

PRINCIPAIS METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

André Luís de O. Melo *

Maria Lúcia Calijuri **

Izabel Christina D'Almeida Duarte **

Roberto Francisco Azevedo ***

Juliana Ferreira Lorentz ****

RESUMO - Este trabalho apresenta inicialmente as principais metodologias desenvolvidas para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. Em seguida, discute suas deficiências e apresenta-se uma nova metodologia baseada no uso de sistema de informação geográfica, lógica fuzzy e análise multi-critério. Finalmente, são extraídas algumas conclusões nas quais realçam-se as vantagens da nova metodologia proposta.

SYNOPSIS - This work presents initially the main methodologies developed for the selection of landfills implantation areas. After that, it discusses its deficiencies and presents a new methodology based on the use of geographic information system, fuzzy logic and multi-criteria analysis. Finally, some conclusions are extracted in which enhance the advantages of the new proposal methodology.

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil produz diariamente cerca de 100.000 toneladas de resíduos sólidos domiciliares. Na maioria dos municípios brasileiros, estes resíduos são dispostos diretamente no solo, em locais popularmente conhecidos como lixões, provocando uma série de impactos sanitários, sociais, ambientais e econômicos.

Nos últimos anos tem havido um esforço crescente dos órgãos ambientais brasileiros no sentido de procurar uma solução para este problema. Entre as diversas técnicas de tratamento e disposição de resíduos sólidos domiciliares disponíveis, a que tem se mostrado economicamente mais viável no Brasil é a construção de aterros sanitários.

O primeiro passo para se viabilizar um aterro sanitário consiste na escolha do local para sua construção. A escolha deste local envolve critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais. O melhor local deve ser aquele que atende ao maior número de critérios, observado a prioridade de cada um.

Este trabalho apresenta inicialmente as principais metodologias desenvolvidas para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. Em seguida, discute suas deficiências e apresenta-se uma metodologia baseada no uso de sistema de informação geográfica, lógica fuzzy e análise multi-critério. Finalmente, são extraídas algumas conclusões nas quais realçam-se as vantagens dessa metodologia proposta.

* Mestre em Geotecnia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa – MG, Brasil

** Professora do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa – MG, Brasil

*** Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa – MG, Brasil

**** Aluna de Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Viçosa – MG, Brasil

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas propostas metodológicas estabeleceram critérios e procedimentos buscando sistematizar e objetivar o processo de seleção de áreas para aterros de resíduos.

Mc BEAN *et al.* (1995) apresentam diferentes metodologias e dentre elas destacam-se: método do fim específico (*Ad Hoc method*), método da lista de conferência (*Checklist method*), método econômico, método cartográfico, método da comparação conjunta (*Pairwise comparison method*) e método da matriz.

- O método *Ad Hoc* é baseado no julgamento profissional e na descrição dos impactos, sem explicitar o critério adotado. Comparam-se alternativas sem usar qualquer método declarado para ordenar explicitamente as preferências. Utiliza-se a prática de reuniões entre especialistas de diversas áreas, para se obter dados e informações, em tempo reduzido, imprescindíveis à conclusão dos estudos.

- O método *Checklist* compara e avalia alternativas em um conjunto de critérios sem regras de compensação. Os resultados são expressos com respostas simples sim/não.

- No método *econômico*, tenta-se representar todos os aspectos econômicos de um projeto em termos monetários. Custos e benefícios são expressos em termos da *vontade* dos indivíduos em pagar pelos benefícios.

- O método *cartográfico* compara e avalia alternativas utilizando mapas e é usado nas fases de identificação de locais.

- No método *Pairwise comparison*, utiliza-se uma comparação seqüencial de alternativas duas a duas como base para o subsequente ordenamento de preferências.

- O método da matriz utiliza uma matriz para resumir, comparar e avaliar os critérios e as alternativas. A matriz descritiva mostra apenas as propriedades e confia no julgamento profissional para ordenar as preferências, o que o torna uma simples extensão do método *Ad Hoc*.

CANSONI *et al.* (1995) propõem compatibilizar fatores, buscando-se o equilíbrio entre aspectos sociais, alterações no meio ambiente e custos inerentes ao empreendimento. Parte de estudos gerais, identificando as várias áreas potenciais, sendo priorizadas as mais promissoras para os estudos de detalhe. São necessárias três etapas: levantamento de dados gerais, pré-seleção (escala regional), estudos para a viabilização de áreas pré-selecionadas (escala local). Segundo CANSONI *et al.* (1995), caso existam áreas previamente indicadas pela municipalidade, estas serão analisadas prioritariamente. Somente se estas áreas forem "*não recomendáveis*", outros locais deverão ser buscados.

A ponderação dos diversos dados considerados e a análise integrada destes, permitem a identificação das zonas mais favoráveis, nas quais, através de uma vistoria de campo, serão individualizadas as candidatas à instalação do aterro (CANSONI *et al.*, 1995), o que resultará na classificação das áreas selecionadas em uma das seguintes categorias: "*recomendado*", "*recomendado com restrições*", e não "*não recomendado*".

