



(MODELO PARA LOCALIZAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO BASEADO NO FITRADEOFF) Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis

Elton César dos Santos Silva (UFPE)
elton-ceesar@hotmail.com

Danielle Costa Morais (UFPE)
danielle.cmorais@ufpe.br

Cerca de 40% dos resíduos sólidos coletados no Brasil ainda são dispostos de forma inadequada, situação que causa diversos prejuízos de caráter social, ambiental e econômico para a sociedade. Dez anos se passaram desde a criação da lei que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e um novo marco regulatório foi estabelecido, com novos prazos para os municípios se adequarem. Diante disso, os gestores municipais terão a oportunidade de adequar os seus municípios através da construção de aterros sanitários ou ficarão passíveis de receber multas ou até mesmo responder criminalmente. Com isso, esse trabalho buscou desenvolver um modelo para apoiar o processo decisório de escolha da localização de um aterro sanitário através da utilização do método multicritério FITradeoff. A flexibilidade e interatividade do FITradeoff permitem apoiar o decisor na escolha da melhor alternativa considerando os diversos critérios do problema de decisão, possibilitando uma tomada de decisão estruturada.

Palavras-chave: Apoio à Decisão Multicritério, Fitradeoff, Gestão de Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário.

1. Introdução

Segundo Abrelpe (2020), de 2010 a 2019, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Por sua vez, a geração *per capita* aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano. Há um crescimento na geração de resíduos sólidos ao longo dos anos, entretanto, as políticas de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil não tem acompanhado esse crescimento.

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos coletados, cerca de 60% do total, segue para disposição em aterros sanitários. Por outro lado, a quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas cresceu nos últimos anos, passando de 25 milhões de toneladas por ano (em 2010) para pouco mais de 29 milhões de toneladas atualmente, o que representa em torno de 40% do total de resíduos coletados sendo dispostos de forma inadequada (em lixões ou aterros controlados) (ABRELPE, 2020). Diante disso, a realidade da disposição inadequada ainda está presente em todas as regiões do país, tendo aumentado 16% em relação a 2010.

Lixão é um local onde ocorre a disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com nenhuma ou no máximo algumas medidas bem limitadas de controle das operações e proteção do ambiente do entorno. Segundo ISWA (2016), os lixões representam ameaças significativas para a saúde tanto das pessoas envolvidas em sua operação quanto para aqueles que vivem no entorno. Os recursos hídricos e o ar tornam-se seriamente poluídos e os compostos tóxicos podem percorrer longas distâncias a partir da fonte geradora. Além disso, os lixões são vetores de doenças com propagação de infecções por roedores, aves e insetos.

O fechamento ou a adequação dos lixões são essenciais para controlar os impactos atuais e futuros da gestão de resíduos no meio ambiente e na saúde pública. Atualmente, essa situação impacta diretamente a saúde de 77,65 milhões de brasileiros, e tem um custo ambiental e para tratamento de saúde de cerca de um bilhão de dólares por ano (ABRELPE, 2020).

O novo marco do saneamento básico, recentemente aprovado pelo Congresso Nacional, postergou o prazo para o fim dos lixões estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 (Lei nº 12.305/10), cujo prazo anterior era até 2014 (DE OLIVEIRA, 2020). De acordo com a nova lei, as prefeituras tiveram até 31 de dezembro de 2020 para elaborar o plano de gestão dos resíduos sólidos e garantir o descarte correto do lixo.

Assim, a nova Lei nº 14.026/2020 promoveu alterações específicas no texto da Política Nacional de Resíduos Sólidos, fixando o período máximo de dez anos para revisão dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e estabeleceu que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira (BRASIL, 2020).

Nesses casos, atendidos tais requisitos legais, foram definidos os seguintes prazos para o fim dos lixões: agosto de 2021, para capitais e cidades de regiões metropolitanas; agosto de 2022 para cidades com mais de 100 mil habitantes; 2023 para municípios com população de 50 mil a 100 mil habitantes; e agosto de 2024 é o prazo final, concedido para cidades com menos de 50 mil habitantes (DE OLIVEIRA, 2020). Desse modo, milhares de municípios do país que ainda realizam a disposição inadequada dos seus resíduos sólidos deverão, nos próximos anos, se adequar a nova lei, caso contrário, os gestores municipais desses municípios poderão sofrer a imputação de multas por má conduta no gerenciamento dos resíduos sólidos ou até mesmo responderem criminalmente.

