

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N° 64/1: 33-44
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

FAVORABILIDADE DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS CONTROLADOS NO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Favorability of Areas for Implementation of Controlled Landfill in the City of Campos dos Goytacazes/RJ using Geographic Information System

Fabricia Benda de Oliveira¹, Maria da Glória Alves² & Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira³

¹Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Centro de Ciências Agrárias – Departamento de Engenharia Rural

Alto Universitário, s/n, caixa postal 16 – Guararema – Alegre/ES – CEP: 29500-000

fabriciabenda@cca.ufes.br

²Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

Centro de Ciência e Tecnologia - Laboratório de Engenharia Civil

Av. Alberto Lamego, 2000, Prédio das Oficinas - Parque Califórnia - Campos dos Goytacazes/RJ - CEP: 28013-602

mgloria@uenf.br

³Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG

Campus São João Evangelista

Av. 1º de Junho, 1043 - Centro - São João Evangelista/MG - CEP: 39705-000

carlos.oliveira@ifmg.edu.br

Recebido em 15 Abril, 2011/ Aceito em 24 Julho, 2011

Received on April 15, 2011/ accepted on July 24, 2011

RESUMO

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada na avaliação e seleção de áreas para implantação de aterros controlados com o uso de análise multicritério e sistemas de informação geográfica (SIG). Considerou-se na análise os fatores Pedológico, Geológico-geotécnico, Geomorfológico, Profundidade do lençol freático, Coleção hídrica, Sistema Viário e Núcleos populacionais e as restrições Coleção Hídrica, Sistema Viário, Limite do município e Núcleos populacionais. Foram encontradas 21 áreas maiores que 20 ha, que apresentam adequabilidade considerada alta. O depósito atual de lixo encontra-se sobre uma área de aptidão nula, distante aproximadamente 1 km de regiões que possuem alta aptidão. Os resultados obtidos revelam que o método da análise estratégica de decisão, viabilizada pela potencialidade do SIG, permite a integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas para a implantação de empreendimentos impactantes.

Palavras chaves: Sistemas de Informação Geográfica, Aterro, Favorabilidade.

ABSTRACT

This paper presents the methodology used in the evaluation and selection of areas for deployment of controlled landfills using multicriteria analysis and geographic information systems (GIS). It was considered in analyzing the pedologic,

geotechnic-Geological, Geomorphological, depth of water bed, water collection, Road System and Core population and the Water Collection restrictions, Road System, the city limit and population cores factors. There were 21 areas larger than 20 ha, who have considered high suitability. The current deposit of garbage is over an area of null aptness, about 1 Km away from regions that have high aptness. The results show that the method of strategic analysis decisions, made it possible by the potentiality of GIS allows the integration of spatial information for making decision in the evaluation process and selection of areas to the implementation of projects impacting.

Keywords: Geographic Information Systems, Landfill, Favorability.

1. INTRODUÇÃO

O constante aumento da população e da urbanização, juntamente com os padrões de produção e consumo não sustentáveis, tem levado a um aumento da quantidade e da variedade dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Estima-se que esta quantidade deverá quadruplicar, ou quintuplicar até o ano de 2025, aumentando assim a preocupação, com o desenvolvimento sustentável e com um ambiente saudável (IPT, 1995).

A geração de resíduos faz parte das atividades econômicas da sociedade, e apesar das tentativas de minimizar sua geração, existe uma parte que não pode ser eliminada e a questão é: “Como administrá-la?”.

É necessário que o RSU seja coletado adequadamente e que o mesmo seja depositado em local próprio, pois quando depositados sem qualquer preocupação com as características do meio, levam a freqüentes problemas ambientais, dentre os quais podemos citar: contaminação das águas (superficiais e subterrâneas), aparecimento de focos de doenças, mau cheiro, entre outros.

A proteção do meio contra as conseqüências adversas da disposição dos RSU envolve a análise da migração de contaminantes, levando-se em consideração os locais onde os resíduos são dispostos e a estabilidade desses locais (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

A seleção de áreas adequadas para a disposição de RSU é um processo demorado e dispendioso, envolve exigências legais, construtivas e resistência por parte da população.