Com as áreas pré-selecionadas, passa-se à próxima etapa que é a indicação do local mais apropriado. Nesta fase, denominada "*estudos para a viabilização das áreas pré-selecionadas*", são fundamentais os trabalhos de campo, através do levantamento de dados do meio físico, com investigações de superfície e de sub-superfície.

A análise e a interpretação das informações coletadas determinarão qual das áreas é a mais indicada para a instalação do aterro sanitário, considerando-se os aspectos sociais, ambientais e financeiros.

LIMA (1999) propõe uma metodologia de avaliação e hierarquização de um universo pré-definido de objetos. É de aplicação universal e seu desenvolvimento baseia-se inicialmente na "*análise do valor - AV*" e, num segundo momento na "*lógica fuzzy - LF*". A AV é orientada

para a análise e solução de problemas, constituindo um esforço deliberado para identificar e selecionar o método de menor custo. Deve-se buscar a minimização de custos sem que o desempenho, desejado pelos usuários, seja alterado. O Quadro 1 relaciona funções com o aspecto técnico correspondente adotadas por LIMA (1999) apud MELO (2001).

Quadro 1 - Função e aspecto técnico relacionado.

Função	Aspecto técnico
Garantir a segurança da população vizinha	Distância em relação à área: o local mais apropriado deve estar afastado da aglomeração urbana a uma distância mínima de 2 quilômetros.
Minimizar o preço	Valor da área: o uso do solo na região deve comportar a presença do aterro e sua aquisição ser economicamente viável.
Disponer de infra-estrutura	Infra-estrutura: o local escolhido deve oferecer infra-estrutura (água, luz, esgoto e telefone).
Disponer de boas condições de acesso	Acesso: deve haver a integração da malha viária e prover vias de acesso em boas condições de tráfego, mesmo em épocas de chuva.
Distar dos centros produtores	Distância dos centros produtores de lixo: a área deve estar situada distante de residências, porém o mais próximo possível do centro de geração do lixo. Sendo considerado 30 km a distância ideal em viagem de ida e volta.
Oferecer topografia compatível com o projeto	Dados topográficos: a área deve ter conformação geomorfológica e topográfica compatíveis com o projeto de instalação de um aterro sanitário.
Oferecer climatologia favorável	Clima: estudos sobre o regime das chuvas, evapotranspiração, direção predominante dos ventos, etc.
Promover durabilidade	Capacidade volumétrica: a área escolhida para implantar o aterro deve ter vida útil estimada em mais de 10 anos.
Disponer de material para recobrimento diário	Jazidas de material de cobertura: avaliação da disponibilidade de material de cobertura, quantidade, qualidade e distância.
Disponer de solo adequado	Dados pedológicos: são informações sobre as características e propriedades do solo da região.
Proteger os cursos de água superficiais	Dados hidrológicos: conjunto de informações sobre os principais corpos de água de interesse ao abastecimento público. Recomenda-se distâncias superiores a 200 metros.
Ser favorecido por legislação	Legislação: referem-se às informações sobre as leis ambientais e de zoneamento urbano de âmbito federal, estadual ou municipal. Assim, a área escolhida deve estar dentro das considerações exigidas por lei.

Fonte: Adaptado de LIMA (1999) apud MELO (2001).

Para simular as funções, LIMA (1999) emprega a "*Matriz de Avaliação Funcional*", que compara entre si todas as funções que são desempenhadas pelo aterro sanitário, estabelecendo valores a serem creditados a uma função, todas as vezes que esta for mais importante ou necessária que cada uma das outras.

A fase "*conclusiva*" compreende a escolha, a implantação e o acompanhamento do projeto. É nesta fase que é feita a escolha da alternativa mais viável, ou seja, aquela que previne os impactos ambientais e evita os elevados custos para a recuperação ambiental.

As opiniões de especialistas sobre as funções são agregadas através da média ponderada na matriz de avaliação funcional, onde os atributos são valorados. Cada área pré-selecionada é enquadrada em um dos seguintes níveis: "*nível 1 - não aceito*"; "*nível 2 - aceito com restrições*"; "*nível 3 - recomendado*".

ANDRADE (1999) apresenta uma metodologia onde os procedimentos empregados envolvem a definição de parâmetros de inclusão e exclusão, análises de rede e sobreposição topológica, todos desenvolvidos no âmbito de um SIG. Para a realização dos diagnósticos, são consideradas as características do meio ambiente físico e questões de caráter social e econômico do município, além da legislação ambiental brasileira e normas técnicas. Em fases posteriores, correspondentes à produção cartográfica e definição de critérios, ANDRADE (1999) utiliza mapas de uso do solo, modelo de elevação do terreno (DEM), declividade, vulnerabilidade geotécnica, lineamento estrutural, hidrogeologia, unidades de conservação, entre outros. Com estes dados, procede-se à identificação de critérios e zonas "*tampão*", ou seja, zonas em que não é permitida a construção de aterros sanitários devido às suas peculiaridades. Utiliza-se para isso a lógica booleana, onde *zero* corresponde às áreas impróprias e *um* as áreas aptas à instalação do aterro sanitário, em função do aspecto analisado.

Na terceira etapa, emprega-se a técnica de sobreposição topológica e reclassificação em todos os mapas produzidos na fase anterior combinados dois a dois. As duas classes de uso possíveis são: "*apropriado*" e "*não apropriado*".