Assim, é de fundamental importância que os gestores municipais, que deverão construir aterros sanitários para realizarem a disposição final dos resíduos sólidos gerados, decidam onde esses aterros serão localizados. A localização de um aterro sanitário se caracteriza como um problema de decisão, pois envolve a avaliação de múltiplos objetivos (critérios) de caráter ambiental, social e econômico, que são geralmente conflitantes.

Diante dessas características, ferramentas de apoio à decisão multicritério apresentam-se como abordagens propícias para dar suporte no processo de análise sistêmica de alternativas em termos de múltiplos objetivos apoiando a tomada de decisão (MARTTUNEM, et al., 2017). Dentre os diversos métodos multicritério existentes o método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*) usa o conceito de elicitación flexível que requer menos esforço do decisor e conseqüentemente pode levar a menos inconsistências durante o processo de elicitación (DE ALMEIDA, 2016).

Com isso, esse trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo para apoiar os gestores municipais na escolha da localização para a construção de aterros sanitários, através da utilização do método multicritério FITradeoff. Para tal, será realizada uma aplicação hipotética com dados numéricos fictícios, a fim de verificar a consistência e aplicabilidade do modelo proposto.

2. Gerenciamento de resíduos sólidos

Nesta seção serão apresentadas as diferenças entre lixões, aterros controlados e aterros sanitários, assim como, serão discutidos alguns aspectos importantes acerca do panorama atual de resíduos sólidos no Brasil.

2.1 Lixões, aterros controlados e aterros sanitários

Os lixões representam ameaças significativas para a saúde tanto das pessoas envolvidas em sua operação quanto para aqueles que vivem no entorno. Os recursos hídricos e o ar tornam-se seriamente poluídos e os compostos tóxicos podem percorrer longas distâncias a partir da fonte geradora (ISWA, 2016). Além disso, os lixões são vetores de doenças com propagação de infecções por roedores, aves e insetos. O fechamento ou a adequação dos lixões são essenciais para controlar os impactos atuais e futuros da gestão de resíduos no meio ambiente e na saúde pública. Ainda segundo ISWA (2016), os problemas técnicos e os desafios dos lixões a céu aberto são diversos, podendo destacar:

- Resíduos espalhados e descobertos sem nenhuma aplicação de cobertura;
- Queima a céu aberto e/ou combustão espontânea dos resíduos;
- Ausência de controle na disposição ou compactação de resíduos;
- Ausência de registro ou inspeção dos resíduos recebidos;
- Presença de catadores na frente de trabalho do lixão;
- Presença de vermes, cachorros, aves e outros vetores;
- Ausência de sistema de captação e tratamento de chorume;
- Ausência de controle de odores ou sistema de gestão dos gases gerados;

Um lixão a céu aberto não tem relação alguma com um aterro sanitário. Este último constitui um método aceitável e adequado de destinação dos resíduos com emissões controladas e impactos limitados a saúde e ao meio ambiente, enquanto os lixões são exatamente o contrário (ABRELPE, 2015). Entre o lixão e o aterro sanitário, situa-se uma forma de disposição intermediária denominada “aterro controlado”, com níveis diversos de engenharia e controle ambiental, os quais variam conforme a região. Algumas diferenças entre lixões, aterros controlados e aterros sanitários serão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Diferenças entre lixões, aterros controlados e aterros sanitários