De acordo com Zuquette *et al.* (1994), um pequeno número de cidades brasileiras possui local de disposição de rejeitos selecionados através de estudos dos atributos do meio físico, visando à proteção do meio ambiente.

Segundo Pfeiffer (2001), nos últimos anos, pesquisas relacionadas à questão ambiental vêm utilizando o Sistema de Informação Geográfica

(SIG) como ferramenta nos processos de análise e planejamento ambiental. No caso de localização de aterros, essa ferramenta tem mostrado ser útil devido a sua rapidez e integração dos dados. Com a utilização do SIG, é possível combinar informações, aplicar normas e aproximar-se das áreas mais adequadas.

A escolha de áreas para disposição exige critérios rigorosos e busca alcançar equilíbrio entre os aspectos sociais, ambientais e o custo (IPT, 1995).

O presente trabalho, que envolve um estudo de caso no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, visou à seleção de áreas para a implantação de aterros controlados, através de uma metodologia inédita, levando-se em consideração aspectos ambientais, principalmente a pedologia local, por se tratar de um indicador importante quando se trata de localização de aterros. Avaliou-se também a adequabilidade da área onde se encontra o atual depósito de lixo do município. Para tal, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para integração das variáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Campos dos Goytacazes (Figura 1) está localizado na região Norte Fluminense/Baixada litorânea, aproximadamente a 286 km da capital estadual, com uma área de 4.031,91 km², sendo o maior município do estado e possuindo uma população de 463.545 (quatrocentos e sessenta e três e quinhentos e quarenta e cinco) habitantes (IBGE, 2010).

O clima predominante na região é o tropical e se caracteriza por temperaturas médias de 18° ou superiores durante todos os meses do ano.

2.2 Material

Para a realização deste trabalho foram utilizados vários materiais cartográficos temáticos, e suas classes são detalhadas a seguir:



Fig. 1 - Localização do município de Campos dos Goytacazes. Fonte: Modificado de Coridola (2006).

2.2.1 Mapa Pedológico

Costa, Polivanov e Alves (2008), modificaram o mapa de solos na escala de 1:650.000 de CPRM (2001) e compilaram as diferentes unidades pedológicas do Município, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (1999), sendo que as classes de ocorrência mais expressiva no município de Campos dos Goytacazes são: Argissolos (Vermelho-escuro, Vermelho-amarelo e Amarelo), Latossolos (Amarelo e Vermelho-amarelo), Neossolos (Flúvico e Litólico), Cambissolos (Álico e Eutrófico), Espodossolo, Gleissolos e Organossolos.

2.2.2 Mapa de profundidade do Lençol freático

O mapa de profundidade do lençol freático, na escala de 1:650.000, foi confeccionado a partir de dados de profundidades de poços rasos coletados por (COSTA, POLIVANOV e ALVES, 2008), (ROCHA, 2004), (ROSA *et al.*, 2004) e (PROJIR, 1984), e as classes de profundidade geradas foram: 0 – 3,0 metros; 3,1 – 4,5 metros; 4,6 – 6,0 metros; 6,1 – 7,5 metros; 7,6 – 10,0 metros; e 10,1 – 23,0 metros.

Para escolha dos intervalos, levou-se em consideração a NBR 13.896/1997, que considera desejável uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 metros. Áreas que possuam lençol com profundidade inferior a 3,0 metros não devem ser propícias à construção de aterros.

As características naturais do meio físico em relação às águas subterrâneas da área de estudo configuram uma condição de significativa

susceptibilidade à contaminação, devido à pequena profundidade em que se encontra o lençol freático.

2.2.3 Mapa Hidrográfico

O mapa de hidrografia utilizado na análise foi gerado por Ribeiro e Alves (2008). Observa-se que a hidrografia do município é bastante densa, sendo formada por rios e córregos em toda sua extensão, além de canais de drenagem. O principal rio do município é o Paraíba do Sul, que devido a recentes acidentes ambientais e à poluição advinda da urbanização, vem passando por um processo gradativo de poluição e descaracterização da fauna e da flora.

2.2.4 Mapa viário

O mapa viário foi modificado de CIDE, por COSTA, POLIVANOV E ALVES (2008) e consta das principais rodovias e estradas que cortam o município de Campos dos Goytacazes.

