

SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS CONSORCIADOS UTILIZANDO ANÁLISE MULTICRITÉRIO: REVISÃO SISTEMÁTICA

Denise Pontes Duarte, UFMT, ddduartecol@gmail.com

Resumo: As abordagens multicritérios se constituem de processos de decisão que auxiliam na escolha de um local adequado para aterro sanitário ou para a identificação de um arranjo ótimo, de forma consorciada. A intenção deste artigo é analisar a aplicabilidade do método multicritérios, identificando e descrevendo os fatores adotados em experiências semelhantes e possíveis de serem utilizados em um consórcio de resíduos para que os municípios de pequeno porte possam melhorar o panorama atual e alavancar a gestão integrada dos resíduos sólidos. A metodologia consistiu de revisão sistemática de literatura, realizada em base de dados eletrônica, por busca específica por assuntos e descritores. A seleção dos artigos teve como critérios de inclusão: artigos produzidos nos últimos dez anos, constando no título: regiões, intermunicipais, metropolitanas. Trabalhou-se com a tradução em inglês para o termo “análise multicritério para aterros sanitários”. Foram gerados quinze artigos que após nova seleção foram reduzidos a seis, identificando aqueles que trabalharam com a seleção de fatores dentro dos critérios de decisão: ambiental, social e econômico.

Palavras-chave: Modelo de apoio à decisão. Gestão de Resíduos Sólidos. Fatores.

AREAS FOR SELECTION LANDFILLS INTERCROPPING ANALYSIS USING MULTICRITERIA: SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: The advanced approaches are decision processes that help to select a suitable site for landfill or to the identification of an optimal arrangement of syndicated form. The intent of this article is to analyze the applicability of advanced method identifies and describes the factors adopted in similar and able to be used in a waste consortium experiences so that small municipalities can improve the current situation and leverage the integrated waste management solids. The methodology consisted of a systematic review of literature was carried out in an electronic database, query by specific subjects and keywords. The selection of articles had as inclusion criteria for articles produced in the last ten years, consisting in the title: regions, intercity, metropolitan. Worked with the English translation for the term "multi-criteria analysis for landfill." Were generated fifteen articles after new selection were reduced to six, identifying those who worked with the selection factors in the decision criteria: environmental, social and economic.

Keywords: Decision support model. Solid Waste Management. Factors.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades gera novos padrões de consumo que influenciam diretamente na quantidade de resíduos sólidos gerados, os quais vêm aumentando para níveis complexos e dispendiosos de gerenciar. Essa situação é agravada nas pequenas cidades nos países em desenvolvimento, que não têm a capacidade de gestão para lidar com o crescente volume e características diferenciadas dos resíduos sólidos gerados causando graves problemas para o meio ambiente e para a saúde pública, quando dispostos no solo sem nenhum controle.

A Lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), trata como disposição final ambientalmente adequada a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.” Estes deveriam ser implantados, pelos municípios, em até quatro anos após a data de publicação da referida lei.

A seleção adequada de áreas para aterros sanitários gera resultados econômicos positivos e minimiza os riscos para a saúde e o meio ambiente, embora a decisão pela

implantação dessas áreas vem sendo fortemente influenciada por aspectos políticos, condições socioculturais e limitação de recursos financeiros.

A escolha de um local adequado requer a avaliação de diversos critérios e alternativas que identifiquem a localização ótima disponível, atendendo exigências ambientais e construtivas, minimizando os custos econômicos e os impactos negativos sobre o meio socioambiental.

As abordagens multicritérios se constituem em formas de modelar os processos de decisão da escolha desses locais, fornecendo subsídios para alcançar uma solução que melhor se ajuste às necessidades. O desafio é identificar os critérios relevantes e que possam representar condições possíveis para serem quantificados.

Portanto, este artigo teve por objetivo geral analisar a aplicabilidade do método multicritérios para a realidade de consórcio de resíduos. Como objetivos específicos apresentam-se (a) identificar subcritérios adotados em experiências semelhantes, com base em pesquisas e (b) descrever os fatores adotados nas técnicas multicritério aplicadas ao processo de seleção e escolha de áreas para implantação de aterros sanitários.

