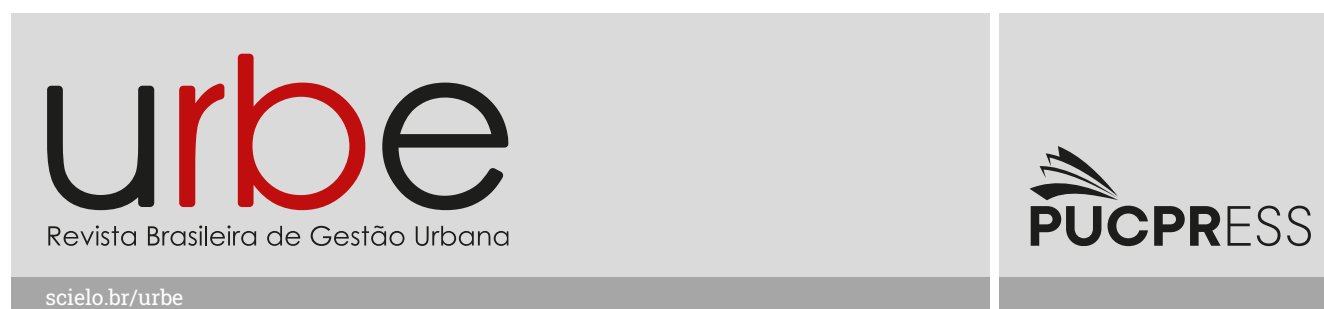




Modelo multicritério como ferramenta para definição de ações de educação ambiental na gestão sustentável de resíduos sólidos: uma aplicação em municípios do Brasil

Multicriteria model as a tool for defining environmental education actions in the sustainable management of solid waste: an application in municipalities in Brazil

Leticia Framesche ^[a] 

Irati, PR, Brasil

^[a] Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro)

Jeanette Beber de Souza ^[a] 

Irati, PR, Brasil

^[a] Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro)

Tatiane Bonametti Veiga ^[a] 

Irati, PR, Brasil

^[a] Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro)

Como citar: Framesche, L., Souza, J. B., & Veiga, T. B. (2025). Modelo multicritério como ferramenta para definição de ações de educação ambiental na gestão sustentável de resíduos sólidos: uma aplicação em municípios do Brasil. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 17, e20230367, 2025. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.017.e20230367>

LF é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, e-mail: leticiaframesche@gmail.com

JBS é professora de Engenharia Ambiental, Doutora em Engenharia Civil pela USP, e-mail: jeanettebeber@yahoo.com.br

TBV é professora de Engenharia Ambiental, Doutora em Ciências pela USP, e-mail: tatianeveiga@unicentro.br

Resumo

Este estudo objetivou validar um modelo para ordenar ações de Educação Ambiental (EA), com vistas ao aprimoramento da gestão de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) em municípios do Brasil. Utilizou-se o Método Delphi, envolvendo 23 especialistas, na busca por obter o consenso quanto a ações de EA e subcritérios distribuídos nos critérios ambiental, social, econômico e técnico, na definição de aplicação das ações. Como resultado, cinco ações de EA e 14 subcritérios estruturaram o modelo composto pelo Analytic Hierarchy Process (AHP), para atribuição de pesos de critérios e subcritérios e o Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE II) para ranqueamento de ações de EA. Este modelo foi testado em três amostras, e os resultados, peso e ranqueamento, refletiram as particularidades e necessidades municipais. No entanto, "Campanha regular e de longo prazo", mostrou-se como a primeira (33%) ou segunda melhor opção (67%) a ser considerada. Quanto ao modelo, este foi avaliado pelos stakeholders como inovador, estratégico e apto a oferecer aos gestores públicos e privados, tomadores de decisão e pesquisadores, insights quanto a aplicações teóricas e práticas em prol da gestão sustentável dos RSD, preenchendo assim lacunas da literatura e demonstrando a capacidade de replicabilidade em diferentes contextos municipais brasileiros.

Palavras-chave: Educação ambiental. Modelo multicritério. Políticas públicas. Resíduos sólidos domiciliares. Tomada de decisão municipal.

Abstract

the management of Household Solid Waste (RSD) in municipalities in Brasil. The Delphi Method was used, involving 23 specialists, in the search to obtain consensus regarding EE actions and sub-criteria distributed in environmental, social, economic and technical criteria, in the definition of the application of the actions. As a result, five EA actions and 14 sub-criteria structured the model composed of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for assigning weights of criteria and sub-criteria and the Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE II) for ranking EA actions. This model was tested in three samples, and the results, weight and ranking, reflected the particularities and needs of the municipality. However, "Regular, long-term campaigning" was shown to be the first (33%) or second best option (67%) to consider. As for the model, it was evaluated by stakeholders as innovative, strategic, replicable and able to offer public and private managers, decision-makers and researchers insights into theoretical and practical applications in favor of the complex sustainable management of RSD, thus filling gaps in the literature and demonstrating the capacity for replicability in different Brazilian municipal contexts.

Keywords: Environmental education. Multicriteria model. Public policies. Household solid waste. Municipal decision-making.

Introdução

A gestão integrada e sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um desafio global, intensificado em municípios com limitações financeiras e técnicas, diante da crescente geração desses resíduos e seus impactos multifacetados nas cidades e nas populações (Knickmeyer, 2020; Agoviano *et al.*, 2021). Assim, a adoção de ferramentas que auxiliem gestores da área de resíduos para tomadas de decisões mais assertivas e sinérgicas é importante (Alzamora & Barros, 2020).

A Coleta Seletiva (CS) e a Educação Ambiental (EA) são instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que visam auxiliar na melhoria contínua da gestão integrada dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). Entretanto, a implementação efetiva da CS é desafiadora, ainda com adesão limitada por parte dos municípios brasileiros (Abrelpe, 2022; Cempre, 2023), acarretando na disposição final de fração considerável de resíduos passíveis de reciclagem e na presença significativa de rejeitos em centrais de reciclagem (Moura *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2020).

Com o objetivo de contribuir à melhoria da gestão integrada de resíduos sólidos, Framesche *et al.* (2023) identificaram seis ações de EA. As ações de EA, sejam formais ou informais, atuam de forma sinérgica na gestão dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) (Ibelli-Bianco *et al.*, 2022; Sena *et al.*, 2023). No entanto, é essencial considerar múltiplos critérios para que as decisões de aplicação dessas ações sejam realistas e promissoras (Arikan *et al.*, 2017).

Tornou-se relevante, a utilização de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (*Multi-Criteria Decision Aid* – MCDA) (Coban *et al.*, 2018; Makan & Fadili, 2020). Nesse contexto, destacam-se os métodos: *Analytic Hierarchy Process* – AHP (Saaty, 1977), que atribui pesos a alternativas, como estação de tratamento de RSD (Angelo *et al.*, 2017), indicadores de localização de aterros (Kamdar *et al.*, 2019) e opções de tratamento (Muller *et al.*, 2021); seguido do *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation* – PROMETHEE (Brans, 1986), que classifica alternativas, como inovações energéticas aplicadas aos RSU (Kumar *et al.*, 2023), tecnologias sustentáveis de gestão (Makan & Fadili, 2020; Garcia-Garcia, 2022), atividades operacionais em cooperativas de materiais recicláveis (Siman *et al.*, 2020) e diferentes formas de destinação de resíduos (Coban *et al.*, 2018).

Para possibilitar a avaliação de alternativas consensuais, com a contribuição de especialistas na gestão sustentável de RSU, o Método Delphi (Linstone & Turoff, 2002) integra-se, de maneira sinérgica, com os MCDA (Garcia-Garcia, 2022). Estudos têm investigado essa temática, incluindo a definição de indicadores (Barretos & Moraes, 2018; Alves *et al.*, 2021), avaliação de planos municipais (Chaves *et al.*, 2020), desafios da gestão (Esmaeilizadeh *et al.*, 2020), fatores de influência na satisfação de residentes (Chu *et al.*, 2021) e planejamento da gestão (Estay-Ossandon *et al.*, 2018).