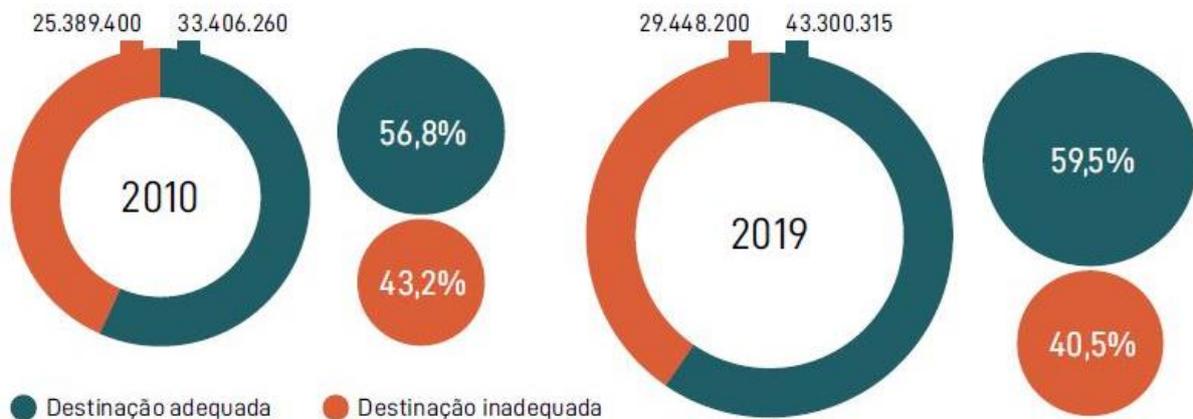
Critérios	Lixão	Aterro controlado	Aterro sanitário
Local da instalação	Não planejado ou impróprio	Condições hidroecológicas as vezes consideradas	Escolhido com base em fatores ambientais, comunitários e de custo
Capacidade	Desconhecida	Planejada	Planejada
Preparação de células para descarte de resíduos específicos	Não há preparação de células O lixo é disposto indiscriminadamente A área de trabalho não é controlada	Não há preparação de células, mas a área de trabalho é reduzida A disposição se dá apenas em áreas designadas	Desenvolvimento de células individuais A área de trabalho está confinada na menor área prática A disposição se dá apenas em áreas designadas
Preparação do local	Pouca ou nenhuma	Terraplanagem da base da área de disposição Drenagem e controle das águas de superfície na periferia do local	Preparação extensiva do local
Gestão do chorume	Não há	Não há ou parcial	Total
Gestão de gases	Não há	Parcial ou nenhuma	Total
Aplicação de cobertura de solo	Cobertura ocasional ou nenhuma	Implementação de cobertura regular	Aplicação diária de camadas intermediárias e finais
Compactação dos resíduos	Não há	Compactação em alguns casos	Há compactação dos resíduos
Entradas de resíduos	Não há controle sobre a quantidade e/ou a composição dos resíduos que chegam	Controle parcial ou nenhum	Controle total sobre a quantidade e/ou a composição dos resíduos que chegam
Impactos sobre a saúde e o meio ambiente	Grande potencial de incêndios e efeitos adversos sobre a saúde e o meio ambiente	Menor risco de impactos à saúde e ambientais se comparado aos lixões	Risco mínimo de impactos adversos sobre a saúde e ao meio ambiente

Fonte: Adaptado Abrelpe (2015)

2.2 Panorama dos resíduos sólidos no Brasil

A disposição final é uma das alternativas de destinação final ambientalmente adequada previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), desde que observadas as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (ABRELPE, 2020). Apesar de ter ocorrido um avanço na última década em relação ao percentual de resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos adequadamente, a situação ainda está longe do ideal, onde cerca de 40% dos RSU coletados no país ainda são dispostos de forma irregular, em lixões ou aterros controlados, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Disposição final adequada x disposição inadequada de RSU no Brasil



Fonte: Abrelpe (2020)

Encerrar um lixão não é uma tarefa simples. O fechamento de um lixão requer um sistema alternativo de gestão de resíduos com planejamento adequado, capacidade institucional e administrativa, recursos financeiros, apoio social e, finalmente, consenso político (ISWA, 2016). Entretanto, com o novo marco do saneamento básico e o estabelecimento de novos prazos para que os municípios possam se adequar, os gestores municipais deverão necessariamente construir aterros sanitários nos próximos anos, para realizar a disposição final dos resíduos sólidos gerados.

3. Método FITradeoff

Uma das maiores dificuldades no uso de modelos de apoio a decisão envolvendo múltiplos critérios envolve a obtenção de parâmetros necessários a avaliação inter-critério dos métodos multicritério. A fase de avaliação inter-critério que considera a combinação dos diferentes critérios pode ser considerada uma das mais difíceis para os decisores quanto ao uso de um método multicritério (DE ALMEIDA, 2013).

O método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*) usa o conceito de elicitação flexível para melhorar a aplicabilidade do procedimento de elicitação *tradeoff* tradicional. O FITradeoff oferece dois benefícios principais: a informação exigida do decisor é reduzida e o decisor não precisa fazer ajustes para a indiferença entre duas consequências (*trade-off*), o que é uma questão crítica no procedimento de *tradeoff* tradicional. Além disso, é mais fácil para o decisor fazer comparações de consequências (ou resultados) com base na preferência estrita do que na indiferença (DE ALMEIDA et al., 2016).