A relevância deste trabalho encontra-se na discussão de abordagens multicritérios que auxiliem na decisão de arranjo ótimo, de forma consorciada, para que municípios de pequeno porte possam melhorar o panorama atual e alavancar a gestão integrada dos resíduos sólidos.

2. MÉTODOS

O método utilizado consistiu de pesquisa bibliográfica estruturada na forma de revisão sistemática de literatura. Kitchenham e Charters (2007) definem “revisão sistemática da literatura” como um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa específica, ou área temática, ou fenômeno de interesse.

A busca eletrônica foi conduzida nas bases de dados Science Direct, Redalyc, Springer e Scielo. Foram utilizados os seguintes descritores: “análise multicritério”, “aterros sanitários”, “resíduos sólidos”, “multicriteria analysis”, “solid waste” e “landfills”. A seleção dos artigos teve como critérios de inclusão: artigos produzidos nos últimos dez anos, que constassem no texto os seguintes termos: regiões, intermunicipais, metropolitanas, regions, intermunicipal, metropolitans.

Especificamente na base de dados Science Direct foi aplicado filtro em relação aos seguintes temas: "gestão de resíduos, resíduos sólidos, de apoio à decisão, análise de decisão, aterro sanitário, cenário, estação de transferência, fluxo de resíduos".

Para as publicações que preenchiam os critérios de inclusão ou que não permitiam se ter a certeza de que deveriam ser excluídas, procedeu-se à leitura dos resumos, sendo selecionado apenas aqueles que continham abordagem de uma área de estudo composta por vários municípios, com a finalidade de se aproximar à configuração de consórcios intermunicipais.

Um quadro inicial de identificação foi preenchido com informações de identificação dos artigos incluídos na revisão, a saber: título do artigo, autores, ano de publicação, região e número de municípios abrangidos no estudo.

Uma segunda seleção foi aplicada, destacando dos artigos selecionados, as informações acerca de:

- a) Método: buscou-se identificar o método utilizado pelos autores para

determinação de escolha de área para aterros sanitários;

b) Critérios: buscou-se identificar os subcritérios adotados pelos autores inseridos nos critérios ambiental, econômico e social.

A partir deste refinamento em relação ao tema de interesse, foram identificados seis artigos, os quais foram detalhados em seus objetivos, metodologia e definição dos fatores adotados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se combinar os descritores no critério de busca e aplicando-se o filtro para publicações de 2005 a 2014, foram identificados inicialmente 131 artigos, sendo 99 no Science Direct, 4 no Springer, 7 no Redalyc e 21 no Scielo, dos quais são apresentados no Quadro 1, os 15 estudos selecionados após aplicados os procedimentos de seleção anteriormente descritos.

Quadro 1 – Estudos multicritérios sobre escolha de áreas para aterros sanitários, segundo ano de publicação e local do estudo. Período 2005-2014

Artigo	Título	Autores	Ano de public.	Local
1	Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills	Alexandra Gemitzi, Vassilios A. Tsihrintzis, Evangelos Voudrias, Christos Petalas, George Stravodimos	2007	Nordeste de Grécia
2	A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece	Erhan Erkut, Avraam Karagiannidis, George Perkoulidis, Stevanus A. Tjandra	2006	Região central da Macedônia
3	Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape – SP	Maria Lúcia Calijuri; Samuel Santana Paes Loures; Aníbal da Fonseca Santiago; Carlos Ernesto G. R. Schaefer; Wilson Gandini Lugão; José Ernesto Mattos Alves	2007	Baixo Ribeira de Iguape, SP
4	Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia	Goran Vego, Savka Kuc̃ar-Dragic̃evic, Natalija Koprivanac	2007	Região da Dalmácia, Croácia
5	Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS - based methodology	Montserrat Zamorano, Emilio Molerob, Alvaro Hurtado, Alejandro Grindlay, Angel Ramos	2008	Granada, Espanha
6	Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites	Davide Geneletti	2009	Norte da Itália
7	Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste	Mehmet Ekmekçioğ Lu, Tolga Kaya, Cengiz Kahraman	2010	Istambul, Turquia
8	Combining AHP with GIS for landfill site selection: Acase study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey)	Sehnaž Sener, Erhan Sener, Bilgehan Nas, Remzi Karagüzel	2010	Sudoeste da Turquia
9	Metodología para la localización de un parque de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de tipo regional desde una perspectiva multidimensional	Diana Elizabeth Valencia Londoño, Carolina Arias Muñoz, Enrique Vanegas Ospino	2010	Antioquia, Colombia
10	Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares	Ana Lúcia Marchezetti, Eloy Kaviski, Maria Cristina Borge Braga	2011	R.M. de Curitiba