Este estudo objetiva validar um modelo multicritério personalizado para ordenar ações de EA voltadas à gestão de RSD em municípios brasileiros, considerando a complexidade dos processos de definição das ações de EA mais adequadas para diferentes contextos, que ainda são pouco difundidos (Knickmeyer, 2020). Dessa forma, o estudo propõe estratégias replicáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015), que abordam de maneira integrada as necessidades gerenciais, legais, organizacionais e científicas voltadas a gestores e formuladores de políticas públicas.

Materiais e métodos

A metodologia adotada consistiu-se em duas etapas principais (Figura 1).

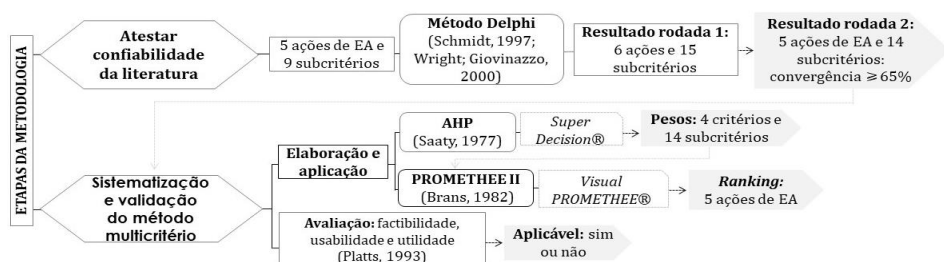


Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas. Fonte: Autores (2023).

Etapa 1 – Avaliação consensual de ações de educação ambiental

Fundamentado na revisão sistemática da literatura realizada por Framesche *et al.* (2023), seis ações de EA e nove subcritérios foram avaliados pelo Método *Delphi* Eletrônico, que possibilita uma avaliação coletiva, anônima e consensual de especialistas em relação a problemas complexos (Linstone & Turoff, 2002), como os abordados neste estudo. Considerou-se como especialista: gestor, tomador de decisão ou formulador de política pública, com atuação e experiência mínima de dois anos com a gestão de RSU. A seleção dos participantes foi pautada em: a) amostragem não probabilística intencional, onde especialistas foram selecionados intencionalmente em função das contribuições esperadas (Kish, 1965;) e b) técnica *Snowball sampling*, em que especialistas selecionados indicaram outros, seguindo critérios de inclusão até a inexistência de novas contribuições (Biernacki & Waldorf, 1981).

Inicialmente, 40 especialistas, distribuídos pelas cinco regiões geográficas do Brasil, foram contatados, observando-se a inexistência de consenso no número de participantes para a aplicação do Método *Delphi* (Varndell *et al.*, 2021). Em seguida, um *e-mail* foi encaminhado a eles, contendo a Carta-Convide, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o *link* de acesso ao primeiro questionário. Salienta-se que a pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição em que foi realizado o estudo, pelo parecer nº 4.685.820.

No total, 26 especialistas, de 12 estados da federação, distribuídos em 26 municípios (34,6% de pequeno porte, 30,8% de médio porte, 30,8% de grande porte e 3,8% de metrópole) participaram da primeira rodada *Delphi*, sendo 85% do sexo masculino e 15% do sexo feminino; com idades entre 20 e 65 anos; escolaridade igual ou maior ao ensino superior em 96% dos casos; formação multidisciplinar correlata à função que desempenhavam (Engenheiro Ambiental/Sanitarista - 19% e Gestor Ambiental - 7,7%); e experiência mínima de cinco anos em 62% dos casos.

A avaliação do primeiro questionário foi pautada na inclusão e/ou alteração nominal das cinco ações de EA e nove subcritérios, além da análise do grau de importância, com base na Escala *Likert* com amplitude de 1 a 5, sendo: 1) Dispensável, 2) Não prioritário, 3) Desejável, 4) Importante e 5) Muito importante (Linstone & Turoff, 2002; Ribeiro, 2006). Nas avaliações, foram mantidas as ações de EA e os subcritérios com somatório de graus de importância 4 ou 5 igual ou superior a 65%, porcentagem estabelecida conforme estudos anteriores (Esmaeilzadeh *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2021). O instrumento de pesquisa foi delineado no *Google Forms*® e os resultados passaram por Análise de Conteúdo Temática (Bardin, 1979; Minayo, 2014). Após a etapa de refinamento, o *link* de acesso ao segundo questionário foi encaminhado via *e-mail* aos 26 especialistas, obtendo-se o retorno de 23 deles, o que representou 57% da parcela inicial de participantes, superior a estudos similares (Alves *et al.*, 2021; Chu *et al.*, 2021).

De maneira consensual, os especialistas consideraram relevantes cinco ações de EA e 14 subcritérios às tomadas de decisão nas municipalidades, e tais informações balizaram a etapa subsequente

da pesquisa, de sistematização do modelo multicritério. Os questionários aplicados nesta etapa constam no material suplementar disponibilizado.

Etapa 2 - Modelo multicritério para ranqueamento de ações de EA

Dos 23 especialistas que participaram da etapa Delphi, três foram selecionados como amostras para validar o modelo proposto (denominados *stakeholders* – legítimos replicadores do modelo em suas cidades), conforme adotado em estudos similares (Roghanian *et al.*, 2020; Roza *et al.*, 2020). O critério de participação foi a devolutiva do TCLE e a justificativa para a aplicação do estudo no município em que atuavam. As amostras investigadas consistiram em uma cidade de grande porte (S_1) e duas de pequeno porte (S_2 e S_3), o que oportunizou a análise de realidades, problemáticas e desafios de regiões geográficas distintas do Brasil.

Nesta etapa, foram associados dois MCDA: AHP (Saaty, 1977) para atribuição de pesos aos critérios ambiental, social, econômico e técnico, e aos 14 subcritérios, e o PROMETHEE II (Brans, 1986) para classificação final das cinco ações de EA, alternativas. Esses métodos foram utilizados em função do problema da pesquisa ser do tipo ordenação, da característica dos dados disponíveis e do conhecimento dos pesquisadores (Kornysheva & Salinesi, 2007; Vego *et al.*, 2008). As etapas sequenciais e os processos matemáticos de cada MCDA constam no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas para construção do modelo híbrido (AHP+PROMETHEE II)

Etapas		Observações
<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>		
1	Construção das amostras	Software <i>SuperDecisions</i> ® versão 3.2 (Creative Decisions Foundation, 2021).
2	Definição dos fatores	4 critérios (ambiental, social, econômico e técnico)
3	Definição das alternativas	14 subcritérios provenientes do Delphi Eletrônico
4	Construção de matrizes de comparação	5 matrizes foram construídas: 1 matriz para comparação dos critérios e 4 matrizes para os subcritérios pertencentes a cada critério.
5	Avaliação das intensidades de importância entre critérios e subcritérios	$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$ Onde: A é a matriz recíproca em que os pesos a_{ij} de cada critério e subcritério foram dispostos em linhas e colunas após comparações aos pares. Os <i>stakeholders</i> receberam, via <i>e-mail</i>, um questionário para atribuírem intensidade de importância de um critério sobre outro, e entre os subcritérios correspondentes a cada critério. A avaliação foi fundamentada em escala absoluta de amplitude 1 a 9, sendo: 1) Igual importância, 3) Fraca importância, 5) Forte importância, 7) Muito forte importância, 9) Extrema importância e; 2, 4, 6 ou 8) Valores intermediários (Saaty, 1977). O questionário encontra-se no material suplementar.*
6	Geração do peso (P_i) dos critérios e subcritérios*	1º: Soma dos valores de cada coluna e posterior divisão do valor de cada célula da matriz pela soma da respectiva coluna: $a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{onde: } i, j = 1, 2, \dots, n.$ 2º: Divisão da soma das linhas pelo número de elementos da linha: $P_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad \text{onde: } i = 1, 2, \dots, n.$ 3º: No cálculo do peso dos subcritérios (P_{sc}), foi necessário, além das etapas acima, considerar o peso do critério correspondente (P_c) para obtenção do Peso Composto do Subcritério (PC_{sc}): $PC_{sc} = P_{sc} * P_c$