MASSUNARI *et al.* (2000a) propõem procedimentos metodológicos específicos, primeiramente para a pesquisa de áreas favoráveis à implantação do aterro sanitário e em seguida para a hierarquização destas áreas, com o objetivo de orientar a escolha do local. Na fase de pesquisa de áreas, a metodologia compreende a análise integrada de condicionantes técnicos, legais, antrópicos, naturais e econômicos. Para delimitar o espaço onde deve ser concentrada a pesquisa da área, MASSUNARI *et al.* (2000a) recomendam lançar sobre o mapa de restrições, dois círculos com raios de 10 e 20 km a partir do centro da cidade.

Delimitadas as áreas restritas, realiza-se uma análise nas áreas remanescentes situadas no raio de 20 km. Isto tem a finalidade de identificar as regiões mais favoráveis à implantação do empreendimento impactante, com base no exame de fotografias aéreas e mapas topográficos, o que permite orientar o trabalho de pesquisa de campo.

Com as informações obtidas em campo, procede-se a pré-seleção para identificar os locais que reúnam requisitos mínimos necessários. Essas áreas são submetidas ao processo de hierarquização, com a finalidade de permitir a escolha de três alternativas.

MASSUNARI *et al.* (2000a), selecionam alguns indicadores técnicos e ambientais e estabelecem critérios de pontuação e ponderação da importância relativa de cada indicador. Todos os indicadores recebem pontuações variando de 1 a 10, onde quanto maior a pontuação mais favorável é a área, de acordo com a sua maior adequação para a implantação do aterro sanitário. É definida também a aplicação de um coeficiente de ponderação, variando de 1 a 5, onde o maior valor é aplicado aos indicadores de maior importância.

Com os indicadores estabelecidos e os critérios adotados, procede-se à soma da pontuação das áreas pré-selecionadas. A que apresentar as melhores condições de implantação, ou seja,

maior pontuação, será considerada apta. É fundamental, segundo MASSUNARI *et al.* (2000b), verificar também o atual depósito de lixo da cidade.

KATAOKA (2000) propõe uma metodologia aplicada para a avaliação de áreas para aterros sanitários industriais. É baseada no preenchimento de planilhas para gerenciamento ambiental. A planilha tem com objetivo uniformizar os critérios de análise dos EIA/RIMA, além de documentar todo o processo de aprovação e solicitação de complementações. O princípio básico é a comparação de dados apresentados frente às exigências necessárias aos estudos numa visão exclusivamente técnica, considerando os componentes do meio físico, biológico e sócio-econômico. Com base nestes critérios, o valor máximo atribuído para um determinado item da planilha atinge 3 pontos, correspondendo aos estudos considerados fundamentais e às pontuações com valores menores (2 pontos e 1 ponto) são atribuídas para os itens de importância secundária. A pontuação total dos itens da planilha corresponde a 100 pontos. A proposta de avaliação considera três faixas de pontuação: "*análise inadequada*" (<51 pontos); "*análise regular*" (51-80 pontos); "*análise adequada*" (>80 pontos).

COELHO (2000) propõe uma metodologia em que a seleção de áreas processa-se da escala regional (1:100.000 a 1:50.000) para a escala local (1:25.000 a 1:10.000), de forma a passar da análise de uma grande área à análise de um número discreto de pequenas áreas de trabalho, com maiores probabilidades de conterem locais favoráveis. Estes locais são então avaliados com vistas à seleção de uma área (ou de um pequeno número de áreas alternativas) mais favorável à localização do aterro sanitário. O desenvolvimento deste processo envolve geralmente três fases: seleção preliminar, seleção definitiva e demonstração da viabilidade do local escolhido.

Esta abordagem, da pequena escala à grande escala é, sobretudo típica da forma de seleção de locais conduzida pelas autoridades nacionais e/ou regionais de Portugal.

A fase inicial, denominada "*delimitação da área inicial de estudo*", consiste em um estudo de escritório, na escala de 1:50.000 a 1:25.000, com base em informação existente e facilmente acessível. A área de investigação inicial é delimitada com base na análise da localização dos centros produtores de resíduos e da distância máxima economicamente viável, bem como nas limitações e possibilidades decorrentes dos instrumentos de planejamento em vigor.

Na fase intermediária ou "*identificação e classificação de sítios possíveis*", procede-se visitas de reconhecimento, com apoio de especialistas consultores de várias especialidades (geologia, hidrogeologia, geotecnia, ambiente, etc.), visando identificar os locais possíveis e avaliar os custos e benefícios ambientais de cada área. Sugere também a consulta a entidades e a pessoas interessadas e afetadas com vistas a identificar outras questões potenciais específicas de cada local.

Na fase posterior, denominada "*avaliação dos possíveis sítios e seleção final dos sítios candidatos*", tem-se a identificação de medidas de proteção e soluções de projetos para diferentes sítios alternativos.

ALLER *et al.*, *apud* LIMA, (1999), apresentaram o método DRASTIC, desenvolvido para a US EPA (United States Environmental Protection Agency). Este método compara a adequação de diferentes alternativas de locais, com base no potencial relativo de poluição das águas subterrâneas. Trabalha com informações referentes à profundidade do nível d'água subterrâneo, declividade, condutividade hidráulica do aquífero, entre outras.