11	An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setubal Peninsula, Portugal	Ana Pires, Ni-Bin Chang, Graça Martinho	2011	Península de Setúbal, Portugal
12	Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average	Pece V. Gorsevski, Katerina R. Donevska, Cvetko D. Mitrovski, Joseph P. Frizado	2012	Região Polog , Macedônia
13	Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multicriteria evaluation	Hala A. Effat, Mohamed N. Hegazy	2012	Norte do Egito
14	A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid waste	H.A. Eiselt, Vladimir Marianov	2013	Sul do Chile
15	Site selection in waste management by the VIKOR method using linguistic assessment	Hu-Chen Liu, Jian-Xin You, Xiao-Jun Fan, Yi-Zeng Chen	2014	Istambul, Turquia

Após a leitura das 15 publicações, foram selecionados 6 que trabalharam com a seleção de fatores dentro dos critérios de decisão ambiental, social e econômico. A seguir, faz-se uma breve descrição desses 6 artigos selecionados.

Gemitzi et al. (2007) estudaram a interação entre os métodos AHP, lógica fuzzy e OWA em ambiente SIG, para a determinação de local apto para a implantação de aterros sanitários no nordeste da Grécia. O procedimento analisou restrições e fatores através da sobreposição e índice de adequação envolvendo dezoito critérios, distinguidos em três grupos principais. O primeiro grupo incluiu critérios restritivos que limitavam a análise a áreas geográficas específicas. O segundo grupo compreendeu fatores relevantes para os parâmetros ambientais, enquanto o terceiro grupo compreendeu os fatores relevantes para parâmetros socioeconômicos. Os critérios foram selecionados com base na literatura internacional e foram adaptados conforme a legislação em vigor na região.

Segundo os autores, o estudo foi capaz de propor uma metodologia de implantação, pois a decisão pela área, na maioria das vezes, é definida pela opinião pública e custos políticos. Ressaltam que a metodologia delineada pode ser útil para futura gestão de resíduos sólidos urbanos (GEMITZI et al., 2007).

Vego et al. (2008) propuseram um modelo para identificar a melhor combinação para gestão de resíduos sólidos urbanos, na região da Dalmácia, composta de quatro municípios e com população de 861.482 habitantes. A área tem como característica a formação de aquíferos cársticos, considerados mais vulneráveis à contaminação do que aquíferos normais. Somado a isto, todo o abastecimento de água é oriundo de lençol subterrâneo. Segundo os autores, a gestão de resíduos é um problema devido ao baixo percentual da população atendida pelos aterros em muitos locais diferentes: são 55 aterros, dos quais 49 estavam ativos e, somente 16, atendiam às exigências legais.

O modelo escolhido, por estes autores para apoio multicritério de decisão, utilizou o software PROMETHEE-GAIA cujas características destacadas foram a clareza e simplicidade. O cenário de partida para o estudo foi a construção de um único centro de gestão de resíduos para todos os municípios. Para os cenários intermediários, a região foi dividida em possíveis zonas de cooperação entre municípios adjacentes. No caso do cenário centralizado, os resíduos deveriam ser tratados em uma única estação de tratamento, localizada na região central. Todas as alternativas consideradas estiveram em conformidade com a legislação sobre o assunto.

Foi identificado um conjunto de critérios de avaliação, que no caso ambiental, estavam

relacionados com a distância e localização; no caso econômico, relacionavam custo inicial e custo de operação; no caso social, impactos relacionados com a localização e, no caso funcional, relação entre viabilidade geral e recursos existentes. Para alguns critérios foram estabelecidos valores quantitativos e, para outros, qualitativos.

A partir de entrevistas foram desenvolvidos cinco cenários para simulação. O primeiro (caso de referência) considerou que todos os critérios têm a mesma importância e foram atribuídos pesos iguais para todos eles. O segundo cenário enfatizou os critérios ambientais. O terceiro cenário destacou os critérios econômicos e o quarto cenário priorizou o critério social. O último cenário deu preferência aos critérios funcionais. Como resultado, obteve-se que as alternativas com menor número de centros de gestão tornaram-se preferíveis e a abordagem de vários fatores destacou o benefício da cooperação intermunicipal.