Etapas		Observações
Analytic Hierarchy Process (AHP)		
7	Análise de consistência das comparações*	1º: Índice de Consistência Harmônica (ICH): $ICH = \frac{[(MH_s - n) * (n + 1)]}{n * (n - 1)}$ 2º: Razão de Consistência: $RC = \frac{ICH}{HRI}$ <i>onde: MH_s é o somatório de todos os critérios na matriz de comparação; n o número de elementos; e HRI é o índice de Consistência Harmônica aleatória, que tem influência direta no número de elementos (n) da matriz (n=3, HRI=0,550; n=4, HRI= 0,859) (Stein; Mizzi, 2007).</i> 3º Consistência do RC, por meio do $RC_{máx}$, de acordo com o número de elementos (n). Os valores de referência foram: RC ≤ 0,05 para matrizes 3x3 e RC ≤ 0,08 para matrizes 4x4 (Saaty, 1994). Se dentro dos limites, $RC \leq RC_{máx}$ há consistência nas respostas e o processo se encerra, caso contrário é preciso refazer as avaliações dos especialistas.
Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE – II)		
8	Construção das amostras	Software Visual PROMETHEE 1.4 Academic Edition® (Vpsolutions, 2013)
9	Inclusões de dados iniciais	4 critérios, 14 subcritérios e seus respectivos pesos P_j (provenientes do AHP), juntamente com as 5 ações de EA a serem avaliadas.
10	Escala de atribuição das influências das ações de EA frente aos subcritérios i	Foram extraídas da literatura e analisadas por meio de questionário (anexado em material suplementar), baseado em Vučijak <i>et al.</i> (2016) e Santos <i>et al.</i> (2017), mantendo e/ou alterando nominalmente as atribuições, além de avaliar tais influências dentro de limites de influência: (1) muito baixa; (2) baixa; (3) média; (4) alta; (5) muito alta.
11	Função de preferência e matriz de sobreclassificação*	Para cada par de alternativas frente aos subcritérios foi adotado uma função de preferência e posterior construção de uma matriz de sobreclassificação: Adotou-se a função $F_j(a, b)$ da diferença "Usual", onde: $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad F_j(a, b) = 1, \quad \text{se } g_j(a) - g_j(b) > 0$ $F_j(a, b) = 0, \quad \text{se } g_j(a) - g_j(b) \leq 0$
12	Caracterização dos subcritérios	Máximo (maximizar) ou mínimo (minimizar).
13	Grau de sobreclassificação*	Agregação das diferenças de cada subcritério: $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n P_j * F_j(a, b), \quad \text{onde } \sum_{j=1}^n P_j = 1$
14	Geração dos Cálculo dos fluxos*	1º: Fluxo positivo " + (a): $\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(a, b)}{n - 1}$, o somatório de preferência da alternativa "a" sobre todas as alternativas "b", no conjunto A (soma da linha). 2º: Fluxo negativo " - (a): $\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) / (n - 1)$, somatório de preferência da alternativa "b" sobre todas as alternativas "a", no conjunto A (soma da coluna). 3º: Fluxo líquido de superação " (a) = " + (a) - " - (a), a subtração entre o " + e o " - Fluxos líquido de superação " (a), fluxo positivo " + (a) e fluxo negativo " - para as alternativas. São gerados automaticamente no software,
15	Análise dos fluxos e determinação do ranking*	Quanto maior o " (a) (variação de -1 a 1) melhor a ação de EA para o cenário.

Nota: (*): processos matemática por traz dos resultados gerados pelos softwares adotados. Fonte: Autores (2023).

Para testar a aplicabilidade do modelo, o mesmo foi avaliado em critérios de factibilidade (quão replicável é o processo no cotidiano); usabilidade (quão fácil é seguir as etapas); e utilidade (quão útil é a resolução dos problemas) (Platts, 1993; Platts *et al.*, 1998). O processo foi fundamentado em uma Escala Likert com amplitude 1 a 5, sendo: 1) Muito pouca, 2) Pouca, 3) Média, 4) Boa e 5) Muito boa, em que quanto maior o número, melhor avaliado é o critério e, consequentemente, o modelo (Likert, 1932). O instrumento de avaliação (conteúdo consta em material suplementar) foi encaminhado, via *e-mail*, aos três *stakeholders* que participaram da aplicação do modelo na etapa anterior, que são legítimos especialistas para replicação do modelo em seus municípios (Platts, 1993).

Resultados e Discussão

A captação de opiniões, experiências, necessidades e desafios locais heterogêneos entre os especialistas possibilitou, após duas rodadas do método Delphi, a identificação validada de cinco ações de EA mais adequadas a serem consideradas, visando à melhoria da gestão dos RSD em municípios brasileiros (Tabela 1).

Tabela 1 – Avaliação das ações de educação ambiental nas rodadas Delphi pelos especialistas

Ações de educação ambiental analisadas		Resultados			
		1ª rodada (26 especialistas)		2ª rodada (23 especialistas)	
		Σ4 e 5 (%)	Decisão	Σ4 e 5 (%)	Decisão
A ₁	Meios de comunicação	88,46	M	86,96	M
A ₂	Palestras/seminários	96,15	M	69,57	M
-	Conversas informais	61,54	EXCLUÍDA		
A ₃	Visitas porta a porta	92,31	M	69,57	M
-	Eventos públicos sociais	88,46	A	60,87	E
A ₄	Campanhas regulares e de longo prazo	84,62	A	100,00	M
A ₅	Educação ambiental interdisciplinar em instituições de ensino	INCLUÍDA		95,65	M

Legenda: (Σ4 e 5 (%)): Somatório dos graus 4 e 5 em porcentagem; (A): Ação de educação ambiental alterada nominalmente; (A_n): Número de ações de educação ambiental mantidas; (E): Ação de educação ambiental excluída; (M): Ação de educação ambiental mantida; (-) Ação de educação ambiental excluída. Fonte: Autores (2023).

No decorrer das duas rodadas de avaliações, sete ações de EA foram analisadas, e 71,4% mantidas, com destaque para “Campanhas regulares e de longo prazo”, que conquistou consenso pleno na última rodada. As ações “Conversas informais” e “Eventos públicos e sociais” não atingiram porcentagem mínima e foram excluídas. Segundo Varotto & Spagnolli (2017), aspectos relacionados à exposição despretensiosa de conteúdo podem despertar a curiosidade, porém não repercutem em mudança assertiva.

A inclusão da ação formal “Educação ambiental interdisciplinar em instituições de ensino”, por sua vez, pode estar relacionada ao fato de que, tanto as ações de EA formais quanto informais são indispensáveis na transformação e melhorias da gestão dos RSD (Brasil, 1999; Herzer *et al.*, 2019). Os procedimentos similares referentes aos subcritérios foram apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Avaliação dos subcritérios nas rodadas Delphi pelos especialistas

Critérios	Subcritérios	Subcritérios analisados	Resultados			
			1ª rodada (26 especialistas)		2ª rodada (23 especialistas)	
			Σ4 e 5 (%)	Decisão	Σ4 e 5 (%)	Decisão
Ambiental	SC ₁	Parcela de resíduos recicláveis secos coletados	96,15	A	82,61	M
	SC ₂	Efetividade dos resíduos recicláveis secos para comercialização	96,15	A	91,30	M
	SC ₃	Percentual de RSD (resíduos úmidos e rejeitos) gerados, coletados e destinados adequadamente	INCLUÍDO		91,30	M
	SC ₄	Envolvimento público nas ações de EA	96,15	A	100,00	M
Social	-	Apoio político	88,46	M	60,87	E
	SC ₅	Benefícios com as ações de EA	INCLUÍDO		91,30	M
	SC ₆	Participação efetiva dos catadores de materiais recicláveis nas ações de EA	INCLUÍDO		86,96	M
	SC ₇	Número de cooperativas de reciclagem	INCLUÍDO		82,61	M