CUNHA & PARZANESE, *apud* LIMA, (1999), propuseram uma metodologia baseada em um conjunto de critérios de uso e ocupação do solo, sociais e do meio físico. A identificação dos critérios fundamenta-se em dados bibliográficos e levantamentos feitos em campo. Os tipos de áreas são classificados em: "*adequada*", "*possível*" e "*inviável*". Entretanto, a proposta metodológica não deixa bem claro como tal classificação é feita.

ZUQUETTE *et al.*, *apud* LIMA, (1999), propuseram uma metodologia que considera um conjunto de 32 atributos baseados em aspectos geológicos com o objetivo de orientar a elaboração de um mapeamento geotécnico. Estes atributos são estabelecidos dentro de alguns campos de conhecimento e são associados à escolha de locais para disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários. O procedimento classifica cada atributo de uma área em "favorável", "moderado", "severo" ou "restritivo".

GALVES *et al.*, *apud* LIMA, (1999), apresentaram uma metodologia baseada na função de utilidade de multi-atributos da análise de decisão, permitindo que aspectos geo-ambientais e econômicos sejam enfatizados. Trabalha com a caracterização de cada área pré-selecionada, dado um conjunto de objetivos, onde é medido o grau em que cada objetivo é encontrado. Este método não estabelece a importância relativa entre objetivos definidos.

VALENTINI, *apud* LIMA, (1999), propôs um sistema multi-critério formado por uma matriz constituída das categorias ambientais organizadas por prioridades e dos indicadores de impacto qualificados de acordo com a severidade. A confecção de uma matriz e seu desenvolvimento resultará um valor, sendo que o maior será o local mais impactante e o menos aceito ambientalmente.

LANGE (1998), enfatiza a multidisciplinaridade das investigações e avaliações das áreas selecionadas para disposição final de resíduos. Trabalha com princípios científicos de métodos de avaliação de segurança, onde descreve três passos a serem seguidos para avaliação de locais: seleção dos locais, investigação e avaliação. Estas avaliações não só produzem dados necessários para a análise de segurança, mas também para o planejamento e operação do aterro.

VIEIRA & LAPOLLI (2001), descrevem, para o levantamento de áreas adequadas, uma análise sob critérios técnicos, sociais e ambientais utilizando técnicas de geoprocessamento. Este procedimento visa facilitar à tomada de decisões quanto às alternativas a serem implementadas. Apresenta uma análise técnica *boolean*.

3 - DISCUSSÃO DAS METODOLOGIAS

Na maioria das propostas metodológicas, observa-se uma seqüência lógica durante o seu desenvolvimento. Indicam um sítio favorável que responda com o grau mais elevado possível à ocorrência de condições naturais favoráveis a uma localização ambientalmente menos impactante e condições favoráveis que permitam minimizar os custos e a desvalorização de recursos e de valores sócio-econômicos, ou seja, que constitua uma localização tecnicamente correta, economicamente viável e socialmente justa.

Por sua vez, em nenhuma região existe um "sítio ideal perfeito" que satisfaça simultaneamente e no mais elevado grau todos os requisitos para a implantação de um aterro sanitário. Ao analisar as metodologias apresentadas, nota-se que existem áreas inadequadas e áreas adequadas e, dentro destas últimas, é de esperar que existam locais potencialmente mais adequados, cada um deles caracterizado por aspectos mais favoráveis e outros menos favoráveis.

Uma metodologia, para ser considerada completa, deve englobar todos os aspectos ambientais, técnicos e sócio-econômicos. Duas dentre as metodologias apresentadas possuem forte tendência para avaliar apenas um dos aspectos citados anteriormente.

Mc BEAN *et al.* (1995) propõem a utilização de metodologias direcionadas ao estudo de impacto ambiental e apresentam alguns métodos clássicos para avaliação de impactos ambientais.

Tanto CANSONI *et al.* (1995) quanto COELHO (2000), procuram desenvolver as suas metodologias em etapas seqüenciais. Iniciam os estudos em nível regional, passando pela análise dos dados existentes e pré-seleção de áreas adequadas até a escolha final baseada nos ensaios de caracterização local. Por sua vez, ambos não deixam claro como se procede a etapa de pré-seleção, onde ocorre a indicação das áreas potenciais para a implantação do aterro sanitário.

Ao analisar a proposta de LIMA (1999), observa-se, diferentemente das outras, a adoção de duas metodologias interdependentes. A primeira, denominada *análise de valor* e a segunda, *lógica fuzzy*. Este método permite a introdução da importância relativa entre objetivos definidos ao utilizar o custo de implantação como indicador. Apesar da proposta minimizar uma das principais dificuldades encontradas na seleção de áreas para empreendimentos impactantes, ou seja, o grau de incerteza, que é inserido através da *lógica fuzzy*, a mesma pode ter a sua aplicabilidade aprimorada. Para isso, torna-se necessário envolver toda a metodologia em um ambiente computacional, o que daria agilidade e eficiência.

Quadro 2 – Resumo dos aspectos positivos e negativos das metodologias.