A flexibilidade desse método consiste em avaliar sistematicamente a possibilidade de se encontrar uma solução para o problema durante o processo de elicitação. Isso significa que o procedimento de elicitação pode terminar assim que for encontrada uma solução com as informações parciais obtidas durante este processo. Esta informação parcial é baseada em relações de preferência (P) para encontrar uma solução, que na maioria dos casos pode ser alcançada usando esta informação parcial obtida do decisor até aquele ponto, que é então aplicada para resolver um problema de programação linear (PPL) (DE ALMEIDA et al., 2016).

Assim, a vantagem uso do processo de elicitação flexível é que ele requer menos esforço do decisor e, conseqüentemente, pode levar a menos inconsistências durante o processo de elicitação. Uma vez que se assume que, como o decisor deve fazer menos esforço, espera-se que isso leve a menos erros nos processos de elicitação de preferências.

4. Modelo proposto

O modelo proposto para a escolha da localização de um aterro sanitário é apreentado por meio de uma aplicação hipotética com dados numéricos fictícios. Embora os números e outros aspectos sejam fictícios, eles foram convenientemente avaliados com intuito de representar um contexto realista e consistente. Por fim, será realizada uma análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo em relação aos parâmetros estabelecidos.

Inicialmente, foram avaliados os objetivos do problema referentes à construção do aterro sanitário e foram identificados objetivos de natureza ambiental e socioeconômica, são eles:

Objetivos de natureza ambiental: buscam reduzir o impacto ambiental causado pela construção do aterro e facilitar a sua utilização.

- o aterro sanitário deve ser construído a certa distância de áreas de conservação ambiental que venham a existir no município;
- o aterro deve ser distante o suficiente de regiões que possuam recursos hídricos reduzindo a possibilidade de contaminação dos corpos d'água e rede de drenagem da cidade;
- o terreno onde o aterro será construído deve ser o mais plano possível, pois o tipo do relevo da área do aterro deve ser favorável para a terraplanagem e estabilidade do material consolidado.

Objetivos de natureza socioeconômica: buscam reduzir o impacto na sociedade e os custos associados ao funcionamento do aterro sanitário.

- o aterro deve ser o mais próximo possível de estradas para que possa facilitar o fluxo do transporte dos resíduos sólidos e reduzir custos de transporte;
- o aterro precisa ser distante o suficiente de áreas urbanas para proteger a população de qualquer malefício decorrente do funcionamento do mesmo;
- espera-se que a área disponível para a construção do aterro seja a maior possível, uma vez que a vida útil do aterro é diretamente proporcional a sua dimensão.

Para cada objetivo identificado, serão construídos critérios ou atributos que os representem no processo de modelagem quantitativa. Para o problema de decisão multicritério em questão, os critérios levantados e associados a cada objetivo, na mesma sequência, são apresentados na Tabela 1, a seguir, junto com algumas de suas características. Vale ressaltar ainda que todos os critérios do problema são classificados como naturais, ou seja, podem ser medidos, portanto possuem escalas de avaliação do tipo numérica (razão), bem definidas.

Tabela 1 – Critérios do problema

Critério	Símbolo	Valores restritivos	Direção de preferência	Unidade
Distância de unidades de conservação	C_1	Abaixo de 200 m	↑ Maximizar	Metro
Distância de recursos hídricos	C_2	Abaixo de 200 m	↑ Maximizar	Metro
Declividade	C_3	Abaixo de 1% e acima de 30%	↓ Minimizar	Porcentagem
Proximidade às estradas	C_4	-	↓ Minimizar	Metro
Distância de núcleos urbanos	C_5	Abaixo de 500 m	↑ Maximizar	Metro
Tamanho do aterro	C_6	Acima de 20.000 m ²	↑ Maximizar	Metro

Fonte: Os autores (2021)

O espaço de ações é formado por um conjunto discreto de alternativas composto por opções de diferentes áreas potenciais para a construção do aterro sanitário, áreas estas que estariam dispostas ao longo do território do município onde o aterro será supostamente construído.

Cada alternativa será avaliada em função das suas consequências. A matriz de consequências, apresentada na Tabela 2, apresenta o conjunto de alternativas e seus respectivos desempenhos nos critérios estabelecidos.