Critérios	Subcritérios	Subcritérios analisados	Resultados			
			1ª rodada (26 especialistas)		2ª rodada (23 especialistas)	
			Σ4 e 5 (%)	Decisão	Σ4 e 5 (%)	Decisão
Econômico	-	Custos com capacitação profissional dos envolvidos nas ações de EA	61,54		EXCLUÍDO	
	SC ₈	Custos de implantação/manutenção das ações de EA	84,62	M	73,91	M
	SC ₉	Parceria com empresas privadas	INCLUÍDO		73,91	M
	SC ₁₀	Grau de envolvimento das indústrias do município com a temática dos RSD	INCLUÍDO		78,26	M
Técnico	SC ₁₁	Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de EA	84,62	A	100,00	M
	SC ₁₂	Tempo de execução das ações de EA	80,77	M	78,26	M
	SC ₁₃	Tamanho da população a ser atendida	76,92	M	82,61	M
	SC ₁₄	Trabalho em conjunto com outras secretarias no tocante a gestão adequada dos RSD	INCLUÍDO		78,26	M

Legenda: (Σ4 e 5 (%)): Somatório dos graus 4 e 5 em porcentagem; (A): Subcritérios alterados; (-): Subcritérios excluídos; (EA): Educação Ambiental; (M): Subcritérios mantidos; (RSD): Resíduos Sólidos Domiciliares; (SCn): Número de subcritérios. Fonte: Autores (2023).

No decorrer das etapas, quatro subcritérios foram alterados nominalmente, sete foram incluídos e dois foram excluídos, resultando em 14 subcritérios potenciais a serem considerados nas tomadas de decisão envolvendo a aplicação das ações de EA. Os subcritérios “Custos com capacitação profissional dos envolvidos nas ações de educação ambiental” e “Apoio político”, não atingiram o consenso mínimo e foram excluídos. No primeiro caso, pode-se justificar que, muitas vezes, o profissional envolvido não necessite de capacitação continuada, pois possui proximidade com o tema (Joseph *et al.*, 2012; Evangelista *et al.*, 2019). No segundo caso, entretanto, Andrade *et al.* (2020) apontaram a legitimidade do subcritério para que ocorram as articulações dos múltiplos atores envolvidos nos processos de execução das ações.

Ocorreram inclusões de novos critérios nas quatro dimensões. No critério social, observaram-se aspectos relacionados aos benefícios das ações, à necessidade de parcerias com cooperativas de reciclagem e aos protagonistas da reciclagem nas cidades brasileiras, mesmo diante das adversidades que enfrentam quanto à coleta e segregação de materiais recicláveis (Guarnieri *et al.*, 2020). Quanto ao critério ambiental, incorporou-se a importância de diagnósticos para fundamentação de prognósticos, pois a definição de aplicação de ações de EA é baseada nesses resultados (Khan *et al.*, 2016; Saidan *et al.*, 2017). Frente aos critérios econômicos e técnicos, identificaram-se parcerias de empresas privadas, indústrias ou secretarias municipais com vistas à sinergia de benefícios. Assim, subcritérios de distintas dimensões foram incorporados, como preconizado na PNRS e ODS (Brasil, 2010; ONU, 2015).

Em relação aos subcritérios com maiores porcentagens de consenso, o subcritério “Envolvimento público nas ações de educação ambiental por intermédio da promoção de políticas públicas” recebeu unanimidade entre os especialistas, o que pode ser justificado pelo fato de a participação pública ser um fator relevante e o caminho principal na promoção de melhorias na gestão dos RSU (Xu *et al.*, 2018; Knickmeyer, 2020). O consenso pleno também foi atribuído ao subcritério “Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de educação ambiental”, corroborando com estudos que consideram recursos humanos qualificados importantes ao sucesso dos sistemas de gestão dos RSD (Bui *et al.*, 2020; Esmaeilizadeh *et al.*, 2020).

Dessa forma, a partir da aplicação do Método *Delphi*, foi possível realizar a validação consensual, com especialistas na área, de dois *checklists*, com cinco ações de EA e 14 subcritérios, que fundamentaram a sistematização do modelo multicritério empregado na pesquisa.

Modelo AHP + PROMETHEE II: sistematização e validação

As comparações pareadas de atribuição de intensidades entre critérios revelaram padrões indefinidos para os três *stakeholders* selecionados nesta etapa (Quadro 2).

Quadro 2 – Comparações pareadas entre os critérios atribuída pelos stakeholders

Critérios	Intensidade de importância																		Critérios
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Ambiental									⊗									Econômico	
									▽	△					○			Social	
									⊗				○					Técnico	
Econômico									▽	△					○			Social	
									▽	△			○					Técnico	
Social									⊗										

Legenda: (○): Stakeholder 1; (△): Stakeholder 2; (▽): Stakeholder 3. Fonte: Autores (2023).

Em seguida, a inclusão das intensidades de importância no SuperDecisions® resultaram nos respectivos pesos aos critérios (P_c) (Tabela 3), sendo de valor igual para o Stakeholder 3 (S_3), onde incorporou-se o aspecto de sustentabilidade na tomada de decisão, como em outros estudos (Coban *et al.*, 2018; Roza *et al.*, 2020), e de valores distintos para os Stakeholder 1 (S_1) e Stakeholder 2 (S_2).

Tabela 3 – Peso dos critérios atribuídos pelos stakeholders

Critério	Peso dos critérios (P_c)		
	S_1	S_2	S_3
Ambiental	0,072	0,205	0,250
Social	0,464	0,338	0,250
Econômico	0,072	0,169	0,250
Técnico	0,392	0,288	0,250
Total	1,000	1,000	1,000

Fonte: Resultados provenientes da interface do AHP. Autores (2023).

Analisando o P_c , os critérios social e técnico foram considerados os mais importantes em 67% das amostras, enquanto o critério econômico foi avaliado como o menos relevante na mesma proporção, para o stakeholder de uma cidade de grande porte e uma de pequeno porte. Essa realidade reitera o protagonismo das necessidades e particularidades das amostras aos resultados, fato que as torna mais realistas e cientificamente reconhecidas (Garcia-Garcia, 2022). Tais resultados divergiram do estudo de avaliação da sustentabilidade de tecnologias de compostagem, onde os critérios ambiental e social foram considerados mais importante e o critério técnico, menos importante (Makan & Fadili, 2020).

Na sequência, a atribuição da intensidade de importância entre os subcritérios (Quadro 3) e o peso correspondente a cada subcritério, o PC_{SC} (Tabela 4), revelaram novamente a inexistência de um padrão entre as 18 comparações. Em questão, três subcritérios pertencentes a critérios distintos foram considerados como mais relevantes, respectivamente para o S_1 , S_2 e S_3 : “Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de EA” (critério técnico), “Benefícios com as ações de EA” (critério social) e “Parcela de resíduos secos coletados” (critério ambiental), demonstrando novamente a particularidade de cada amostra investigada.

Quadro 3 – Comparações pareadas dos subcritérios pelos três stakeholders

C	Subcritério	Intensidade de importância																	Subcritério
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ambiental	Efetividade dos resíduos recicláveis secos para comercialização	△				○												▽	Parcela de resíduos recicláveis secos coletados
										△			▽						Percentual de RSD gerados, coletados e destinados adequadamente
	Parcela de resíduos recicláveis secos coletados					▽						○					△		
Social										△							▽		Envolvimento público nas ações de EA
	Benefícios com as ações de EA	△				▽						○							Números de cooperativas de reciclagem
			△			○				▽									Participação efetiva dos catadores de materiais recicláveis nas ações de EA
	Envolvimento público nas ações de EA	☆								○									Números de cooperativas de reciclagem
	Números de cooperativas de reciclagem		○		▽	△				△				▽					Participação efetiva dos catadores de materiais recicláveis nas ações de EA
Econômico						△		○							▽				Grau de envolvimento das indústrias do município com a temática dos RSD
	Custos com implantação e manutenção das ações de EA					△				○							▽		
	Grau de envolvimento das indústrias do município com a temática dos RSD							△				▽		○					Parceria com empresas privadas
Técnico				○				△						▽					Tamanho da população atendida
	Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de EA			○									△				▽		Tempo de execução das ações de EA
		○						△									▽		Trabalho em conjunto com outras secretarias no tocante a gestão adequada dos RSD
	Tamanho da população a ser atendida				▽		○					△							Tempo de execução das ações de EA
								△		○		▽							Trabalho em conjunto com outras secretarias no tocante a gestão adequada dos RSD
	Tempo de execução das ações de EA					☆						○							

Legenda: (○): Stakeholder 1; (△): Stakeholder 2; (▽): Stakeholder 3; (C): Critérios; (EA): Educação Ambiental; (RSD): Resíduos Sólidos Domiciliares. Fonte: Autores (2023).

