, devendo os gestores criar meios para avaliação sistemática de planos, com definição dos agentes responsáveis por cada etapa de implementação. Nesse sentido, para uma gestão exitosa, o planejamento também perpassa pelo nível de conhecimento técnico e valorização salarial daqueles que lidam com esses planos e ações de implementação.

Tsydenova, Vázquez Morillas e Cruz Salas (2018) estabeleceram as melhores tecnologias para um sistema de gestão de resíduos sustentável e bem-sucedida, tendo como estudo de caso a cidade do México, a partir do julgamento de 5 especialistas (cientistas que trabalham nas três principais

universidades públicas da cidade das áreas de ciências ambientais, econômicas e de tratamento de resíduos, bem como especialistas do governo nacional).

A "incineração" com vias à recuperação energética foi avaliada como a tecnologia mais sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e social, sendo os critérios "ambientais" tidos como os mais cruciais para a gestão integrada e sustentável de resíduos. Mais uma vez, percebe-se a busca por soluções de recuperação de resíduos, entendendo a gestão como elemento integrado a fatores para além do tripé da sustentabilidade, embora o ambiente seja essencialmente o ponto de partida dessas soluções.

Determinação de impactos ambientais

Abba *et al.* (2013) determinaram os impactos ambientais mais críticos associados ao descarte indevido de resíduos sólidos gerados em Johor Bahru (Malásia). Segundo o julgamento de residentes e trabalhadores institucionais da cidade, os impactos à "fauna e flora", a "degradação do *habitat*" e impactos relacionados ao "uso da terra" foram considerados os mais críticos. Assim, o emprego do AHP foi fundamental para identificar/analisar os principais impactos e, conseqüentemente, orientar soluções prioritárias para a cidade.

Tecnologias de tratamento

Zhang *et al.* (2019) estabeleceram as melhores tecnologias de tratamento de lixiviado, considerando a participação de especialistas envolvidos no tratamento de lixiviado de universidades, empresas e autoridades governamentais. Como resultado, o "Sistema de evaporação por combustão submersa" foi considerado a melhor tecnologia da época para tratamento do lixiviado. Esse processo de decisão mostra-se importante quando se discutem os impactos ambientais relativos ao lixiviado, desde percolação no solo e riscos aos lençóis freáticos até ao perfil geológico da área em que se situa o aterro, podendo ocorrer rebaixamento do perfil do solo, por exemplo.

Alternativas de coleta e métodos de transporte de resíduos

Sasikumar, Sivasangari e Venkatachalam (2022) avaliaram alternativas de coleta e métodos de transporte de resíduos sólidos urbanos na cidade de Visakhapatna (Índia). 6 especialistas consideraram a "coleta por caminhão compactador" como a melhor alternativa para a cidade, sendo os critérios técnicos (método de coleta, frequência de coleta e normas regulatórias) considerados os mais relevantes. Sabe-se que as etapas de gerenciamento de resíduos incluem a coleta e transporte deles, sendo fundamental estabelecer qual modalidade é mais adequada ao perfil de cada local e de seus geradores.

Em resumo, o grupo 1 indicou que a maioria dos estudos focou na decisão de alternativas aproveitamento de resíduos sólidos para geração de energia, seguido por pesquisas quanto à

destinação ou disposição final. O método AHP demonstrou ser uma importante ferramenta no processo de planejamento da gestão de resíduos, de maneira que alternativas de aproveitamento energético, instalação de usinas de compostagem e incineração demonstram a preocupação de caminhar a partir de uma gestão baseada na economia linear (berço-ao-túmulo) rumo a uma economia circular, onde o primeiro passo envolve estratégias de otimização no uso de resíduos, por meio da sua reciclagem e/ou aproveitamento.