Metodologia	Aspectos		Observações
	Positivos	Negativos	
McBEAN <i>et al.</i>	Prevê estudos de impacto ambiental.	Preocupação exclusivamente ambiental.	
CANSONI <i>et al.</i>	Etapas seqüenciais e reconhecimento técnico do local; envolve critérios técnicos, ambientais e sociais.	Pouca agilidade (análise manual); falta de clareza na pré-seleção das áreas.	Com o uso da informática, pode-se adquirir agilidade.
LIMA	Inserção da variável custo e utilização da lógica <i>fuzzy</i> (não restritiva).	Excesso de teoria e pouca agilidade.	Com o uso do SIG pode-se adquirir agilidade.
ANDRADE	Envolve análises espaciais em ambiente SIG; apresenta critérios técnicos, ambientais e sociais.	Muito restritivo (técnica <i>boolean</i>).	Com o uso da lógica <i>fuzzy</i> pode-se inserir a análise de adequabilidade.
MASSUNARI <i>et al.</i>	Envolve um estudo espacial e ponderação de critérios; envolve critérios técnicos, ambientais e sociais.	Pouca agilidade (análise espacial em mapas analógicos).	Com o uso do SIG pode-se adquirir agilidade.
KATAOKA	Envolve uma planilha de pontuação de critérios; envolve critérios técnicos, ambientais e sociais.	Não seleciona áreas; apenas analisa uma área pré-existente.	
COELHO	Etapas seqüenciais e reconhecimento técnico do local; envolve critérios técnicos, ambientais e sociais.	Pouca agilidade (análise manual); falta de clareza na pré-seleção das áreas.	Com o uso da informática, pode-se adquirir agilidade.

Fonte: MELO, 2001.

MASSUNARI *et al.* (2000a) propõem uma metodologia que tem como diferencial a aplicação de um coeficiente de importância sobre os fatores analisados como prioritários na identificação de áreas potenciais. A sequência envolve um trabalho considerável, principalmente pelo fato de utilizar manualmente os mapas que irão orientá-los na localização das áreas adequadas. Ao inserir esta proposta em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) seria possível agilizar os procedimentos adotados.

A metodologia proposta por ANDRADE (1999) apresenta uma característica destacável: a introdução de análises espaciais automatizadas. Para isso, utiliza-se um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) que orienta a tomada de decisão pelo analista. Trabalha com a *lógica boolean*, ou seja, funções que identificam apenas áreas aptas e não aptas à implantação do empreendimento. Apesar do grande avanço tecnológico, a proposta tem um aspecto a ser aprimorado: o grau de incerteza, que pode ser inserido ao utilizar a *lógica fuzzy*, ao invés da *lógica boolean*.

KATAOKA (2000) propõe a utilização de uma planilha a ser preenchida, a qual aborda os aspectos ambientais, técnicos e sócio-econômicos. A planilha em si apenas avalia uma área específica, não sendo possível selecionar um local de uma determinada região.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos aspectos positivos e negativos das metodologias.

4 - METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta (MELO, 2001) faz uso da análise estratégica de decisão empregando funções fuzzy e operadores de agregação que consideram não apenas a compensação entre os fatores como também o risco que o usuário deseja ou pode assumir na análise.

É importante salientar que a aplicação dessa metodologia vai resultar em uma pré-seleção de locais potenciais. A identificação do local definitivo requer a realização de outros estudos e levantamentos, dentre eles o reconhecimento e a prospecção geotécnica dos locais pré-selecionados.

O modelo de avaliação foi estruturado hierarquicamente, definido no contexto de cada um dos três grupos de critérios, ambiental, operacional e sócio-econômico. Esses grupos foram processados em uma sequência de três etapas: padronização ou normalização dos fatores com uso da lógica fuzzy, valoração dos fatores por meio da comparação par-a-par e agregação utilizando combinação linear ponderada e média ponderada ordenada. Os fatores, de cada um dos critérios, foram primeiramente agregados com o método da combinação linear ponderada e compensação total; posteriormente foram introduzidos no processo da média ponderadas ordenada com variação na compensação e no risco assumido na análise.

Para validação da metodologia MELO (2001) selecionou como área de estudo o município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, e utilizou cartas plani-altimétricas (IBGE, 1978) escala 1:50.000, cartas temáticas, geologia (IBGE, 1992) escala 1:100.000, geomorfologia e pedologia (IBGE, 1983) escala 1:250.000, malha viária e hidrografia (IBGE, 1983) escala 1:50.000, divisão político-administrativa (IBGE, 1997) escala 1:50.000, mapa de unidades naturais (EMCAPA, 1999) escala 1:400.000, imagem Landsat 7, bandas 1,2,3,4,5,6,7, e 8, sensor TM, órbita 074, ponto 216 de 29/08/1999.

Como restrições, que são critérios que restringem o espaço de solução do problema através da exclusão de áreas, foram identificadas:

Restrições associadas ao critério ambiental: distância mínima de 200 m (“buffer”) de qualquer coleção hídrica ou curso de água, de acordo com a NBR 13896/97, distância mínima

de 200 m (“buffer”) do sistema viário, e distância mínima de 200 m (“buffer”) das falhas geológicas.

Restrições associadas ao critério operacional: declividade mínima de 1% e máxima de 30% (de acordo com a NBR 13896/97), e limite do município de Cachoeiro de Itapemirim.