Tabela 4 – Peso dos subcritérios segundo a avaliação dos três stakeholders

Critério	Subcritério (SC)	S ₁		S ₂		S ₃	
		Pesos					
		P _{sc}	PC _{sc} (%)	P _{sc}	PC _{sc} (%)	P _{sc}	PC _{sc} (%)
Ambiental	SC ₁ Parcela de resíduos recicláveis secos coletados	0,114	0,821	0,056	1,148	0,733	18,325
	SC ₂ Efetividade dos resíduos recicláveis secos para comercialização	0,481	3,463	0,481	9,860	0,067	1,675
	SC ₃ Percentual de RSD gerados, coletados e destinados adequadamente	0,405	2,916	0,463	9,491	0,199	4,975
Social	SC ₄ Envolvimento público nas ações de EA	0,301	13,966	0,417	14,095	0,690	17,250
	SC ₅ Benefícios com as ações de EA	0,219	10,162	0,465	15,717	0,131	3,275
	SC ₆ Participação efetiva dos catadores de materiais recicláveis nas ações de EA	0,048	2,181	0,064	2,163	0,138	3,450
	SC ₇ Número de cooperativas de reciclagem	0,431	19,990	0,053	1,791	0,040	1,000
Econômico	SC ₈ Grau de envolvimento das indústrias do município com a temática dos RSD	0,114	0,821	0,187	3,160	0,285	7,125
	SC ₉ Custos com implantação e manutenção das ações de EA	0,405	2,916	0,706	11,931	0,062	1,550
	SC ₁₀ Parceria com empresas privadas	0,481	3,463	0,106	1,791	0,653	16,300
Técnico	SC ₁₁ Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de EA	0,705	27,636	0,270	7,776	0,038	0,950
	SC ₁₂ Tempo de execução das ações de EA	0,052	2,038	0,154	4,435	0,624	2,600
	SC ₁₃ Tamanho da população a ser atendida	0,130	5,096	0,494	14,227	0,104	15,575
	SC ₁₄ Trabalho em conjunto com outras secretarias no tocante a gestão adequada dos RSD	0,113	4,390	0,081	2,333	0,233	5,825

Legenda: (EA): Educação Ambiental; (P_{SC}): Peso do subcritério; (PC_{SC}): Peso Composto do subcritério em porcentagem; (RSD): Resíduos Sólidos Domiciliares; (Sn): Stakeholder; (SCn): Número dos subcritérios mantidos. Fonte: Resultados provenientes da interface do AHP, Fonte: Autores (2023).

Analisando de maneira particular a influência do P_c (Tabela 3) frente aos subcritérios, no caso do S₁, foi identificada que o SC₂ “Efetividade dos resíduos recicláveis secos para comercialização” apresentou o segundo maior P_{SC} (0,480), todavia, com o valor de P_C (ambiental: 0,072), foi realocado à oitava posição (P_{SC} 3,463%). Situação semelhante aconteceu com o S₂, em que o SC₉ “Custos com implantação e manutenção das ações de educação ambiental” apresentou o melhor P_{SC} (0,706), entretanto, ao considerar o P_c a que pertence (econômico: 0,169), foi direcionado à quarta posição (PC_{SC} 11,931%). Assim, comprova-se a força do P_c correspondente ao PC_{SC} aos resultados. Logo, em situações de pesos iguais entre os critérios (inclusão dos aspectos sustentabilidade nas decisões), os resultados seriam distintos nestas amostras.

Na avaliação da influência das ações de EA frente aos subcritérios no Visual PROMETHEE®, os *stakeholders* corroboraram e alteraram a maioria das atribuições de influências das ações de EA provenientes da literatura, fato que legitima os resultados deste estudo, pois a opinião e conhecimento de especialistas da área foram incorporados aos resultados (Garcia-Garcia, 2022). Além disso, caracterizaram o SC₉ “Custos com implantação e manutenção das ações de educação ambiental” e o SC₁₂ “Tempo de execução das ações de educação ambiental” como de objetivos mínimos (Quadro 4), corroborando afirmações de que os fatores custo e tempo são limitantes às execuções e tomadas de decisões (Dutra *et al.*, 2018; Boffardi *et al.*, 2021).

Quadro 4 – Escalas de atribuição de influência das ações de educação ambiental frente aos subcritérios pela literatura e os três stakeholders

Critério	Subcritério (SC)	Caracterização	Ação de educação ambiental																Função de preferência			
			(A1) Meio de comunicação				(A2) Palestra/ Seminário				(A3) Visita porta a porta				(A4) Campanha regular e de longo prazo					(A5) Educação ambiental interdisciplinar em instituições de ensino		
Ambiental	SC ₁ Parcela de resíduos recicláveis secos coletados ¹	Escalas	L	S ₁	S ₂	S ₃	L	S ₁	S ₂	S ₃	L	S ₁	S ₂	S ₃	L	S ₁	S ₂	S ₃	L	S ₁	S ₂	S ₃
	SC ₂ Efetividade dos resíduos recicláveis secos para comercialização ²		SB	A	M	B	B	B	M	A	M	SA	M	M	SA	A	SA	A	SA			
	SC ₃ Percentual de RSD (resíduos úmidos e rejeitos) gerados, coletados e destinados adequadamente ³		SB	A	B	M	B	B	M	A	M	A	M	M	A	SA	A	SA				
Social	SC ₄ Envolvimento público nas ações de EA por intermédio da promoção de políticas públicas ³		SB	A	M	B	B	M	A	M	A	M	M	A	A	A						
	SC ₅ Benefícios alcançados com as ações de EA ⁴		SB	A	B	B	M	A	M	A	M	A	M	A	SA	A	SA					
	SC ₆ Participação efetiva dos catadores de materiais recicláveis nas ações de EA ⁴		SB	M	SB	M	A	M	B	M	B	A	B	A	B	B	A					
	SC ₇ Número de cooperativas de reciclagem ⁴		B	M	B	A	M	B	B	M	M	A	SB	B								
Econômico	SC ₈ Grau de envolvimento das indústrias do município com a temática dos RSD ⁴		M	A	M	SB	M	B	B	M	B	A	A	SB	B	M	B					
	SC ₉ Custos com implantação e manutenção das ações de EA ⁴		SB	A	B	B	B	SA	A	SA	M	M	A	M	A							
	SC ₁₀ Parcerias com empresas privadas ⁴		M	A	B	M	M	M	A	M	A	A	A	M	B	M						
Técnico	SC ₁₁ Profissionais e multiplicadores qualificados para aplicar as ações de EA ⁵		Máx.	SB	A	M	B	B	A	M	M	B	A	A	M	SA	A	SA				
	SC ₁₂ Tempo de execução das ações de EA ⁵		Mín.	SB	A	SB	B	B	A	M	M	A	M	SA	SA							
	SC ₁₃ Tamanho da população a ser atendida ⁶		Máx.	SA	SA	M	B	M	B	SB	B	A	B	M	M	A	B	M	B			
	SC ₁₄ Trabalho em conjunto com outras secretarias no tocante a gestão adequada dos RSD ⁴		Máx.	SB	M	A	SB	M	A	M	A	M	A	SA	SA	A	SA					

Legenda: (+) Atribuído pelos autores do estudo; (A): Alta; (B): Baixa; (L): Literatura; (M): Média; (Máx.): Máximo; (Mín.): Mínimo; (S_n): Stakeholders; (SA): Super Alta; (SB): Super Baixa; (SC): Subcritério; (EA): Educação Ambiental; (RSD): Resíduos Sólidos Domiciliares. Literatura: ¹Scoullon e Malotidi (2005); ²Zon et al. (2020); ³Varotto e Spagnolli (2017) e Rebehy et al. (2017); ⁴Duplé et al. (2014); ⁵Bui et al. (2020) e Esmaeilzadeh et al. (2020); ⁶Everett, Jacobs e Peirce (1991). Fonte: Autores (2023).