Ressalta-se a similaridade dos estudos desenvolvidos por Milutinović *et al.* (2014), Qazi, Abushammala e Azam (2018), Kurbatova e Abu-Qdais (2020) e Agbejule *et al.* (2021) ao utilizarem o método AHP com o objetivo de determinar a tecnologia mais adequada para geração de energia a partir do aproveitamento energético de resíduos, evidenciando que se trata de uma área a ser explorada. Inclusive um motivo para o crescimento de pesquisas como essas pode estar relacionado ao mercado global de resíduos para energia, cuja tendência é de aumento desde 2017 (Visiongain Reports LTD, 2022).

Quanto aos participantes, todos detalharam os decisores que foram consultados, mas apenas 7 apresentaram o número de participantes, informação importante quando se trata de processo de decisão com diferentes atores envolvidos pois, não havendo um número equilibrado para cada parte, o peso final da decisão pode inclinar-se pelo grupo majoritário. Além disso, autoridades locais, acadêmicos e profissionais de resíduos foram os participantes mais consultados, provavelmente porque os primeiros são responsáveis por controlar a seleção e operação de estratégias de gestão de resíduos, enquanto que acadêmicos e profissionais possuem um considerável conhecimento técnico sobre alternativas e tecnologia de gestão.

Grupo 2: tipos de critérios e subcritérios utilizados

No ranking de critérios e subcritérios mais utilizados, têm-se respectivamente os do tipo “ambiental” (n=11), “técnico” (n=7), “econômico” (n=7) e “social” (n=6), como mostrado na Tabela 1. No entanto, no trabalho de Tot *et al.* (2016) os autores incluíram critérios do tipo “Institucional-Administrativo” e Sasikumar, Sivasangari e Venkatachalam (2022) se valeram de critérios do tipo “sociocultural”.

Quanto à origem dos critérios, todos os autores utilizaram dados secundários advindos da literatura científica, de maneira que Ramjeawon e Beerachee (2008) utilizaram também informações do Departamento de Meio Ambiente das Ilhas Maurício, África; De Feo e De Gisi (2010) de legislação e decretos da Itália; Milutinović *et al.* (2014), do quadro de indicadores locais de sustentabilidade energética e de gestão de resíduos sólidos da Sérvia; Siejka *et al.* (2020), do Departamento de Gestão Ambiental da Prefeitura de Cracóvia (Polônia) e do Sistema Municipal de Informações Espaciais; e Sasikumar, Sivasangari e Venkatachalam (2022), do Departamento de Saúde Pública de Visakhapatna, Índia.

Tabela 1. Número e características dos critérios e subcritérios utilizados nos estudos. *Fonte: Dados da pesquisa (2022).*

Autores (ano)	n critérios	Tipo	n subcritérios	n alternativas
Ramjeawon e Beerachee (2008)	3	Ambiental, técnico e socioeconômico	20	-
De Feo e De Gisi (2010)	10	Ambiental, Técnico, Econômico e Social ¹	-	4
Abba <i>et al.</i> (2013)	1	Ambiental	8	4
Milutinović <i>et al.</i> (2014)	3	Ambiental, econômico e social	8	4
Tot <i>et al.</i> (2016)	4	Institucional-administrativo, tecnológico, econômico, social	14	-
Qazi, Abushammala e Azam (2018)	5	Ambiental, técnico, econômico, qualidade e quantidade de resíduos, aceitação social	6	8
Tsydenova, Vázquez Morillas e Cruz Salas (2018)	4	Ambiental, econômico, social, desempenho geral da gestão de resíduos	10	4
Zhang <i>et al.</i> (2019)	3	Ambiental, econômico e de gerenciamento	7	6
Siejka <i>et al.</i> (2020)	3	Ambiental, técnico e social	13	5
Kurbatova e Abu-Qdais (2020)	3	Ambiental e de saúde, técnico e socioeconômico	9	4
Agbejule <i>et al.</i> (2021)	3	Ambiental, técnico e socioeconômico	9	4
Sasikumar, Sivasangari e Venkatachalam (2022)	4	Ambiental, técnico, econômico e sociocultural	12	4

¹Categorizados pelos autores (2023).