No procedimento metodológico adotado por Sener et al. (2010), para determinar o aterro mais apropriado para a região do Lago Beys, no sudoeste da Turquia, com área de influência de 37 municípios e 22 aldeias, os autores estimaram a quantidade de resíduos a ser gerada em um horizonte de 20 anos e a área mínima necessária para disposição dos mesmos. Inicialmente, foram selecionados nove critérios de avaliação, divididos em dois principais grupos: ambientais e econômicos. Utilizando-se a técnica clássica Analytic Hierarchy Process (AHP) extraíram-se áreas restritas montando a matriz de comparação de pares e, assim, gerando uma matriz síntese. Após essa etapa, utilizou-se no ambiente SIG, os nove mapas (ou camadas) gerados, identificando o índice de adequação do aterro em quatro classes: alta, moderada, baixa e muito baixa.

De acordo com critérios selecionados, a técnica AHP identificou que o peso dos critérios econômicos foi menor que o peso dos critérios ambientais, sendo 0,25 e 0,75 respectivamente, para a região estudada. Os autores descrevem como foi a feita à seleção dos critérios avaliados. No grupo ambiental, os critérios das distâncias de assentamentos, de águas superficiais e de áreas protegidas foram definidos com base nos regulamentos legais existentes, criando, assim, zonas tampão com as distâncias mínimas permitidas. Cada zona tampão foi ponderada pelo AHP. Os critérios referentes à geologia/hidrologia, uso da terra e direção dos ventos foram trabalhados a partir de mapas e informações de órgãos oficiais.

No grupo econômico, o critério de distâncias das rodovias levou em consideração o regulamento de resíduos sólidos, criando, assim, zonas de amortecimento em torno de todas as estradas. As distâncias mais próximas receberam notas mais altas. Os critérios de inclinação e altura basearam-se em literatura técnica, permitindo atribuir valor de acordo com a declividade e altitude.

Os resultados obtidos indicaram que apenas 3,24% da área de estudo tem aptidão alta para um aterro sanitário, isto porque o Lago Beys está cercado de parques nacionais. Segundo Sener et al. (2010), a seleção dos critérios foi a etapa mais importante, pois levou em consideração, as características da região a ser estudada, os regulamentos existentes e a literatura sobre o assunto.

Londono et al. (2010) trabalharam com uma metodologia para a determinação de áreas potenciais para a implantação de projetos regionais de gestão de resíduos sólidos, analisando critérios econômicos, sociais e ambientais, com base em componentes abióticos, bióticos e socioeconômicos, para a região da Antioquia, na Colômbia, com 23 tipos de aterros em funcionamento, alguns com vida útil em fase de esgotamento e um em modelo consorciado que apresentava alto custo de transporte e disposição.

O procedimento metodológico adotado por estes autores considerou duas rotas de análise. A primeira, que adotou os instrumentos legais em vigor para a localização de áreas

para aterros, usando a classificação de área como boa, ruim e média. As áreas consideradas boas, após essa primeira seleção, foram avaliadas por outras variáveis que não estavam incluídas na legislação local, permitindo, assim, uma escolha mais restritiva, representando esta a segunda rota, que procurava reduzir os impactos e custos e estabelecer medidas de compensação. As variáveis adotadas foram denominadas de moderadoras com pesos atribuídos por uma equipe técnica. As dimensões (ou critérios) foram: socioculturais, ambientais e econômicos.

Os fatores (ou elementos) para os critérios socioculturais foram: modificação na dinâmica de produção, proximidade de assentamentos, deslocamento populacional gerado pela localização do Parque de Tratamento de Resíduos Sólidos, padrões alterados e identidade cultural (turismo, patrimônio). Na dimensão ambiental, os fatores adotados foram: potencial de impacto sobre os recursos hídricos, potencial de impacto sobre a paisagem, potencial de envolvimento de odores ofensivos, a deficiência visual e a potencialidade de exalar odor e o número de rotas de transporte para o local de disposição. Os fatores da dimensão econômica foram custo de transporte de resíduos sólidos, valor da terra, custo do local e adequação e relação custo/benefício.