2.2.5 Mapa de Núcleos urbanos

O mapa de núcleos urbanos utilizado, contendo as áreas com povoados e o centro urbano do município, foi modificado de IBGE e PMCG, por COSTA, POLIVANOV E ALVES (2008).

2.2.6 Mapa Geológico-geotécnico

O mapa geológico-geotécnico utilizado neste trabalho foi gerado por COSTA, POLIVANOV e ALVES (2008) e traz informações de caráter geral para subsidiar estudos de planejamentos e uso do meio físico. Em sua elaboração foram abordados componentes básicos do ambiente geológico, geomorfológico e pedológico das áreas elevadas e de baixadas.

2.2.7 Mapa Geomorfológico

De acordo com CPRM (2001), a notável diversificação do cenário geomorfológico do estado do Rio de Janeiro deve ser compreendida através de uma singular interação entre aspectos tectônicos e climáticos, que delinearão sua atual morfologia, sendo que como classes de ocorrência mais expressiva no município de Campos dos Goytacazes podemos citar: Domínio Serrano (escarpa da Serra do Imbé e a Serra da Pedra Lisa), Colinas Isoladas (Serra do Imbé), Domínio Suave Colinoso (contato entre as colinas e a Baixada Campista), Domínio Colinoso Suave, Serras Isoladas, Planícies Aluviais, Planícies Costeiras (estende-se entre a localidade

de Farol de São Tomé e o limite do Município de Campos), Planícies Colúvio-Alúvio-Marinha, Planícies Flúvio-Lagunares, Tabuleiros.

2.2.8 Mapa Geológico

As informações sobre a geologia utilizadas neste trabalho foram compiladas de DRM por RAMOS (2006) e pode ser resumidamente dividida em duas partes:

- Formação das rochas do embasamento cristalino (Pré-Cambrianas): onde encontram-se seis unidades geológicas, sendo elas: Unidade São Fidélis, Unidade Bela Joana, Unidade de Santo Eduardo, Unidade Angelim, Unidade Desengano, Corpo Magmático Intrusivo (Granito);
- Formação da Bacia sedimentar (Fanerozóico): onde são relatadas as seguintes unidades geológicas: Sedimentos Terciários, Sedimentos Litorâneos, Sedimentos Fluviais.

2.3 Descrição da Metodologia

A proposta metodológica utilizada neste trabalho compreendeu o levantamento e a análise dos condicionantes, através da aquisição, armazenamento, descrição e posterior análise espacial. Para a avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro utilizou a lógica booleana para confeccionar os mapas de restrições, a lógica fuzzy para normalização dos fatores e a análise multicritério para combinação dos fatores e restrições.

Com base no mapa final de adequabilidade, foi feita ainda uma avaliação da localização geográfica do atual depósito de RSU.

2.3.1 Critérios restritivos (restrições)

As restrições são limitadores das alternativas em consideração, são um tipo de critério que restringem a solução do problema, excluindo áreas de acordo com determinadas condições. Representam restrições absolutas ao empreendimento e descartam todas as áreas que não atende a alguma restrição que elas representam. As restrições são reclassificações onde atribui-se o valor 0 à áreas inaptas e 1 à áreas aptas.

As restrições utilizadas com suas respectivas considerações são listadas abaixo:

- Distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água (de acordo com a NBR 13.896/97)

Fixada em 200 metros visando preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por

efluentes provenientes do aterro, de acordo com o que estabelece a legislação em relação à distância de cursos e corpos d'água. Assim, somente áreas com distâncias de cursos e corpos d'água superiores que a especificada na legislação foram consideradas na análise.

- Distância mínima de 200 metros do sistema viário

Fixada em 200 metros objetivando preservar as áreas de circulação do impacto visual, mau cheiro e de vetores decorrente da construção do aterro. Somente áreas mais distantes do que 200 metros de rodovias são consideradas aptas ao empreendimento, as demais são excluídas da análise.

- Limite do município de Campos dos Goytacazes

Restringe a área de análise aos limites do município, ou seja, somente áreas localizadas dentro do território do município interessam na análise, sendo as demais excluídas.

Convém enfatizar que em muitas análises, o território de um mesmo município torna-se inviável, pois municípios vizinhos podem dispor de áreas muito mais apropriadas para a instalação do aterro, o que torna necessário, uma negociação entre as partes.

- Distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais - sede e distritos (de acordo com a NBR 13.896/97)

Esse critério objetiva minimizar os efeitos negativos provenientes do impacto causado pelo aterro junto à população, minimizando o contato e diminuindo o cheiro desagradável e a poeira provenientes do aterro.

2.3.2 Critérios escalonados (fatores)

Um fator é um critério que realça ou diminui a adequabilidade de uma alternativa específica, para uma atividade ou objetivo, definindo algum grau de aptidão para a área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade (variando de 0 a 255), realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração, naqueles locais fora das restrições absolutas.

Os fatores foram normalizados a partir de aplicação de conjuntos fuzzy, dando a todas as localizações um valor representando seu grau de adequabilidade.

A normalização é um processo de conversão dos valores originais em faixas de adequabilidade ao propósito desejado, aplicando-se os critérios pré-estabelecidos através de pertinência a conjuntos. Sua importância se dá pela necessidade de uniformizar os dados, atribuindo-lhes uma escala em comum para que possam ser cruzados e comparados para a geração de um mapa final para o empreendimento proposto.

2.3.2.1 Justificativas para normalização dos fatores

Pedologia

Para a normalização das classes pedológicas, reclassificou-se o mapa pedológico atribuindo às classes valores de 0 a 255. Essa reclassificação levou em consideração a permeabilidade dos solos e sua capacidade de filtragem, as características que influenciam na classificação dos solos: CTC, permeabilidade, horizonte diagnóstico, saturação por bases, porosidade, atividade da fração argila, textura (granulometria), espessura, etc. Na tabela 1, tem-se a valoração de adequabilidade de cada classe.

Geológico-geotécnico

Para a normalização das classes geológicas-geotécnicas, reclassificou-se o mapa geológico-geotécnico, levando-se em consideração as texturas dos sedimentos que compõem cada classe. Áreas com valores mais altos representam maior adequabilidade ao empreendimento enquanto que áreas com menores valores representam regiões menos adequadas, conforme ser visto nas tabelas 2 e 3.

Geomorfologia

Para a normalização das classes geomorfológicas, reclassificou-se o mapa geomorfológico, levando-se em consideração o relevo da região (conforme podemos ver na tabela 4). Áreas com valores mais altos representam maior adequabilidade ao empreendimento enquanto que

Tabela 1. Normalização das classes pedológicas.

Classe de solo	Valor atribuído
Latossolos: Amarelo e Vermelho-amarelo	255
Argissolo Amarelo	220
Argissolo Vermelho-Amarelo	190
Argissolo Vermelho-Escuro	160
Cambissolos: Eutrófico e Álico	128
Neossolos: Flúvico e Litólico	64
Espodossolo, Gleissolo, Organossolo	0

Tabela 2. Normalização das classes geológica-geotécnicas (unidades de baixada).

Classe geológica-geotécnica	Valor atribuído
Unidades de Baixada	
Solos arenoso-argilosos e argiloso-arenoso sobre substrato aluvial e marinho	64
Associação de Solos orgânicos e argilosos sobre substrato flúvio-lagunar	0
Cordões litorâneos – Solos arenosos sobre substrato marinho	
Solos originados por sedimentos fluviais – granulometria variável, sujeitos a inundações periódicas	

Tabela 3. Normalização das classes geológica-geotécnicas (unidades elevadas).

Classe Geológica-geotécnica	Valor atribuído
Unidade Elevadas	
Suave ondulado	
Depósitos de Formação Barreiras – Solos argilosos e argilo-arenosos sobre substrato fluvial	255
Relevo forte	
Afloramentos de rochas	0
Tálus/Colúvio/Afloramento – depositado nas encostas ou sopés das principais elevações	0
Relevo suave a ondulado	
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Granito	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR/Blocos/Afloramentos	100
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Angelim	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Bela Joana	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Desengano	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade São Fidelis	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Santo Eduardo	200

áreas com menores valores representam regiões menos adequadas.