Restrições associadas ao critério sócio-econômico: distância mínima de 500 m (“buffer”) dos núcleos populacionais, distância mínima de 500 m (“buffer”) da área urbanizada, distância mínima de 500 m (“buffer”) das sedes das fazendas, fixadas de acordo com a NBR 13896/97.

Foram identificados fatores associados a cada um dos critérios e posteriormente normalizados com funções fuzzy, selecionadas de forma a simular o mais próximo possível a condição representada.

Os fatores associados ao critério ambiental são: distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d’água, distância mínima de 200 m das falhas geológicas, pedologia, geologia, geomorfologia, e unidades naturais.

Os fatores associados ao critério operacional são: declividade mínima de 1% e máxima de 30%, distância do sistema viário, e distância de custo (correspondendo às possíveis despesas que a prefeitura teria com o transporte do lixo em rotas localizadas fora do traçado original do sistema viário).

Os fatores associados ao critério sócio-econômico são: distância mínima dos núcleos populacionais, distância mínima da área urbana e distância mínima das fazendas.

O fluxograma da combinação dos fatores e restrições, montado por MELO (2001) está mostrado na Figura 1.

Na definição de cenários de avaliação a quantidade de opções possíveis é teoricamente infinita, considerando diferentes combinações de pesos e diferentes combinações de técnicas (combinação linear ponderada e média ponderada ordenada) nos diferentes níveis de critérios. Neste trabalho, MELO (2001), optou por um conjunto de cenários voltados ao interesse prático, no contexto da realidade municipal de Cachoeiro de Itapemirim. Sendo assim, os critérios foram escalonados em dois níveis, apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios escalonados (fatores) por níveis

Nível	Fator ambiental	Fator operacional	Fator sócio-econômico
1º	FA	FO	FS
2º	FA1; FA2; FA3; FA4; FA5; FA6	FO1; FO2; FO3	FS1; FS2; FS3

A combinação das imagens correspondentes ao 2º nível origina as imagens FA, FO e FS. Cada grupo de fator (FA, FO e FS) foi processado através da combinação linear ponderada, cujas características estão indicadas no Quadro 4.