Tabela 2 – Matriz de consequências do problema

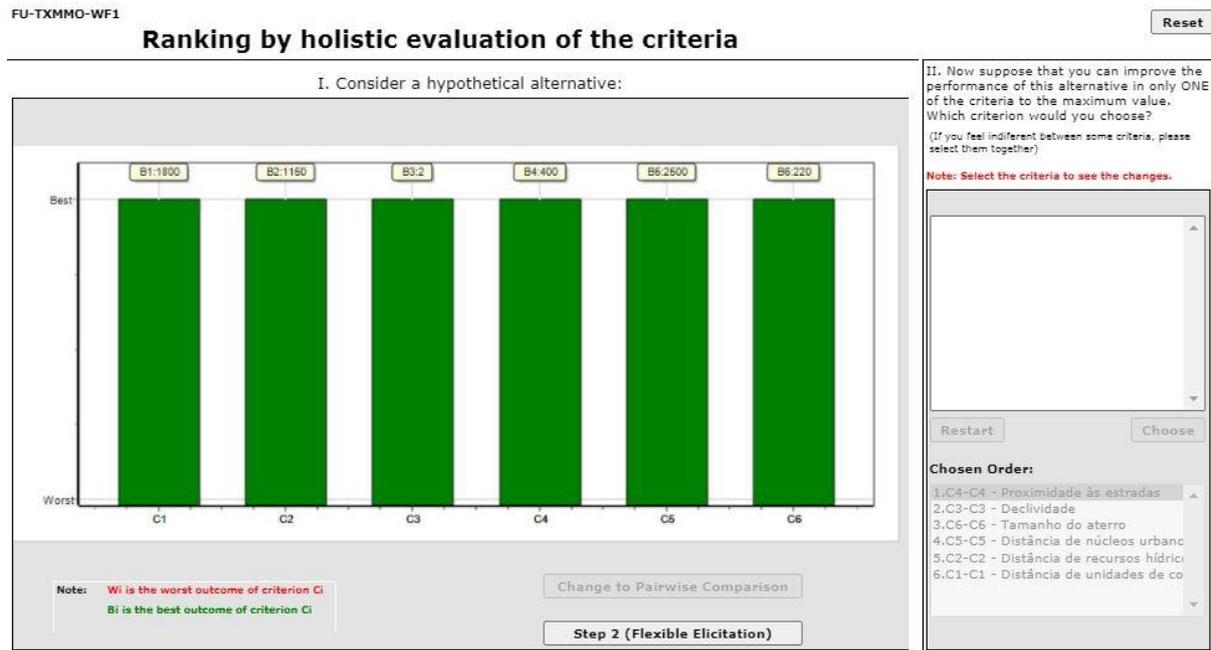
Alternativas	Critérios					
	Distância de unidades de conservação (mts)	Distância de recursos hídricos (mts)	Declividade (%)	Proximidade às estradas (mts)	Distância de núcleos urbanos (mts)	Tamanho do aterro (mil/m ²)
Alternativa 1	1800	300	2	1080	750	135
Alternativa 2	350	500	16	1500	2120	220
Alternativa 3	400	1000	3	2000	2500	188
Alternativa 4	1250	800	12	700	800	97
Alternativa 5	780	1150	5	400	600	165

Fonte: Os autores (2021)

No método FITradeoff a etapa de avaliação inter-critério é realizada a fim de obter informações junto ao decisor, o que inclui o processo de elicitación de preferências. Inicialmente, é realizado o procedimento de avaliação holística dos critérios, onde são mostradas situações hipotéticas para o decisor, para que frente a elas, ele possa escolher qual consequência prefere.

Assim, supondo que o decisor pudesse melhorar a performance de uma alternativa em apenas um critério para seu valor máximo, sendo que todos os outros terão valor mínimo logo, faz-se o questionamento: “Qual consequência você escolheria?”. Este procedimento possibilita a ordenação das constantes de escala de todos os critérios e será realizado até que seja gerado um *ranking*, que dará sequência a obtenção dos valores das constantes de escala. A ordem de preferência estabelecida pelo decisor no processo de avaliação holística foi: $K_4 > K_3 > K_6 > K_5 > K_2 > K_1$, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – *Ranking* das constantes de escala por avaliação holística