No grupo 2, verifica-se a predominância de critérios do tripé da sustentabilidade e do fator técnico, nesse caso direcionado à adoção de tecnologias de recuperação, reciclagem e tratamento. Mas entende-se que, numa visão integrada de gestão, questões relacionadas à regulação, saúde e cultura também são fundamentais.

Além disso, o fato de todos os autores terem utilizado indicadores advindos de revisão da literatura e por não terem explicitado todas as suas fontes, estratégias de busca e desenho da revisão limita, em certo grau, a reprodutibilidade do estudo ou futuras comparações entre diferentes recortes temporais ou espaciais (áreas de estudo).

Grupo 3: explicitação da análise de sensibilidade e das limitações do estudo

Dos 10 estudos em que foram utilizadas alternativas no processo de decisão, em cinco deles os autores apresentaram a análise de sensibilidade dos resultados. Ramjeawon e Beerachee (2008) decidiram por: (1) todos os três critérios (ambiental, socioeconômico e técnico) com igual importância; e (2) o critério ambiental e socioeconômico com maior peso em relação ao critério técnico. A análise de sensibilidade atribuindo maior importância ao critério ambiental não mostrou alteração no *ranking*.

De Feo e De Gisi (2010) utilizaram o *software* "Expert Choice" para estabelecer quais "critérios críticos" faziam a alternativa em primeiro lugar no *ranking* ser superada por outra, calculando o desvio necessário para que isso ocorresse. Foram identificados 4 critérios críticos capazes de distorcer o *ranking*, sendo necessário um desvio de 10.9% para gerar essa mudança. Assim, os resultados da análise de sensibilidade confirmaram que o local D (o primeiro no *ranking* de alternativas consideradas) foi a solução mais acessível.

Milutinović *et al.* (2014) realizaram a análise de sensibilidade considerando: (1) todos os indicadores com peso de 7.14%; (2) cada um dos indicadores com fator de ponderação de 100%, enquanto os demais com 0%; (3) os indicadores ambientais com peso total de 100% (cada um deles com 14.28%), enquanto os outros de 0%; (4) indicadores econômicos com peso total de 100% (cada um deles com 14.8%), enquanto os outros com 0%; e (5) os indicadores sociais com peso de 100% (cada um deles com 50%), enquanto todos os demais com 0%.

Para a análise (1) o *ranking* de cenários não foi alterado; em (2) o cenário "compostagem de resíduos orgânicos e reciclagem de resíduos inorgânicos" também ficou em primeiro lugar; novamente, pelas análises (3), (4) e (5), os resultados mostraram que o mesmo cenário esteve como o melhor classificado nos três casos. Portanto, foi confirmado como a solução mais estável sob qualquer critério de ponderação, ocupando o primeiro lugar sob ponderação de critérios iguais e quando é dada prioridade a um único grupo de indicadores, sejam eles ambientais, econômicos ou sociais.

Tsydenova, Vázquez Morillas e Cruz Salas (2018) consideram para análise de sensibilidade: (1) todos os indicadores com peso 10%; (2) os indicadores ambientais com peso total de 100% (cada um com 25%), enquanto os demais 0%; (3): um indicador com peso de 100% e os demais com 0%; e (4) os indicadores econômicos com 100% de peso no total (cada um em 50%), enquanto os demais com 0%.

Para o caso (1) o *ranking* mudou, com a alternativa “aterro e compostagem” assumindo o primeiro lugar; em (2), quando foi dada prioridade aos indicadores ambientais, a “incineração” com vistas à recuperação energética permaneceu em primeiro lugar; em (3) e (4), quando se priorizou o fator econômico e social, “aterro e compostagem” esteve em primeiro lugar, e no (5) a alternativa de “tratamento mecânico-biológico” assumiu o primeiro lugar.

Finalmente, no trabalho de Kurbatova e Abu-Qdais (2020), primeiro todos os critérios tiveram peso igual a 33.3% e depois um critério teve peso de 100%, enquanto os demais 0%. Para a primeira análise, a tecnologia de “incineração” se tornou a opção preferida; enquanto na segunda análise, o *ranking* não se alterou quando os critérios ambientais e de saúde tiveram um peso de 100%, assim como quando o critério socioeconômico teve peso de 100%. No entanto quando foi atribuído fator de 100% aos critérios técnicos, a “incineração” passou a ser a primeira opção.