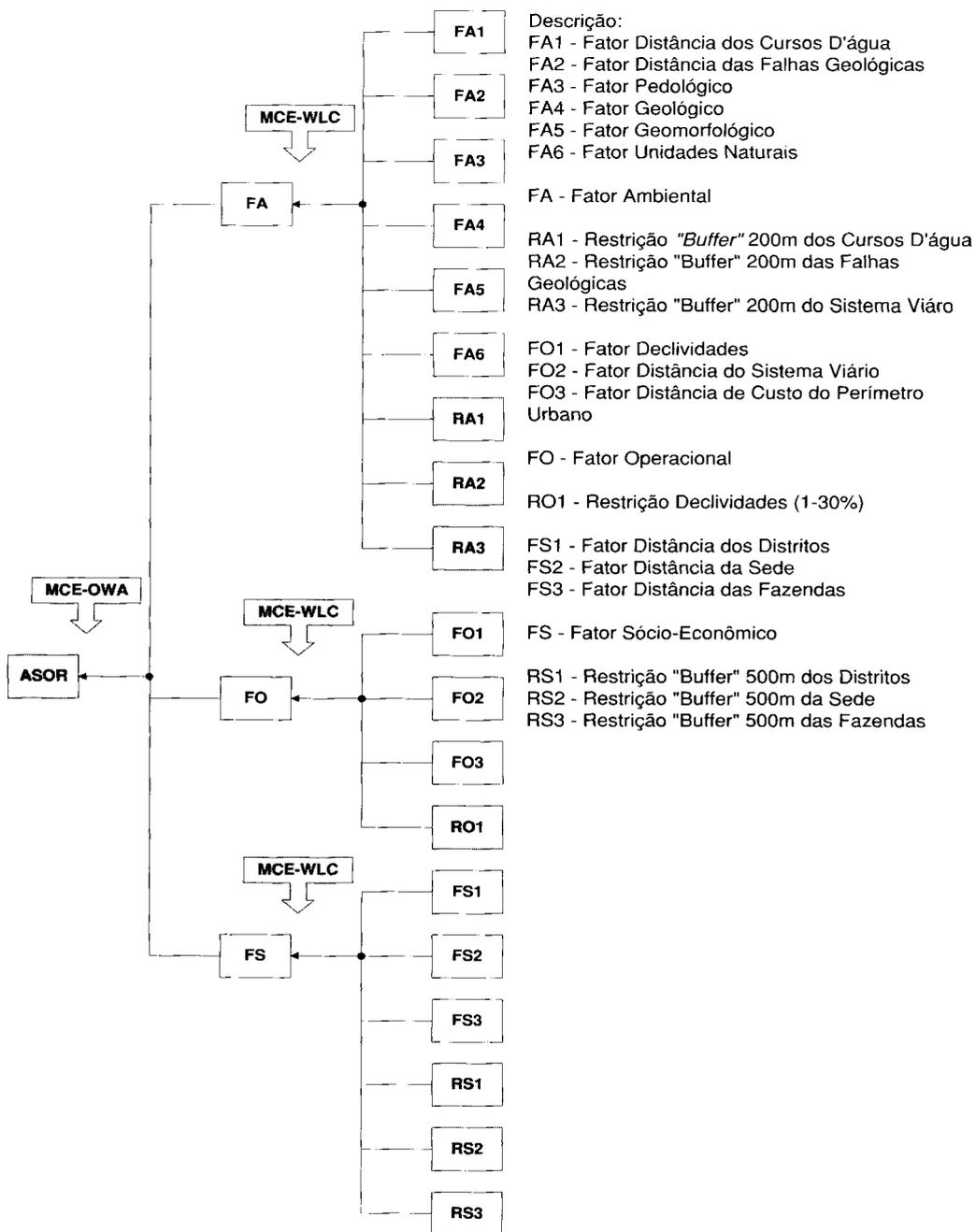


Figura 1 - Fluxograma da combinação dos fatores e restrições adotados, MELO (2001)

Quadro 4 – Combinação dos critérios no 2º nível

Fatores	Fatores Combinados	Pesos WLC	Observações
FA	FA1	0.4417	O fator ambiental “distância dos cursos d’água” apresentou juntamente com o fator “distância das falhas geológicas” o maior peso devido, principalmente, a maior vulnerabilidade destes fatores à possíveis falhas no projeto do aterro sanitário.
	FA2	0.3013	
	FA3	0.0934	
	FA4	0.0934	
	FA5	0.0452	
	FA6	0.0251	
FO	FO1	0.0909	O fator operacional “distância de custo do perímetro urbano” apresentou juntamente com o fator “distância do sistema viário” o maior peso devido aos elevados custo envolvidos na operação. Apesar do baixo peso dado ao fator “declividade”, às exigências impostas pela NBR 13896/97 (1-30%) estão sendo rigorosamente seguidas.
	FO2	0.4545	
	FO3	0.4545	
FS	FS1	0.2790	O fator sócio-econômico “distância da cidade sede” apresentou juntamente com o fator “distância dos distritos” o maior peso devido, principalmente, à maior concentração populacional destas áreas.
	FS2	0.6491	
	FS3	0.0719	

Para o 1º nível a combinação dos resultados obtidos da agregação do 2º nível foi feita através da média ponderada ordenada, usando três conjuntos de pesos ponderados e treze conjuntos de pesos ordenados, o que corresponde a um total de 39 cenários.

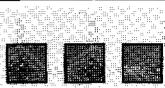
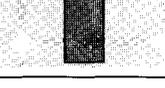
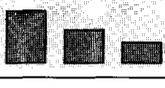
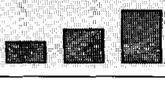
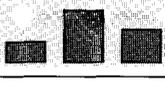
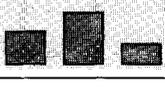
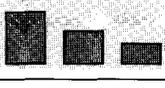
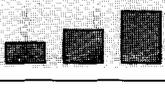
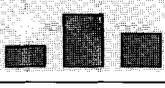
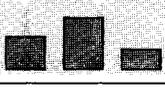
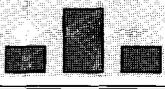
O conjunto de pesos ponderados está mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Conjunto de pesos ponderados referentes à importância relativa dos critérios escalonados (ambiental, operacional e sócio-econômico) na avaliação do 1º nível.

Conjunto de pesos	Fator	Peso
F _i	FA	0.50
	FO	0.30
	FS	0.20
	Soma	1.00
F _{ii}	FA	0.30
	FO	0.50
	FS	0.20
	Soma	1.00
F _{iii}	FA	0.40
	FO	0.40
	FS	0.20
	Soma	1.00

O Quadro 6 apresenta os conjuntos de pesos ordenados na avaliação do 1º nível.

Quadro 6 – Conjuntos de pesos ordenados na avaliação do 1º nível.

Cenário	Pesos ordenados	Risco	Compensação	Característica
AOSR _i	[0.33 0.33 0.33] 	0.50	1.00	Risco médio Máxima compensação
AOSR _{ii}	[1.00 0.00 0.00] 	1.00	0.00	Risco mínimo Sem compensação
AOSR _{iii}	[0.00 0.00 1.00] 	0.00	0.00	Risco máximo Sem compensação
AOSR _{iv}	[0.00 1.00 0.00] 	0.50	0.00	Risco médio Sem compensação
AOSR _v	[0.50 0.40 0.10] 	0.70	0.64	Baixo risco Compensação parcial
AOSR _{vi}	[0.10 0.40 0.50] 	0.30	0.64	Alto risco Compensação parcial
AOSR _{vii}	[0.10 0.50 0.40] 	0.35	0.64	Risco médio-alto Compensação parcial
AOSR _{viii}	[0.40 0.50 0.10] 	0.65	0.64	Risco médio-baixo Compensação parcial
AOSR _{ix}	[0.70 0.20 0.10] 	0.80	0.44	Baixo risco Compensação parcial
AOSR _x	[0.10 0.20 0.70] 	0.20	0.44	Alto risco Compensação parcial
AOSR _{xi}	[0.10 0.70 0.20] 	0.45	0.44	Risco médio-alto Compensação parcial
AOSR _{xii}	[0.20 0.70 0.10] 	0.55	0.44	Risco médio-baixo Compensação parcial
AOSR _{xiii}	[0.20 0.60 0.20] 	0.50	0.60	Risco médio Compensação parcial

A combinação das imagens correspondentes ao 1º nível associada às restrições adotadas (RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RO1, RS1, RS2 e RS3), originou à imagem final de adequabilidade $F_{n_AOSR_m}$ (onde n corresponde ao conjunto de pesos adotado no Quadro 4 e m aos cenários processados indicados no Quadro 6). MELO (2001) analisou os cenários e identificou que o que apresentou as melhores características para implantação do empreendimento foi o vii (AOSR_{vii}), risco médio-alto, 0.35, e compensação parcial, 0.64.