Profundidade do lençol freático

Para a normalização das classes de profundidade do lençol freático, levou-se em

consideração a NBR 13.896/1997, que considera desejável uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 metros. Áreas que tenham lençol freático com profundidade inferior a 3,0 metros não devem ser propícias à construção de aterros, por serem de alto risco de contaminação. Considerou-se uma profundidade maior na análise para que se tenha menos risco à contaminação dos aquíferos subterrâneos (conforme pode-se ver na tabela 5).

Hidrografia

Para normalização da hidrografia, considerou-se a NBR 13.896/97 sendo que áreas aptas à construção de aterros são localizadas a mais de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água.

Áreas localizadas a menos de 200 metros de coleções hídricas ou cursos d'água, possuem adequabilidade nula (0), a partir de 200 metros, a adequabilidade cresce até 700 metros, a partir da qual se torna constante e máxima (255). Sendo assim, as áreas mais distantes são as mais aptas ao empreendimento proposto.

A função utilizada para normalizar os dados de hidrografia foi a Sigmoidal monotônica crescente (figura 2).

Tabela 4. Normalização das classes geomorfológicas.

Classe geomorfológica	Valor atribuído
Domínio Serrano e Serras Isoladas	0
Colinas isoladas	50
Domínio Colinoso Suave	150
Domínio Suave Colinoso	200
Planície:s Aluviais, Costeiras, Colúvio-Alúvio-Marinha, Flúvio-Lagunares e Tabuleiro	255

Tabela 5. Normalização das classes de profundidade do lençol freático.

Profundidade do lençol freático (m)	Valor atribuído
0 – 3,0	0
3,1 – 4,5	50
4,6 – 6,0	100
6,1 – 7,5	150
7,6 – 10,0	200
10,1 – 23,0	255

Sistema viário

Para normalização dos dados do sistema viário, utilizou-se a função fuzzy J monotônica decrescente (figura 3) e considerou-se que distâncias acima de 700 metros oneram sensivelmente os custos de operação do aterro, e quanto mais longe maior o custo e menor a adequabilidade, uma vez que a abertura de um acesso para a área encarece os custos de implantação e operação do aterro.

Núcleos populacionais

Para normalização do fator núcleos populacionais, utilizou-se a função fuzzy Linear monotônica crescente (figura 4) e considerou-se que acima de 500 metros de distância, onde a adequabilidade é nula (0), a adequabilidade aumenta até atingir 700 metros de distância, a partir dos 700 metros a adequabilidade é máxima (255).

Áreas localizadas entre uma distância de 0 a 500 metros, entre os núcleos populacionais geradores do lixo e o aterro, a adequabilidade é mínima (0). A partir de 500 metros de distância desses núcleos até 700 metros, escalonou-se o valor da adequabilidade, que cresce até atingir adequabilidade máxima (255) na distância de 700 metros, acima do qual a aptidão não apresenta ganhos sensíveis. Logo, quanto mais longe dos

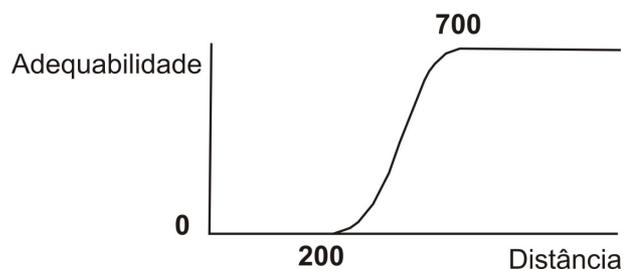


Fig. 2 - Função sigmoideal monotônica crescente.

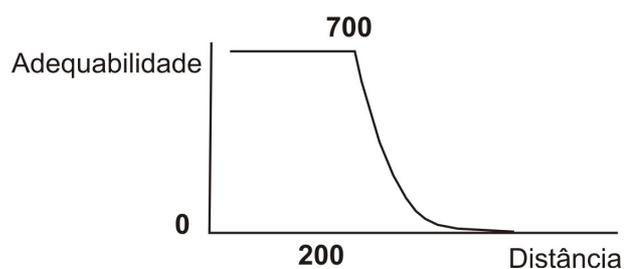


Fig. 3 - Função J monotônica decrescente.