Diante dos resultados, verifica-se que aplicação da análise de sensibilidade é fundamental para garantir a consistência da decisão final. Com exceção das análises de Tsydenova, Vázquez Morillas e Cruz Salas (2018) e de Kurbatova e Abu-Qdais (2020), os três outros trabalhos confirmaram a robustez do seu modelo. De todo modo, isso não quer dizer necessariamente que os outros autores estejam errados, pois a análise de sensibilidade também permite encontrar caminhos para refinamento dos modelos.

Verifica-se que nenhum dos trabalhos utilizou a mesma estratégia para a análise de sensibilidade, revelando que não há um padrão para tal. De todo modo, ao explicitarem como procederam, demonstraram como as mudanças nos dados de entrada (ex.: número ou pesos dos critérios) podem influenciar o resultado final da avaliação e indicar necessidade de refinamento do modelo. Logo, entende-se como imprescindível que trabalhos futuros realizem e expliquem como procederam a sua análise de sensibilidade, com fins de auxiliar a replicabilidade do procedimento.

Quanto às limitações dos seus estudos, apenas quatro artigos trataram delas. Para Milutinović *et al.* (2014) a maior limitação do estudo foi determinar o número ideal de indicadores para avaliação da sustentabilidade da gestão de resíduos na Sérvia, especialmente os de cunho econômico e social.

Segundo Tsydenova, Vázquez Morillas e Cruz Salas (2018), a principal limitação foi a falta de dados e de um número maior de especialistas, pois o processo foi demorado e os autores receberam apenas 5 questionários preenchidos. Agbejule *et al.* (2021) apontaram que a limitação do estudo foi considerar como alternativa a digestão aeróbica em geral como uma das alternativas de aproveitamento energético de resíduos sólidos em Accra (Gana), uma vez que existem outras opções.

Por fim, Sasikumar, Sivasangari e Venkatachalam (2022) esclareceram que o modelo foi restrito à cidade de Visakhapatna (Índia), sendo desenvolvido com base em indicadores considerados pertinentes às práticas de gestão existentes nessa cidade. Concorda-se que a escolha de indicadores não é tarefa fácil e depende não só de informações disponíveis, mas de serem entendidos como capazes de descrever ou analisar a realidade em estudo.

Outro ponto é que, quanto maior é o número e diversidade de participantes, maiores são as chances de o processo de decisão ser mais adequado. Ademais, a particularidade de cada área de estudo gera um modelo particular; afinal, alternativas ou critérios considerados os melhores para um local podem não sê-lo para outro. No entanto, o método AHP pode ser aplicado com os devidos ajustes ao perfil de local e de decisão a ser tomada.

Conclusões

Os MTDM têm sido amplamente utilizados como apoio à decisão na gestão de resíduos sólidos. Mais especificamente quanto ao uso do método AHP, a partir dos artigos analisados, verificou-se como tendência de pesquisa sua utilização quanto ao possível aproveitamento energético de resíduos sólidos.

Esta revisão categorizou os estudos com base: 1) no objetivo da tomada de decisão e participantes; (2) tipos de critérios e subcritérios utilizados; e (3) explicitação da análise de sensibilidade e das limitações dos estudos.

Reitera-se que o método AHP permite que os participantes atribuam pesos aos critérios considerando suas *expertises* e vivências, dentro de um contexto de consenso para a tomada de decisão; que os critérios comumente utilizados são os ambientais e técnicos, mas que alguns trabalhos buscaram incluir critérios institucionais e socioculturais; que a análise de sensibilidade é fundamental para refinamentos no modelo de decisão e que limitações, tais como, em definir o número ideal de critérios e/ou de participantes na realidade depende do escopo de cada decisão.