Com tais informações, o ranqueamento das amostras foi gerado (Tabela 5), notando-se divergências nos ordenamentos subsequentes das ações: A4 “Campanha regular e de longo prazo”, A3 “Visita porta a porta” e A5 “Educação Ambiental interdisciplinar em instituições de ensino”, respectivamente, entre as amostras. Tal tendência já era esperada, pois cada *stakeholder* inclui prioridades e conhecimentos distintos nas avaliações, e identificar uma alternativa única que satisfaça a todos não é a solução mais adequada (Garcia-Garcia, 2022).

Tabela 5 - Ranking das ações de educação ambiental nas três amostras investigadas

Amostras	Ranqueamento	$\Phi(a)$ Fluxo líquido	$\Phi^+(a)$	$\Phi^-(a)$
1	A ₄	0,2035	0,4884	0,2849
	A ₁	0,1761	0,4681	0,2920
	A ₂	0,1031	0,4017	0,2976
	A ₅	-0,0052	0,3465	0,3516
	A ₃	-0,4775	0,1504	0,6279
2	A ₃	0,4082	0,5251	0,1169
	A ₄	0,1643	0,4453	0,2810
	A ₅	0,1462	0,4103	0,2641
	A ₁	-0,2542	0,1259	0,5140
	A ₂	-0,4645	0,1285	0,5930
3	A ₅	0,3555	0,6033	0,2478
	A ₄	0,3416	0,6118	0,2702
	A ₃	-0,1294	0,3199	0,4493
	A ₁	-0,2595	0,3045	0,5640
	A ₂	-0,3082	0,2002	0,5084

Legenda: (A₁): Meio de Comunicação; (A₂): Palestra/seminário; (A₃): Visita porta a porta;

(A₄): Campanha regular e de longo prazo; (A₅): Educação Ambiental interdisciplinar em instituições de ensino.

Fonte: Resultados provenientes da interface do PROMETHEE II, 2022. Fonte: Autores (2023).

Embora o método proposto não pressuponha a existência de uma única solução ideal, ele reflete a sequência mais aceitável em relação à preferência do formulador de política pública (Vučijak *et al.*, 2016; Kharat *et al.*, 2019), reafirmando o pressuposto das particularidades para as amostras analisadas (Garcia-Garcia, 2022).

A “Campanha regular e de longo prazo – A4” foi considerada a melhor opção a ser aplicada em uma cidade de grande porte (S₂) e a segunda melhor alternativa em duas cidades de pequeno porte (S₂ e S₃). Tal preferência corrobora com Alves *et al.* (2021), que consideraram essa ação a melhor a ser implantada em cidades de pequeno porte. Já a A₂ “Palestra/seminário” foi a última opção em duas das três amostras (cidades de pequeno porte) e a terceira opção para uma cidade de grande porte, opondo-se à hipótese de que a promoção e a transmissão de informações e/ou discussões se mostram eficazes e aplicáveis (Marques & Pinho, 2016; Varotto & Spagnoli, 2017).

Outra situação refere-se a A₃ “Visita porta a porta”, que foi considerada a primeira opção pelo S₂ (cidade de pequeno porte), no entanto, foi a menos viável para uma cidade de grande porte (S₁). Nesse último caso, pode estar relacionado ao fato de que as “Visitas porta a porta” são onerosas e resultam em uma taxa de contato de apenas 30% (Duplé *et al.*, 2014), tornando-se, assim, inviável em cidades de grande porte. Mediante esses resultados, as tomadas de decisões relacionadas à definição de aplicação de ações de EA em prol de melhorias na gestão adequada dos RSD nos locais selecionados tenderão a ser mais assertivas (Knickmeyer, 2020), pois os resultados foram compartilhados com os *stakeholders*. Dessa forma, podem contribuir com a melhoria contínua desses sistemas e balizar decisões posteriores.

Por fim, a validação do modelo híbrido (AHP+PROMETHEE II) pelos três *stakeholders* resultou em uma avaliação satisfatória, com médias de 4,00 (boa) frente ao modelo e de 4,22 na média dos critérios, sendo a maior média geral relacionada à “Utilidade” (4,67) do método (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados da avaliação do modelo segundo os stakeholders, 2022

Avaliação do modelo																
Critérios analisados	S ₁					S ₂					S ₃					Média dos critérios
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Factibilidade				X				X						X		3,67
Usabilidade				X						X				X		4,33
Utilidade				X						X					X	4,67
Média do modelo	4,00					4,33					4,33					4,22

Legenda: (S_n): Stakeholders; (1): Muito pouca; (2): Pouca; (3): Média; (4): Boa; (5): Muito boa. Fonte: Autores (2023).

Contribuições extras por parte dos *stakeholders* foram identificadas neste estudo. Vinculado a factibilidade, eles julgaram o modelo como replicável e viável diante das peculiaridades e necessidades das operações de tomada de decisão municipal relacionadas à melhoria na gestão dos RSD, fato que, segundo Chen *et al.* (2023), torna o modelo válido. No entanto, o tempo demandado para a execução das etapas pode ocasionar limitações à replicação (Vučijak *et al.*, 2016; Boffardi *et al.*, 2021), aspecto que colocou esse critério com a menor média. Assim, a necessidade de parcerias entre o poder público e instituições de ensino para a replicação efetiva do modelo foi ressaltado pelos *stakeholders*, corroborando com Bui *et al.* (2020).

Quanto à usabilidade, os *stakeholders* definiram as estruturas para preenchimento dos questionários como simples e objetivas, o que foi comprovado pela ausência de dúvidas durante as etapas, mesmo sem a aplicação de testes ou atividades de ambientação. Isso pode estar associado à participação de um público adequado e alinhado às necessidades impostas pela pesquisa (Li *et al.*, 2017).

Em relação à utilidade, eles declararam que a inclusão de subcritérios e ações de EA consensuais entre especialistas da área, localizados em regiões distintas do Brasil, possibilitou o retorno de resultados relevantes e completos (Luis *et al.*, 2019; Garcia-Garcia, 2022). Além disso, consideraram o modelo como original, inovador e eficaz, pois permitiu retornar resultados para cada cenário avaliado, sendo, portanto, adaptável e generalizável quanto à replicação (critérios/subcritérios e escalas de atribuição alteradas) de acordo com as necessidades e particularidades de cada município (Kharat *et al.*, 2019; Bui *et al.*, 2020).

Essa etapa de sistematização e validação do método, representada por três *stakeholders* de regiões geográficas, portes populacionais, limitações e necessidades heterogêneas, possibilitou a legitimação dessa pesquisa frente ao público-alvo (gestores públicos e tomadores de decisão) e à comunidade científica. De acordo com Pitágoras e sua escola, o número três representa um ponto de equilíbrio, em que as forças ou partes opostas se harmonizam para formar um todo. Aplicando esse conceito ao estudo, a escolha de três *stakeholders* buscou garantir um equilíbrio nas perspectivas analisadas, abrangendo diferentes pontos de vista de forma proporcional. O número três pode ser visto ainda como o mínimo necessário para criar uma base sólida para análise e expansão de ideias, já que mais de duas partes permitem contrastar diferentes visões e buscar convergências, visando a harmonia entre os *stakeholders* e a robustez do estudo, enriquecendo assim o processo de tomada de decisão (Boscato, 2001).