Como resultado, os autores identificaram que tratar os resíduos de forma regional é mais viável, sendo necessário integrar as populações vizinhas com a implementação de planos de gestão social e ambiental (LONDONO et al., 2010).

Gorsevski et al. (2012) descrevem que, na Macedônia, o uso de aterros inadequados e despejo a céu aberto é uma das principais preocupações ambientais, embora a instalação de aterros sanitários tenha sido rejeitada, por oposição pública e disputas políticas. Portanto, a seleção de áreas para aterro é “impulsionada por muitas questões tais como disponibilidade de terra, diversas regulamentações estaduais e regionais, aumento da produção de resíduos e falta de informação passada à população”. Somado a isto, as normas técnicas exigem as melhores estratégias de gestão, que minimizem os impactos para a saúde pública e meio ambiente.

Diversos métodos e técnicas têm sido utilizados para avaliar locais para implantação de aterros sanitários adequados, e os autores propõem a abordagem da Média Ponderada Ordenada (OWA) para demonstrar a flexibilidade desta e gerar diferentes mapas de solução e cenários preditivos. Esta técnica foi aplicada no noroeste da Macedônia, que compreende uma população de 300 mil habitantes distribuídos em duas cidades e 139 aldeias.

A metodologia aplicada, no estudo de Gorsevski et al. (2012), descreveu a organização hierárquica dos critérios considerados para a adequação do aterro, partindo de um objetivo: aterro adequado e suas restrições (parques, áreas protegidas, áreas urbanas e rios), critérios ambiental e econômico, além de sete fatores ambientais e três econômicos.

Nos fatores ambientais de distância dos cursos d'água e das áreas urbanas, foram adotadas as determinações da legislação local. O fator uso da terra foi desenvolvido pela interpretação e classificação de imagens, usando o sistema de classificação de Anderson Gorsevski et al (2012 apud ANDERSON et al. 1976). Para a hidrologia, foi utilizado mapa hidro geológico existente. A elevação e declividade foram geradas a partir de imagens de satélites. A distância de falhas foi vinculada a ambos os lados da estrutura montanhosa.

Os fatores econômicos de proximidade de estradas, de materiais de construção e de núcleos populacionais foram definidos com base na literatura sobre o assunto, definindo dois pontos de controle e seus pesos.

Como resultados foram gerados seis alternativas associadas aos fatores ambientais e, seis associadas aos fatores econômicos. Agregando os fatores foram gerados três cenários com diferentes pesos. No primeiro cenário, os fatores ambientais e econômicos tiveram peso

0,75 e 0,25, respectivamente. No segundo cenário, os fatores tiveram pesos iguais e, no terceiro cenário, inverteram-se os pesos adotados no primeiro. Como conclusão, os autores reforçam que a metodologia proposta tem um potencial significativo para apoiar a tomada de decisão aliada à opinião pública e política (GORSEVSKI et al., 2012).

Effat e Hegazy (2012) aplicaram um sistema de apoio à decisão multicritério espacial para a localização de aterros sanitários potenciais nas cidades do norte do Sinai, no Egito, com população de 384.000 habitantes, distribuída em oito cidades. Tiveram como motivação o objetivo governamental de desenvolvimento das cidades que estão localizadas na zona costeira ou em desertos e, que por escassez de recursos, mal planejamento e crescente aumento de geração de resíduos, criaram depósitos a céu aberto.

A metodologia baseou-se no desenvolvimento de um conjunto de critérios associados à literatura específica e pesos atribuídos por especialistas. Para a escolha dos critérios foram utilizadas legislações nacionais e internacionais, considerando parâmetros ambientais, sociais e econômicos. A combinação ponderada linear foi utilizada para este estudo, adotando restrições, usadas para eliminar áreas inadequadas como terras vulneráveis e terras urbanizadas e fatores, agrupados nos temas ambientais, econômicos e sociais e que foram usados para definir o grau de adequação das regiões geográficas analisadas.