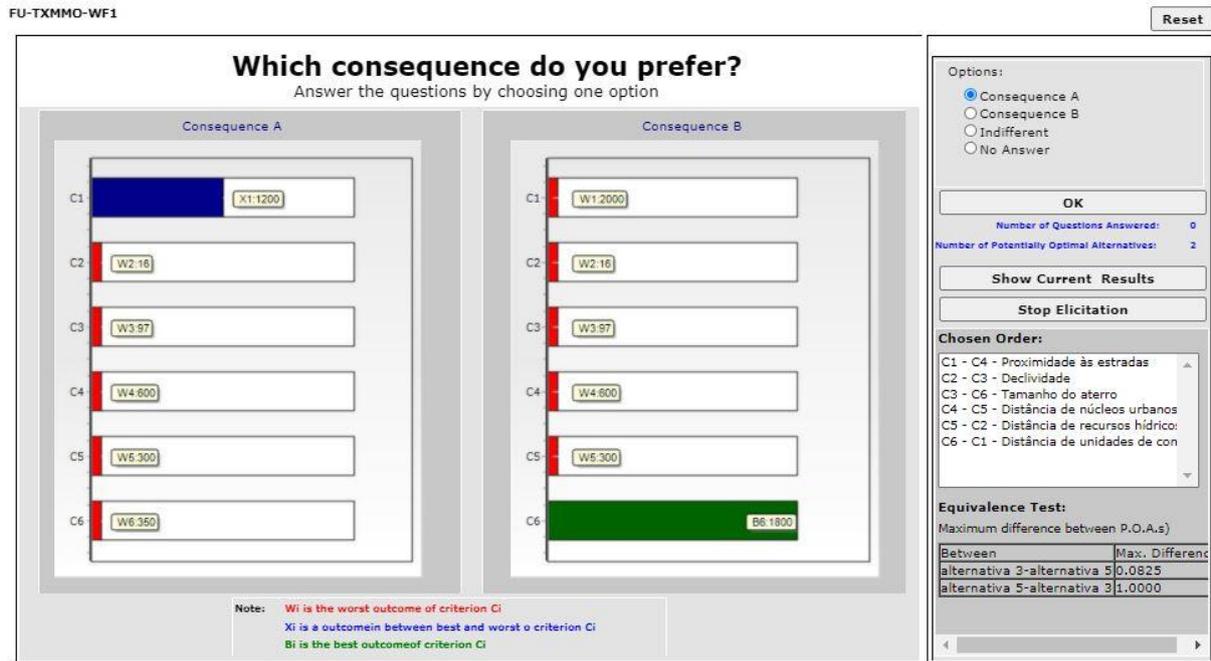


Fonte: Os autores (2021)

Em seguida, é realizada a elicitación flexível das constantes de escala, na qual duas consequências hipotéticas são apresentadas ao decisor. Na primeira, uma consequência intermediária exibida a um critério (para o qual o peso associado aparece mais bem posicionada no *ranking*) e a pior consequência para todos os demais. Na segunda, apresenta-se a melhor consequência para um critério subsequente e o pior desempenho para os demais (Figura 3).

Pergunta-se qual consequência o decisor prefere dentre as opções apresentadas, onde o mesmo poderá responder entre “consequência A”, “consequência B” ou “indiferença”. As preferências informadas serão utilizadas para a construção e resolução de um problema de programação linear, possibilitando o estabelecimento de relações entre alternativas com base nas informações parciais obtidas a cada pergunta.

Figura 3 – Elicitação das constantes de escala



Fonte: Os autores (2021)

No processo de elicitação, à medida que o decisor expõe suas preferências, o problema é atualizado, de modo que alguma alternativa pode ser eliminada. Dessa maneira, após o processo de avaliação holística, já na fase de elicitação flexível, duas alternativas foram identificadas como potenciais ótimas (alternativas 3 e 5). Após o decisor responder algumas perguntas o modelo apresentou uma solução para o problema.

O resultado fornecido pelo FITradeoff sugere a escolha da alternativa 5 como melhor opção de localização para construção do aterro sanitário, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Solução recomendada pelo FITradeoff

Tabular Visualization				
Alternatives	C4 - Proximidade às estradas	C3 - Declividade	C6 - Tamanho do aterro	C5 - Distância de núcleos
alternativa 5	400	5	165	600

Confirm

 A Solution has been found.