Conclusões

O presente estudo identificou um conjunto de cinco ações de EA e 14 subcritérios, desenvolvido de maneira participativa com a contribuição de 23 especialistas, a partir da obtenção do consenso do grupo, ao longo de duas rodadas do método Delphi. Essa abordagem sinérgica, combinada com a sistematização e validação do modelo multicritério híbrido (AHP + PROMETHEE II), conferiu ao estudo relevância, originalidade e replicabilidade na classificação das ações de EA.

Do ponto de vista científico, operacional e organizacional, o modelo demonstrou ser adaptável e flexível, alinhando-se às necessidades identificadas e apresentando-se como uma ferramenta prática e satisfatória para a classificação das ações de EA em prol de melhorias na gestão dos RSD, reflexo do envolvimento das partes no decorrer das etapas e da combinação de metodologias. Essas realidades resultaram em uma análise mais holística da realidade abordada. Tais características viabilizam a replicação do modelo em diversas localidades do Brasil, e até em outros países com contextos similares.

Além disso, os resultados obtidos contribuem para preencher lacunas na literatura existente e oferecem subsídios para pesquisadores, gestores e formuladores de políticas públicas em países em desenvolvimento. As informações geradas podem servir como um ponto de partida para decisões mais assertivas e adequadas, promovendo sistemas mais sustentáveis e resilientes, conforme preconizado pelos ODS da Organização das Nações Unidas (ONU) e pelas normativas federais. O modelo também pode orientar a criação de programas municipais mais eficientes e integrados, além de fundamentar futuras pesquisas na área.

Em relação às limitações da pesquisa, sugere-se a realização de teste em campo das ações de EA mais indicadas, a fim de avaliar a eficácia e impacto nos cenários analisados. Recomenda-se também que estudos futuros explorem a combinação de outros métodos multicritérios para comparar o ranqueamento das ações de EA. Além disso, incluir *stakeholders* que não participaram das etapas do método *Delphi* Eletrônico e aplicar o modelo com um painel de avaliação, que poderá proporcionar uma análise mais abrangente sobre a influência da participação nas etapas anteriores nos julgamentos finais.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste artigo está disponível no SciELO DATA e pode ser acessado em <https://doi.org/10.48331/scielodata.MTGJVJ9>

Referências

Agoviano, M., Ferraro, A., & Musella, G. (2021). Does national environmental regulation promote convergence in separate waste collection? Evidence from Italy. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125285>

Alves, R. C., da Silva, N. M., & Marques, E. L. (2021). Definição de indicadores para a implantação de consórcios públicos intermunicipais para gestão de resíduos sólidos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (7). <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0045>

- Alzamora, B. R., & Barros, R. T. de V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55. Recuperado em 09 de março de 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>
- Andrade, A. A., Braga, R. M. Q. L., Fernandes, L. L., & Gomes, R. R. K. de A. (2020). Evaluation of recyclable waste management of a waste pickers' association in Belém, Brazil. *Waste and Resource Management*, 173(2), 28–39. <https://doi.org/10.1680/jwarm.18.00014>
- Angelo, A. C. M., Saraiva, A. B., Clímaco, J. C. N., Infante, C. E., & Valle, R. (2017). Life cycle assessment and multi-criteria decision analysis: selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal Cleaner Production*, 143, 744–https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049
- Arikan, E., Şimşit-Kalender, Z.T., & Vayvay, Ö. (2017). Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision-making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 14, 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>
- Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe. (2022). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022*. Recuperado em 21 de fevereiro de 2022, de <https://abrelpe.org.br/panorama-2022/>
- Bardin, L. (1979). *Content Analysis*. (72). Lisboa: Edições 70.
- Barreto, M. M. & Moraes, L. R. S. (2018). Definição de indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados a rios urbanos com o uso do método Delphi. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, 6 (2), p. 67-78. <https://doi.org/10.9771/gesta.v6i2.25261>
- Biernacki P., & Waldorf, D. (1981). Snowball Sampling: Problems and techniques of Chain Referral Sampling. *Sociological Methods & Research*, 2, 141–163. <https://doi.org/10.1177/004912418101000205>
- Boffardi, R., de Simone, L., de Pascale, A., Ioppolo, G., & Arbolino, R. (2021). Best-compromise solutions for waste management: Decision support system for policymaking. *Waste Management*, 121, 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.012>
- Boscato, L. *Pitágoras e a Filosofia dos Números*. São Paulo: Editora Paulus, 2001.
- Brans, J. P., Vincke, P. H., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24 (2), 228–238. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- Brasil (1999, 28 de abril). *Lei nº. 9.795, de 27 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, seção 1.

Brasil (2010, 3 de agosto). *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. Brasília: Diário Oficial da União, seção 1.

Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resource, Conservation and Recycling*, 154, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>

Chaves, G. L. D., Siman, R. R. & Sena, L. G. (2020). Ferramenta de avaliação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: parte 1. Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, (1) 167-179. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180120A>

Chen, W., Lu, X., Yan, H., & Du, X. (2023). Decision tree of indicator benchmark: A hybrid method for assessing cities' performance through urban indicators and benchmark. *Ecological Indicators*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110804>

Chu, X., He, Z., Fan, X., Zhang, L., Wen, H., Huang, W.-C., & Wang, T. (2021). The influencing factors of Harbin (China) residents' satisfaction with municipal solid waste treatment. *Waste Management & Research*, 39 (1), 83-92. <https://doi.org/10.1177/0734242X20947158>

Coban, A., Ertis, I. F., & Cavdaroglu, N. A. (2018). Municipal solid waste management via multi-criteria decision-making methods: a case study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 180 (1), 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.130>

Compromisso Empresarial para Reciclagem - Cempre. (2023). *Revisão CEMPRE, 2023*. Recuperado em 07 de julho de 2023, de <https://ciclosoft.cempre.org.br/resumo-executivo>.

Creative Decisions Foundation. *Download SuperDecisions*. (2021). Recuperado em 15 de outubro de 2021, em http://www.superdecisions.com/downloads/index.php?section=win3_o_beta

Duplé, M., Dangeard, I., & Meineri, S. (2014). Comment sensibiliser localement à des pratiques écoresponsables? *Gestion*, 39, 151-155. <https://doi.org/10.3917/riges.394.0151>

Dutra, R. M. de S., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2018). Influence of the expansion of selective collection on the triage infrastructure of waste pickers' organizations: a case study of 16 Brazilian cities. *Waste Management*, 77, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.009>

Esmaeilzadeh, S., Shaghaghi, A., & Taghipour, H. (2020). Key informants' perspectives on the challenges of municipal solid waste management in Iran: a mixed method study. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 1284-1298. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01005-6>

Estay-Ossandon, C., Mena-Nieto, A., & Harsch, N. (2018). Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999-2030). *Journal of Cleaner Production*, 176, 1198-1212, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324>