No tema ambiental, os fatores ou sub-critérios adotados foram permeabilidade, profundidade de lençol freático, distância de áreas protegidas, distância de falhas, distância as áreas costeiras, distância para os parques nacionais, distância para áreas elevadas. A justificativa dos autores para a escolha desses fatores levou em consideração a característica especial da região, com parques nacionais, áreas costeiras, áreas úmidas e diferentes profundidades de lençol subterrâneo no deserto.

No tema econômico, os autores relataram que a região apresentava vazios demográficos e desertos, motivando a escolha dos seguintes fatores: distância das cidades, declividade, distância para o fornecimento de energia elétrica e acessibilidade.

Para o tema social, foram gerados três fatores: sítios arqueológicos, aeroportos e aspectos morfológicos, observando os valores culturais e os impactos sobre a população.

Após a identificação dos fatores geraram-se três cenários diferentes. No primeiro cenário o tema ambiental teve maior peso seguido pelo econômico e pelo social. No segundo cenário o tema econômico teve maior peso e no terceiro cenário foram adotados pesos iguais para os temas. Segundo os autores, a aplicação da técnica, tanto no litoral como no deserto, provou ser viável, facilitando a digitalização de uma grande região com menor custo e, possibilitando sua aplicação, também, na avaliação de impacto ambiental de projetos propostos (EFFAT e HEGAZY, 2012).

Estes trabalhos subsidiaram a elaboração de uma síntese identificando aqueles que trabalharam com a seleção de fatores dentro dos critérios de decisão ambiental, social e econômico (Quadro 2).

Alguns aspectos importantes puderam ser evidenciados nos trabalhos apresentados no Quadro 2. Os estudos de Sener et al. (2010) e Gorsevski et al. (2012) embora não tenham identificado o critério social, verifica-se que alguns fatores ambientais e econômicos adotados foram discriminados como social em outros estudos. Desta forma, mesmo sem esse detalhamento, os fatores atendem ao conjunto de critérios em estudo.

Quadro 2 – Fatores para tomada de decisão nos critérios ambiental, social e econômico dos artigos selecionados.

Artigo	Local	Método	Fatores para tomada de decisão		
			Ambiental	Social	Econômico
1	Grécia	Sistemas de informação (SIG) e lógica fuzzy	(1) hidrogeologia; (2) hidrologia; (3) distância de corpos d'água	(1) proximidade de áreas residenciais; (2) acesso ao sítio; (3) uso da terra; (4) proximidade aos centros de produção de resíduos; (5) orientação local; e (6) declividade do terreno.	
4	Croácia	PROMETHEE e GAIA	(1) quantidade de resíduos; (2) distância aos centros de gestão de resíduos; (3) impacto ambiental relacionado com localização das alternativas propostas	(1) percepção social das alternativas	(1) custo inicial dos centros de gestão de resíduos; (2) custo inicial das estações de transferência; (3) custo inicial de terra; (4) custos de operação do centro de gestão; (5) quantidade de resíduos; (6) distância das estações de transferência para os centros de gestão de resíduos; (7) estimativa de custo de transferência
8	Turquia	(AHP) e sistema de informação geográfica (SIG)	(1) distância de assentamentos; (2) distância dos cursos d'água; (3) distância de áreas protegidas; (4) geologia / Hidrogeologia; (5) uso do solo; (6) aspectos da área		(1) distância de rodovias; (2) altura; (3) declividade
9	Colômbia	SIG	(1) potencial impacto sobre o recurso hídrico; (2) potencial impacto sobre a paisagem; (3) potencial envolvimento de odores ofensivos; (4) deficiência visual potencial e cheiros, pelo número de rotas de transporte para o local de disposição	(1) alteração da dinâmica de produção; (2) proximidade de assentamentos; (3) deslocamento da população gerado pela localização do PTRS; (4) padrões alterados e identidade cultural (turismo, patrimônio)	(1) custo de transporte de resíduos sólidos; (2) valor da terra; (3) custo do local e adequação; (4) relação custo/benefício
12	Macedônia	Fuzzy, hierarquia analítica (AHP) e (OWA)	(1) elevação; (2) declividade; (3) distância de rios; (4) distância de áreas urbanas; (5) hidrogeologia; (6) uso do solo		(1) proximidade de estradas; (2) proximidade de materiais de construção; (3) proximidade de densidade populacional
13	Egito	Combinação linear ponderada	(1) permeabilidade; (2) profundidade do lençol freático; (3) distância para sabkha; (4) distância de falhas geológicas; (5) distância de áreas costeiras; (6) distância de zonas protegidas; (7) distância de córregos.	(1) distância de sítios arqueológicos; (2) distância para o Aeroporto; (3) aspectos	(1) distância das cidades; (2) declividade; (3) distância para o fornecimento de energia; (4) acessibilidade