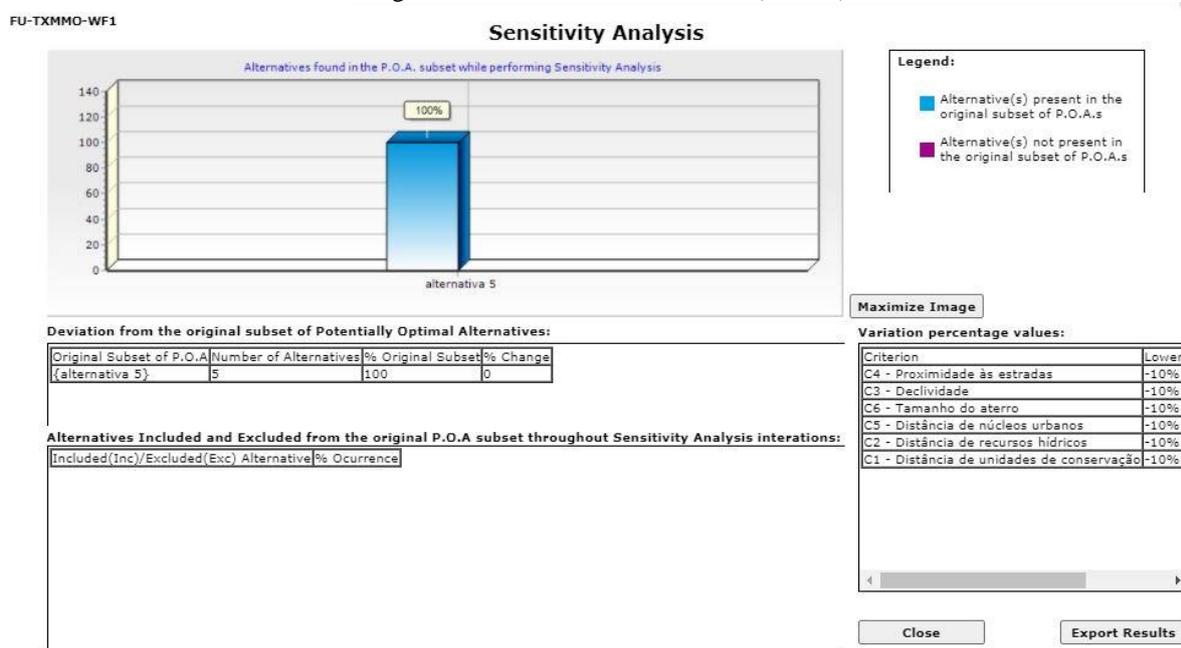
Fonte: Os autores (2021)

4.1 Análise de sensibilidade

Após a avaliação das alternativas, e obtenção de solução recomendada pelo método, foi realizada uma análise de sensibilidade que consiste em um estudo para verificar a robustez do modelo em relação aos dados de entrada dos parâmetros empregados.

Esta etapa também foi realizada pelo próprio *software* disponível do FITradeoff, onde os parâmetros foram inicialmente variados em $\pm 10\%$. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 5, a seguir.

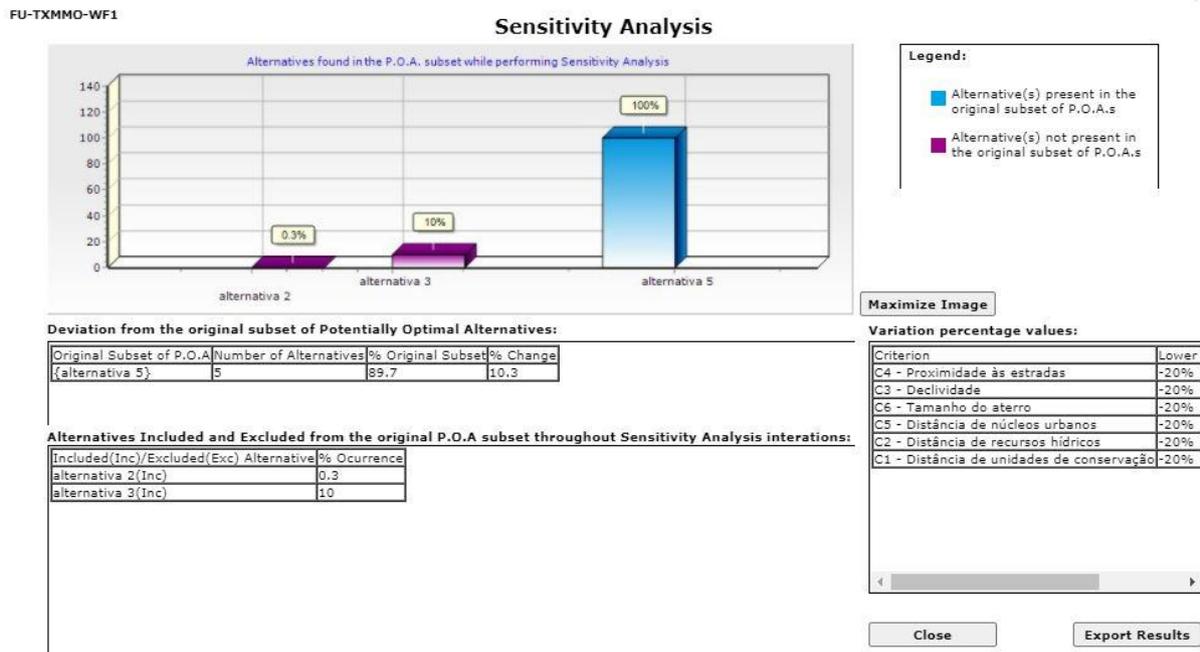
Figura 5 – Análise de sensibilidade ($\pm 10\%$)