Finalmente, com base no panorama fornecido neste artigo, algumas recomendações são:

- Usar o método AHP para análise de outros aspectos da gestão de resíduos sólidos, tais como as etapas de “não geração”, “redução” e “reciclagem”;
- Mencionar as dificuldades envolvidas na aplicação do AHP, desde a escolha dos critérios mais relevantes para a gestão até a obtenção de consenso entre os participantes, a fim de propor soluções;
- Detalhar como se dá a estratégia de busca para revisão da literatura na escolha dos critérios;
- Considerar um número maior de especialistas, apresentando a quantidade de decisores envolvidos;
- Discutir se os resultados atenderam às expectativas dos atores envolvidos nos julgamentos;
- E apresentar os procedimentos para análise de sensibilidade do modelo usado, a fim de, na validação dos resultados, propiciar maior exatidão.

Agradecimentos

A autora correspondente agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de Bolsa de Doutorado.

Referências bibliográficas

- Abba, A. H., Noor, Z. Z., Yusuf, R. O., Din, M. F. M., Hassan, M. A. A. (2013). Assessing environmental impacts of municipal solid waste of Johor by analytical hierarchy process. *Resources, Conservation and Recycling*, **73**, 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.003>
- Abdel-Shafy, H. I., Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, **27**(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Afzali, A., Samani, J. M., Rashid, M. (2011). Municipal landfill site selection for Isfahan City by use of fuzzy logic and analytic hierarchy process. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, **8**(3), 273-284. <https://ijehse.tums.ac.ir/index.php/jehse/article/view/310>
- Agbejule, A., Shamsuzzoha, A., Lotchi, K., Rutledge, K. (2021). Application of multi-criteria decision-making process to select waste-to-energy technology in developing countries: The case of Ghana. *Sustainability*, **13**(22), 12863. <https://doi.org/10.3390/su132212863>
- Ahmadi, M., Nikseresht, M., Najafi, E., Morshedi, B. (2020). Landfill Site Selection Using Geographic Information System and Fuzzy-AHP Model: A Case Study of Ilam Township, Iran. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.18502/jehsd.v5i3.4276>
- Alao, M. A., Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. O., Popoola, O. M. (2020). Multi-criteria decision based waste to energy technology selection using entropy-weighted TOPSIS technique: The case study of Lagos, Nigeria. *Energy*, **201**, 117675. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117675>
- Alao, M. A., Popoola, O. M., Ayodele, T. R. (2022). A novel fuzzy integrated MCDM model for optimal selection of waste-to-energy-based-distributed generation under uncertainty: A case of the City of Cape Town, South Africa. *Journal of Cleaner Production*, **343**, 130824. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130824>

- Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N., Hosseinzadeh, M. (2013). Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management & Research*, **31**(1), 98-105. <https://doi.org/10.1177/0734242X12456092>
- Amirsoleymani, Y., Abessi, O., Ghajari, Y. E. (2022). A spatial decision support system for municipal solid waste landfill sites (case study: The Mazandaran Province, Iran). *Waste Management & Research*, **40**(7), 940-952. <https://doi.org/10.1177/0734242X211060610>
- Aragonés-Beltrán, P., Pastor-Ferrando, J. P., García-García, F., Pascual-Agulló, A. (2010). An analytic network process approach for siting a municipal solid waste plant in the metropolitan area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*, **91**(5), 1071-1086. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.007>
- Barakat, A., Hilali, A., Baghdadi, M. E., Touhami, F. (2017). Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco. *Environmental earth sciences*, **76**(12), 413. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6757-8>
- Beskese, A., Demir, H. H., Ozcan, H. K., Okten, H. E. (2015). Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, **73**, 3513-3521. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3635-5>
- BRASIL. Decreto Federal nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção I, 12 jan. 2022.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1. 3 p., 2 ago. 2010.
- Bringhenti, J. R., Zandonade, E., Günther, W. M. R. (2011). Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion. *Resources, Conservation and Recycling*, **55**(11), 876-884. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.010>
- Damasceno Pavani, I., Ennes Cicerelli, R., de Almeida, T., Zandonadi Moura, L., Contreras, F. (2019). Allocation of sanitary landfill in consortium: Strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. *Environmental monitoring and assessment*, **191**, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7146-9>
- De Feo, G., De Gisi, S. (2010). Using an innovative criteria weighting tool for stakeholders involvement to rank MSW facility sites with the AHP. *Waste Management*, **30**(11), 2370-2382. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.010>
- De Medina-Salas, L., Castillo-González, E., Giraldo-Díaz, M. R., Guzmán-González, V. (2017). Analysis of economical and environmental costs for the selection of municipal solid waste treatment and disposal scenarios through multicriteria analysis (ELECTRE method). *Sustainability*, **9**(11), 1758. <https://doi.org/10.3390/su9111758>
- El Hanandeh, A., El-Zein, A. (2010). The development and application of multi-criteria decision-making tool with consideration of uncertainty: The selection of a management strategy for the bio-degradable fraction in the municipal solid waste. *Bioresource technology*, **101**(2), 555-561. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.048>
- Eskandari, M., Homaei, M., Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste management*, **32**(8), 1528-1538. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.014>
- Ghobadi, M. H., Babazadeh, R., Bagheri, V. (2013). Siting MSW landfills by combining AHP with GIS in Hamedan province, western Iran. *Environmental earth sciences*, **70**, 1823-1840. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2271-9>
- Goulart Coelho, L. M., Lange, L. C., Coelho, H. M. (2017). Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research*, **35**(1), 3-28. <https://doi.org/10.1177/0734242X1666402>

- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2018) *Agenda 2030 - ODS - Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável*, Ipea, 538 pp.
- Jaiswal, A. K., Satheesh T., A., Pandey, K., Kumar, P., Saran, S. (2018). Geospatial multi-criteria decision based site suitability analysis for solid waste disposal using topsis algorithm. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **4**, 431-438. [ISPRS-Annals - GEOSPATIAL MULTI-CRITERIA DECISION BASED SITE SUITABILITY ANALYSIS FOR SOLID WASTE DISPOSAL USING TOPSIS ALGORITHM \(\[copernicus.org\]\(http://www.copernicus.org\)\)](https://doi.org/10.1016/j.isprsat.2018.07.011)
- Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., Jutidamrongphan, W. (2019). Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, **149**, 220-235. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027>
- Karagiannidis, A., Perkoulidis, G. (2009). A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource technology*, **100**(8), 2355-2360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.033>
- Khodaparast, M., Rajabi, A. M., Edalat, A. (2018). Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. *Environmental earth sciences*, **77**, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>
- Kurbatova, A., Abu-Qdais, H. A. (2020). Using multi-criteria decision analysis to select waste to energy technology for a mega city: The case of Moscow. *Sustainability*, **12**(23), 9828. <https://doi.org/10.3390/su12239828>
- Langa, C., Hara, J., Wang, J., Nakamura, K., Watanabe, N., Komai, T. (2021). Dynamic evaluation method for planning sustainable landfills using GIS and multi-criteria in areas of urban sprawl with land-use conflicts. *PLoS one*, **16**(8), e0254441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254441>
- Liu, J., Li, Y., Xiao, B., Jiao, J. (2021). Coupling fuzzy multi-criteria decision-making and clustering algorithm for MSW landfill site selection (Case Study: Lanzhou, China). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **10**(6), 403. <https://doi.org/10.3390/ijgi10060403>
- Manyoma-Velásquez, P. C., Vidal-Holguín, C. J., Torres-Lozada, P. (2020). Methodology for locating regional landfills using multi-criteria decision analysis techniques. *Cogent Engineering*, **7**(1), 1776451. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1776451>
- Marconi, M. D. A., Lakatos, E. M. (2017). *Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa/pesquisa bibliográfica/teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso*, Atlas, São Paulo, 256 pp.
- Milutinović, B., Stefanović, G., Dassisti, M., Marković, D., Vučković, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, **74**, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.056>
- Mojaver, M., Hasanzadeh, R., Azdast, T., Park, C. B. (2022). Comparative study on air gasification of plastic waste and conventional biomass based on coupling of AHP/TOPSIS multi-criteria decision analysis. *Chemosphere*, **286**, 131867. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131867>
- Osra, F. A., Kajjumba, G. W. (2020). Landfill site selection in Makkah using geographic information system and analytical hierarchy process. *Waste Management & Research*, **38**(3), 245-253. <https://doi.org/10.1177/0734242X19833153>
- Qazi, W. A., Abushammala, M. F., Azam, M. H. (2018). Multi-criteria decision analysis of waste-to-energy technologies for municipal solid waste management in Sultanate of Oman. *Waste Management & Research*, **36**(7). <https://doi.org/10.1177/0734242X18777800>
- Ramjeawon, T., Beerachee, B. (2008). Site selection of sanitary landfills on the small island of Mauritius using the analytical hierarchy process multi-criteria method. *Waste management & research*, **26**(5), 439-447. <https://doi.org/10.1177/0734242X0708075>
- Saaty, T. L. (1991) *Método de Análise Hierárquica*, Makron Books, São Paulo, 367 pp.