Os artigos apresentam similaridade na escolha de subcritérios (ou fatores), pois os mesmos foram selecionados através da combinação de literatura intensiva, legislação em vigor e conhecimento especializado, com a atribuição de pesos por especialistas ou tomadores de decisão.

O trabalho de Vego et al. (2008) foi o que mais se aproximou do objetivo geral proposto neste artigo, pois partiu de um cenário de referência que contemplava a construção de um único centro de gestão de resíduos para todos os municípios.

Os fatores que mais se repetiram nos estudos foram hidrogeologia, distância dos cursos d'água e distância de rodovias em 67% destes e, distância de núcleos populacionais, em 100% dos artigos.

Em relação à hidrogeologia, Gemitzi et al. (2007) utilizou os parâmetros: tipo de aquífero (ou seja, confinado, não confinado, fraturado, cárstico), profundidade do lençol freático, e condutividade hidráulica. Os pesos adotados variaram de 0 (áreas menos vulneráveis) a 255 (áreas mais vulneráveis), sendo adotado cinco classes distintas. Foi criado um mapa com a identificação de áreas vulneráveis à poluição das águas subterrâneas.

Sener et al. (2010), Gorseviski et al. (2012) e Effat e Hegazy (2012) elaboraram mapas hidrogeológicos das áreas estudadas com zonas ou unidades que foram caracterizadas com base no tipo de solo e permeabilidade. Aquelas com elevada permeabilidade foram consideradas as menos adequadas.

Em relação à distância aos corpos d'água superficiais, de acordo com as diretivas da União Européia, onde foram realizados os estudos de Gemitzi et al. (2007), Sener et al. (2010) e Gorseviski et al. (2012), uma zona tampão de 500 m foi mantida em torno destes. O estudo de Effat e Hegazy (2012), aplicado no Egito, também adotou uma distância mínima de 500m. Um perfil de localização foi criado, que representa a distância média a uma série de recursos de qualquer lugar dentro de uma área do mapa. Os autores adotaram pontos de controle (a = 500 m) indicando a distância menos adequada e um segundo ponto de controle, que variou entre os autores, indicando a distância adequada para situar um aterro sanitário.

Sener et al. (2010) e Gemitzi et al. (2007) adotaram, para avaliar o critério de distância de rodovias, a definição de zonas de amortecimento em torno de todas as estradas, variando de 250m a 1.000m. As Zonas de amortecimento definidas nos estudos de Effat e Hegazy (2012) e Gorseviski et al. (2012), variaram de 500 m a 13.000m e de 2.000m a 5.000m, respectivamente, em torno das rodovias. As distâncias mais próximas das estradas existentes receberam notas mais altas. Os autores abordaram que a construção de um sanitário aterro seria economicamente mais viável se ele estiver localizado perto de estradas existentes, mas devem-se evitar proximidades que possam interferir no tráfego já existente. Gemitzi et al. (2007) consideraram que uma distância inferior a 100m seria inapropriada.

A Legislação europeia exige uma distância mínima de resíduos sólidos urbanos de pelo menos 500 m de áreas residenciais. Gemitzi et al. (2007), adotou 500 m como áreas menos aptas e 20 km as mais adequadas; Gorseviski et al. (2012) e Effat et al. (2012), adotaram o intervalo de 500m e 5 km. A legislação turca, local do estudo de Sener et al. (2010) é mais restritiva que a europeia, pois os aterros não podem ser localizado dentro 1000 m de áreas de assentamentos. Nesse estudo os autores adotaram que locais com menos de 1000 m seriam inadequados e intervalos de 1000-2000 m, 2000-3000m, 3000-4000 m, > 4000 m foram aplicados a áreas de assentamento existentes atribuindo notas de 1 a 5.