A escolha desse cenário considerou a alta confiabilidade dos dados (mapas) e o fato do tipo de empreendimento, nessa fase, permitir um maior grau de risco. Para uma decisão mais criteriosa o maior peso foi aplicado ao fator operacional. Esta decisão foi baseada em dois critérios: o primeiro se refere ao fato de que as restrições adotadas já abordarem intensamente os aspectos ambientais e, o segundo, está relacionado com a elevação dos custos operacionais que podem inviabilizar o empreendimento. Desta forma, considerou-se o cenário vii como o que apresentou as melhores características para seleção de áreas para instalação de aterros sanitários.

5 - CONCLUSÃO

Um aspecto importante das metodologias é o papel da comunidade. O propósito básico de participação pública é permitir a introdução das percepções dos cidadãos e grupos de interesse para melhorar a qualidade da decisão. Destacam-se as metodologias propostas por Mc BEAN *et al.*, CANSONI *et al.*, ANDRADE, COELHO e MASSUNARI *et al.*, que introduzem discretamente a participação das comunidades envolvidas através de seus representantes legais (MELO, 2001). Sem esforços válidos para incorporar a opinião pública na seleção e operação de locais, é pouco provável que os locais sejam aprovados.

Em qualquer caso, é necessário entender que o processo de seleção de uma área é um passo extremamente importante que condiciona o futuro desenvolvimento do projeto e exploração do empreendimento às condições naturais do local. A seleção de um local desfavorável poderá ter implicações negativas em termos de custos de construção, de exploração, de manutenção e de reabilitação após o encerramento, bem como, no longo prazo, em termos ambientais. É neste contexto que está inserida a proposta apresentada anteriormente. A metodologia apresentada por MELO (2001) permite o estabelecimento de muitos cenários com variação da compensação entre os fatores e do risco assumido na análise, não apresentando, portanto as limitações e deficiências das propostas relatadas no item 2 e discutidas no item 3.

Também é importante salientar que as informações utilizadas por MELO (2001), que definiram os fatores e as restrições dessa metodologia, foram as disponíveis na época para a área em estudo. Entretanto, para melhorar a qualidade da análise recomenda-se, fortemente, a incorporação de importantes e decisivos aspectos como o geotécnico, a vulnerabilidade física, e o custo do terreno dentre outros.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, F. S.. *Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências/UnB. Brasília, DF, Brasil. 131p; 1999.

Casoni, A. J., Benvenuto, C., Parzaense, G. A. C., Silva, I. C., Albuquerque Filho, J. L., Cunha, M. A. *Disposição final do lixo*. In: Jardim, N. S. (ed.). *Lixo municipal : manual de gerenciamento integrado*. IPT, São Paulo, SP, Brasil. Capítulo IV, p. 73-124; 1995.

Coelho, A. G. *Requisitos geotécnicos dos locais para a implantação dos aterros de resíduos urbanos*. Seminário sobre aspectos geotécnicos do projecto e construção de aterros de resíduos. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, LNEC, Lisboa, Portugal. p. 1-10; 2000.

Kataoka, S. M. *Avaliação de áreas para disposição de resíduos: proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia. EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil. 326p; 2000.

Lange, M. *Geoenvironmental aspects of waste disposal*. *Environmental Geology*. v. 35, n. 1. p 1-18; 1998.

Lima, G. S. *Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 153p; 1999.

Massunari, I. S., Boaventura, M. A., Fontes, U. P., Nascimento, M. C. B., Karmann, I., Hamana, J., Farias, R. L. *Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA*. Revista Limpeza Pública. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 54. São Paulo, SP, Brasil. p. 17-22; 2000a.

Massunari, I. S., Boaventura, M. A., Fontes, U. P., Nascimento, M. C. B., Karmann, I., Hamana, J., Farias, R. L. *Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA (continuação)*. Revista Limpeza Pública. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 55. São Paulo, SP, Brasil. p. 21-23; 2000b.

Mc Bean, E. A.; Rovers, F. A.; Farquhar, G. J. *Solid waste landfill engineering and design*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 521p ; 1995.

Melo, A. L. O. *Avaliação e Seleção de Áreas para Implantação de Aterro Sanitários Utilizando Lógica Fuzzy e Análise Multi-critério*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, UFV, Viçosa - MG, Brasil. 186p; 2001.

Vieira, S. J., & Lapolli, F. R. *Escolha de áreas para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos: Florianópolis- SC*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. (ABES-RIO99). III – 009. p. 1681-1690; 2001.