- Evangelista, J. G., Flisch, T. M. O., Valente, P. A., & Pimenta, D. N. (2019). Agentes de combate às endemias: construção de identidades profissionais no controle da dengue. *Trabalho, Educação e Saúde*, 17 (1). <https://doi.org/10.1590/1981-7746-sol00173>
- Everett, J. W., & Jacobs, J. J. (1991). Peirce Recycling promotion strategies: Statistical and fuzzy-set comparisons. *Journal of Urban Planning and Development*, 117 (4), 154-167. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(1991\)117:4\(154\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(1991)117:4(154))
- Framesche, L., Souza, J. B., Deschamps, F., Veiga, T. B., & Biluca, J. (2023). Ações de educação ambiental e subcritérios para o melhoramento da gestão de resíduos sólidos domiciliares: uma revisão da literatura. *Periódico Técnico Cidades Verdes*, 11, (29), 41-57. <https://doi.org/10.17271/2317860411292023>
- Garcia-Garcia, G. (2022). Using Multi-Criteria Decision-Making to optimise solid waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100650>
- Guarnieri, P., Cerqueira-Streit, J. A., & Batista, I. C. (2020). Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. *Resource Conservation and Recycling*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>
- Herzer, E., Osório, D. M., Schreiber, D., & Jahno, V. D. (2019). Educação Ambiental Informal: uma Revisão Sistemática da Literatura Nacional. *Revista Ensino, Educação e Ciência Humana*, 20 (4), 465-474. <https://doi.org/10.17921/2447-8733.2019v20n4p465-475>
- Ibelli-Bianco, C., Guimarães, J. P. S., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2022). Education and training: Key solution to self-management and economic sustainability of waste pickers organizations. *Waste Management & Research*, 40 (10), 1505-1513. <https://doi.org/10.1177/0734242X221080090>
- Joseph, K., Rajendiran, S., Senthilnathan, R., & Rakesh, M. (2012). Integrated approach to solid waste management in Chennai: an Indian metro city. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 14 (2), 75-84. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0046-0>
- 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. *Resource Conservation & Recycling*, 149, 220-235. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027>
- Khan, D., Kumar, A., & Samadder, S.R. (2016). Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. *Waste Management*, 49, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.019>
- Kharat, M. G., Murthy, S., Kamble, S. J., Raut, R. D., Kamble, S. S., & Kharat, M. G. (2019). Fuzzy multi-criteria decision analysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. *Technology in Society*, 57, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.005>
- Kish, L. (1965). *Survey sampling*. New York: John Wiley & Sons.

- Knickmeyer, D. (2020). Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. *Journal Cleaner Production*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118605>
- Kornyshova, E., & Salinesi, C. (2007). MCDM techniques selection approaches: state of the art. *IEEE, Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making*, 22-29. <https://doi.org/10.1109/MCDM.2007.369412>
- Kumar, S., Shard, P., Chandra, A., Kumar, A., & Kalia, S. (2023). A Multimoora-based MCDM model under picture fuzzy environment for converting municipal solid waste to energy in Himalayan Region: A sustainable technology assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103399>.
- Li, C. J., Huang, Y. Y., Harder, M. K. (2017). Incentives for food waste diversion: exploration of a long term successful Chinese city residential scheme. *Journal Cleaner Production*, 156, 491-499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.198>
- Likert, R. (1932). *A Technique for the Measurement of Attitudes*. 22, 140. New York: Archives of Psychology.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*. Addison Wesley Newark: New Jersey Institute of Technology.
- Luis, C., Weins, N. S., & Potinkara, M. (2019). Formalizing the informal? A perspective on informal waste management in the BRICS through the lens of institutional economics. *Waste Management*, 99, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.023>
- Makan, A., & Fadili A. (2020). Sustainability assessment of large-scale composting technologies using PROMETHEE method. *Journal Cleaner Production*. 261, 121244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121244>
- Marques, M. A., & Pinho, A.R. (2016). Metodologia prática e interdisciplinar de educação Ambiental através do gerenciamento de resíduos sólidos na escola. In El-Deir, S. G., de Aguiar, W. J., Pinheiro, S. M. G. (Eds.). *Educação Ambiental na gestão de resíduos sólidos*. 1, (4), 133-147. Recife: EDUFRPE.
- Minayo, M. C. de S. (2014). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. (14). São Paulo: Hucitec Editora.
- Moura, J. M. B., Pinheiro, M. I. G., & Carmo, J. L. (2018). Gravimetric composition of the rejects coming from the segregation process of the municipal recyclable wastes. *Waste Management*, 74, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.011>.
- Muller, M. F., Esmanioto, F., Huber, N., Loures, E. R., Canciglieri Junior, O. (2019). A systematic literature review of interoperability in the green building information modeling lifecycle. *Journal of Cleaner Production*, 223, 397-412. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.114>

Organização das Nações Unidas - ONU. (2015). *A agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, Recuperado em 01 junho de 2022, de <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>

Platts, K. W. (1993). A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, 13 (8), 4-17. <https://doi.org/10.1108/01443579310039533>

Platts, K. W., Mills, J. F.; Bourne, M. C., Neely, A. D., Richards, A. H., & Gregory, M. J. (1998). Testing manufacturing strategy formulation processes. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 517-523. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00134-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00134-5)

Rebehly, P. C. P. W., Costa, A. L., Campello, C. A. G. B., Espinoza, D. De F., Neto, M. J. (2017). Innovative social business of selective waste collection in Brasil: Cleaner production and poverty reduction. *Journal of Cleaner Production*. 154, 462-473. <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2017.03.173>

Ribeiro, J. C. J. (2006). *Indicadores ambientais: avaliando a política de meio ambiente no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: SEMAD.

Roghanian, E., Rahimi, J., Ansari, A. (2010). Comparison of first aggregation and last aggregation in fuzzy group TOPSIS. *Applied Mathematical Modelling*, 34, (12), 3754-3766. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.02.039>

Roza, D. A., Aguiar, G. T., Lima, E. P., Costa, S. E. G., & Adamczuk, G. (2020). Decision Model for Selecting Advanced Technologies for Municipal Solid Waste Management. *International Business, Trade and Institutional Sustainability*, 201-220. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26759-9_12

Saaty, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. (1977). *Journal of Mathematical Psychology*, 15, (3) 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24, 19-43. <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

Saidan, M. N., Drais, A. A., & Al-Manasee, E. (2017). Solid waste composition analysis and recycling evaluation: Zaatari Syrian Refugees Camp, Jordan. *Waste Management*, 61, 58- 66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.026>

Santos, S. M., Silva, M. M., Melo, R. M., Gavazza, S., Florencio, L., & Kato, M. T. (2017). Multi-criteria analysis for municipal solid waste management in a Brazilian metropolitan area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6283-x>

Siman, R. R., Yamane, L. H., Baldam, R. de L., Tackla, J. P., Lessa, S. F. de A., & de Brito, P. M. (2020). Governance tools: Improving the circular economy through the promotion of the economic sustainability of waste picker organizations. *Waste Management*, 105, 148-169. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.040>

Scoullou, M., & Malotidi, V. (2005). *Manuel sur les méthodes utilisées pour l'Education à l'Environnement et l'Education pour le Développement Durable*. Grèce: Athènes.

Sena, L. G., Calixto, L. M., Galavote, T.; Chaves, G. de L. D., & Siman, R. R. (2023). Gestão de resíduos domiciliares: uma análise sistêmica sob a ótica da sustentabilidade financeira de municípios e rendimentos de catadores de materiais recicláveis no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15, e20220212. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220212>

Varndell, W., Fry, M., Lutze, M., & Elliott, D. (2021). Use of the Delphi method to generate guidance in emergency nursing practice: A systematic review. *International Emergency Nursing*, 56, 100867. <https://doi.org/10.1016/j.ienj.2020.100867>

Varotto, A., & Spagnoli, A., (2017). Psychological strategies to promote household recycling. A systematic review with meta-analysis of validated field interventions. *Journal of Environmental Psychology*, 51, 168-188. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.03.011>

Vego, G., Kucar-Dragicević, S., Koprivanac, N. (2008). Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste Management*, 28, (11), 2192-2201. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.10.002>

Vučijak, B., Kurtagić, S., Silajdžić, I. (2016). Multicriteria decision making in selecting best solid Waste Manag. scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal Cleaner Productions*, 130, 166-174, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030>

Vpsolutions (2013). *Visual PROMETHEE 1.4 Manual*. Recuperado em 03 de outubro de 2022, de <https://www.promethee-gaia.net/software.html>

Xu, L., Ling, M., Wu, Y. (2018). Economic incentive and social influence to overcome household waste separation dilemma: A field intervention study. *Waste Management*, 77, 522-531. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.048>

Zon, J. L. N., Leopoldino, C. J., Yamane, L. H., & Siman R. R. (2020). Waste pickers organizations and municipal selective waste collection: Sustainability indicators. *Waste Management*, 118, 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.023>

Editor responsável: Luciene Pimentel da Silva

Recebido: 12-Dec-2023

Aprovado: 12-Feb-2025