Fonte: Os autores (2021)

Percebe-se que após a alteração nos parâmetros a alternativa 5 permanece como única solução para o problema, apresentando assim um resultado satisfatório. Ainda sim, foi realizada mais uma análise de sensibilidade dessa vez variando os valores para todos os critérios em $\pm 20\%$. O resultado pode ser verificado na Figura 6.

Figura 6 – Análise de sensibilidade ($\pm 20\%$)



Fonte: Os autores (2021)

Após a segunda alteração percebe-se que a alternativa 5 permanece como solução para o problema em questão. Apesar de as alternativas 2 e 3 terem surgido, essas variações entretanto, apresentam percentuais baixos e não comprometem a robustez do modelo. Podendo-se concluir assim, após a realização da análise de sensibilidade que o modelo é robusto para a análise aqui realizada.

Deste modo, o decisor, com base nos resultados apresentados pelo problema de decisão multicritério aqui estudado, deve implantar a sua decisão, ou seja, escolher a localização para o aterro que possibilite os maiores ganhos diante dos objetivos estabelecidos no problema, que nesse caso, de acordo com o modelo desenvolvido, seria a escolha da localização referente à alternativa 5.

5. Conclusões

Esse trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo para apoiar um gestor municipal de um município hipotético na escolha da localização de um aterro sanitário através da utilização do método multicritério FITradeoff. A aplicação numérica se deu com a definição de dados numéricos fictícios, porém, convenientemente avaliados com o intuito de representar um contexto realista a fim de avaliar a consistência do modelo. Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo através da variação dos parâmetros de

entrada em 10% e 20%, e conclui-se que o modelo se apresentou robusto para a análise realizada, tendo como solução recomendada a alternativa 5.

O modelo proposto nesse trabalho apresenta sua relevância por poder contribuir com o apoio a tomada de decisão no contexto do gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil. Diante do foi discutido, muitos municípios de todas as regiões do país precisarão se adequar a Lei n° 14.026/2020, que estabelece o prazo limite para o fim dos lixões, pressionando esses municípios a realizarem a correta disposição final dos seus resíduos sólidos. Assim, o modelo aqui apresentado poderá apoiar esses gestores na escolha da localização dos aterros que serão construídos nos próximos anos.

O trabalho tem como limitação de estudo o fato de utilizar dados numéricos fictícios em uma situação hipotética, apesar de esse ser um problema de decisão real, que é bastante recorrente no Brasil. Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação desse modelo em um estudo de caso real, obtendo os dados numéricos através de uma análise técnica que possibilite uma aplicação ainda mais realista.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ). Os autores agradecem também a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. (2015). Saúde Desperdiçada – O Caso dos Lixões. Acesso em: 12 de maio de 2021.

_____. (2020). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Acesso em: 15 de maio de 2021.

Brasil. Presidência da República. Lei n° 14.026, de 15 de julho de 2020. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

DE ALMEIDA, A.T. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. 1° Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, 250(1): 179-191, 2016.

DE OLIVEIRA, KAYNÃ. Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios, *Jornal da USP*, São Paulo, 14 de agosto de 2020. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromisso-dos-municipios/>>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

Internacional Solid Waste Association – ISWA . (2016). A Roadmap for closing Waste Dumpsites - The World’s most Polluted Places. Acesso em: 18 de abril de 2021.

MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V. Structuring problems for multi-criteria decision analysis in practice: a literature review of method combinations. **European Journal of Operational Research**. v. 263, Issue 1, Novembro de 2017, p1-17.