- Sasikumar, G., Sivasangari, A., Venkatachalam, N. (2022). Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) for Assessment of Collection and Transportation of Solid Waste: An Empirical Study. *Nature Environment and Pollution Technology*, **21**(1), 283-288. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i01.033>
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, **30**(11), 2037-2046. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.024>
- Siejka, M. (2020). The use of AHP to prioritize five waste processing plants locations in Krakow. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **9**(2), 110. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020110>
- Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. *Waste Management*, **35**, 318-328. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.010>
- Taherdoost, H. (2017). Decision making using the analytic hierarchy process (AHP); A step by step approach. *International Journal of Economics and Management Systems*, **2**, 244-246. Acceso em 10 de outubro de 2022. Disponível em: [https://www.iaras.org/iaras/filedownloads/ijems/2017/007-0034\(2017\).pdf](https://www.iaras.org/iaras/filedownloads/ijems/2017/007-0034(2017).pdf)
- Tot, B., Srđević, B., Vujić, B., Russo, M. A. T., Vujić, G. (2016). Evaluation of key driver categories influencing sustainable waste management development with the analytic hierarchy process (AHP): Serbia example. *Waste Management & Research*, **34**(8), 740-747. <https://doi.org/10.1177/0734242X166529>
- Tsydenova, N., Vázquez Morillas, A., Cruz Salas, A. A. (2018). Sustainability assessment of waste management system for Mexico city (Mexico)—based on analytic hierarchy process. *Recycling*, **3**(3), 45. <https://doi.org/10.3390/recycling3030045>
- Uyan, M. (2014). MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental earth sciences*, **71**, 1629-1639. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9>
- Van Ewijk, S., Stegemann, J. A. (2016). Limitations of the waste hierarchy for achieving absolute reductions in material throughput. *Journal of Cleaner Production*, **132**, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.051>
- Van Thanh, N. (2022). Optimal waste-to-energy strategy assisted by fuzzy MCDM model for sustainable solid waste management. *Sustainability*, **14**(11), 6565. <https://doi.org/10.3390/su14116565>
- Visiongain Reports LTD (2022) *Waste-to-Energy 2022-2032*. Acceso em 08 de outubro de 2022. Disponível em: [Waste to Energy \(WtE\) Market Report 2022-2032 - Visiongain](https://www.visiongain.com/reports/waste-to-energy-2022-2032)
- Yıldırım, Ü., Güler, C. (2016). Identification of suitable future municipal solid waste disposal sites for the Metropolitan Mersin (SE Turkey) using AHP and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, **75**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4948-8>
- Zhang, L., Lavagnolo, M. C., Bai, H., Pivato, A., Raga, R., Yue, D. (2019). Environmental and economic assessment of leachate concentrate treatment technologies using analytic hierarchy process. *Resources, Conservation and Recycling*, **141**, 474-480. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.007>