O estudo realizado por Londono et al. (2010) não apresentou a descrição e justificativa dos fatores adotados, embora forneça subsídios importantes para a proposta desejada, que é identificação de arranjos ótimos, pois apresenta cenários possíveis, definido por equipe técnica de pesquisadores de acordo com o interesse das partes consultadas. Esse é um aspecto que deve ser levado em conta, principalmente se tratando de solução consorciada, para que consiga reduzir o maior número de interferências possíveis na concretude da proposta.

Um aspecto importante, que serve de embasamento na identificação de arranjos ótimos, foi analisado por Gemitzi et al. (2007) e Vego et al. (2008), e trata-se da proximidade aos centros produtores de resíduos. É um aspecto de viabilidade econômica, pois está relacionado aos custos de transporte, mas tem sua vertente no aspecto social, pois está ligada a avaliação positiva, ou não, da população. No estudo de Gemitzi et al. (2007) a distância de até 40 km tem uma melhor aptidão e acima de 60 km se torna menos adequada.

Outro ponto a ser destacado, refere-se à distância aos aeroportos, que na legislação brasileira estabelece um raio mínimo de 13 km e segundo Effat et al. (2012) apud Kontos et al. (2005), a prática descrita na literatura internacional, aponta uma distância mínima de 3 km.

4. CONCLUSÕES

A escolha de áreas ou de arranjos ótimos é um sistema complexo e dinâmico que envolve diversas variáveis, muitas vezes desconhecidas pelos gestores municipais.

Enquanto a utilização dos critérios ambientais favorece a minimização de quaisquer riscos potenciais à saúde e contaminação direta ou indireta de recursos hídricos, a adoção dos critérios econômicos permite minimizar os custos de construção, operação e os de manutenção. Os critérios sociais auxiliam no processo de aceitação por parte da população, desde que associada à comunicação e implementação de forma integrada.

Assim, as experiências apresentadas nos seis artigos evidenciaram a aplicabilidade do método multicritérios com a adoção de sistemas de apoio à tomada de decisão, de forma isolada ou combinada, contribuindo para a realização de estudo que favoreça a implantação consorciada e, assim, os municípios de pequeno porte possam melhorar o panorama atual e alavancar a gestão integrada dos resíduos sólidos.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e a Prof. Dra. Luciane Durante pela supervisão.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J.R., et al. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. *Geological Survey Professional Paper 964*. United States Government Printing Office, Washington, 1976.

BRASIL. *Lei nº 12.305 de 02 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, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 06 mai. 2014.

CARNEIRO, R.S. Legislação aplicada ao Licenciamento ambiental de aterros sanitários em Mato Grosso e Diagnostico dos Municípios. *3º Seminário de Resíduos Sólidos, SEMA, Cuiabá, 2013.* Disponível em: <<file:///C:/Documents%20and%20Settings/T2009/Meus%20documentos/Downloads/07.11.13%20Legislacao%20aplicada%20ao%20licenciamento%20ambiental%20de%20aterros%20sanitarios%20em%20MT.pdf>>. Acesso em 17 jul. 2014

- EFFAT, H. A.; HEGAZY, M.N.** Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multicriteria evaluation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, n. 15, p.125–133, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982312000245>>. Acesso em: 12 out. 2014.
- GEMITZI, A. et al.** Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology*, v. 51, p. 797–811, 2007. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00254-006-0359-1>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- GORSEVSKI, P. V. et al.** Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management*, v. 32, p. 287–296, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004296>>. Acesso em: 12 out. 2014.
- KITCHENHAM, B. A. e CHARTERS, S.** Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Relatorio Técnico EBSE*, n. 01, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.
- LONDOÑO, D. E. V.; MUÑOZ, C. A.; OSPINO, E. V.** Metodología para la localización de un parque de tratamiento y disposición final de residuos sólidos de tipo regional desde una perspectiva multidimensional. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Medellín, v. 9, n. 17, p. 63–74, 2010. Disponível em: <<http://cdigital.udem.edu.co/ARTICULO/R176000172010190491/v9n17a06.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- SENER, S. et al.** Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beys_ehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, v.30, p.2037–2046, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10003132>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- VEGO, G.; KUCAR-DRAGICEVIC, S.; KOPRIVANAC, N.** Application of multicriteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste Management*, v. 28, p. 2192–2201, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07003406>>. Acesso em: 12 out. 2014.