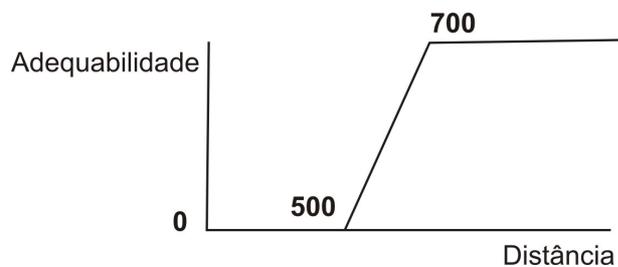


Fig. 4 - Função Linear monotônica crescente.

núcleos populacionais, mais apta a área é à construção do aterro. Esse fator tem por finalidade minimizar o contato da população com a operação do aterro (de acordo com a NBR 13.896/97).

2.3.3 Avaliação de pesos para os critérios

Uma das grandes dificuldades encontradas num processo de decisão que envolve múltiplos critérios é a forma como se deve quantificar a importância relativa entre cada um deles. Assim, se faz necessário atribuir grau de importância relativa de cada critério no processo de decisão, o que é feito atribuindo-se pesos a cada um deles. A correta atribuição dos pesos é importante para que sejam mantidas as preferências do decisor.

Segundo Calijuri (2000), a ponderação do fator é também conhecida como valor de compensação atribuída a cada fator. A ponderação indica a importância relativa de todos os fatores e regula a compensação entre eles. O grau em que um fator pode compensar outro é determinado por seu fator ou compensação de peso.

Considerando-se que as variáveis que interferem na escolha de áreas aptas para a implantação de aterro contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação das variáveis de acordo com sua importância na decisão, atribuindo pesos diferenciados no processo final de decisão.

O peso final de cada variável foi estimado através do método AHP (“Analytical Hierarchy Process” – Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de comparação par-a-par, obtendo-se os pesos para as variáveis utilizadas na presente análise.

2.3.4 Combinação dos critérios

Para obtenção dos mapas finais de adequabilidade, os mapas de cada fator foram combinados pelo procedimento linear ponderado, onde multiplicou-se os mapas de adequabilidade

referentes a cada fator por seu peso específico e em seguida fez-se o somatório de todos estes fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Como se utilizou mapas de restrições (booleanos), o procedimento foi modificado multiplicando-se a adequabilidade calculada por meio da combinação dos fatores pelo produto das restrições (EASTMAN et al., 1995).

$$S = \sum_i W_i * X_i * \prod_j C_j \quad (1)$$

Onde:

S = valor final;

W_i = peso do fator i;

X_i = valor normalizado para o mesmo fator;

C_j = é o valor 0/1 da restrição j.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas referentes aos fatores são apresentados na figura 5. Verifica-se como cada fator irá interferir na análise final, pois estes serão multiplicados por seu respectivo peso e somados, e multiplicados pelas restrições.

A rotina utilizada auxilia o estabelecimento dos pesos finais através da comparação da importância relativa das variáveis duas a duas, diminuindo a subjetividade na decisão. É importante salientar que as comparações foram desenvolvidas de acordo com as ponderações definidas anteriormente.

A seguir é apresentada a matriz de comparação (tabela 6), onde tem-se as comparações par-a-par de todos os fatores e o resultado final dos pesos calculados (tabela 7).

Após a combinação dos fatores e restrições, temos o mapa final de adequabilidade (figura 6) com valores variando de 0 a 255, representando a aptidão das áreas à construção do aterro.

Esse mapa não identifica áreas aptas e inaptas e sim uma superfície de adequabilidade onde todos os pixels possuem um valor de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), resultante da aplicação dos critérios e de sua análise ponderada, que indica sua aptidão individual ao propósito desejado.

A partir dessa superfície é possível estabelecer um limiar para a seleção das melhores áreas, ou efetuar uma hierarquização das células de forma a selecionar apenas as melhores regiões para a implantação do aterro, e sobre este isolar uma ou mais áreas contíguas do tamanho mínimo desejado.



Fig. 5 - Fator Pedológico (A), Fator Geológico-geotécnico (B), Fator Geomorfológico (C), Fator Profundidade do lençol freático (D), Fator Coleção Hídrica (E), Fator Sistema Viário (F) e Fator Núcleos populacionais (G).

Tabela 6. Matriz de comparação dos critérios escalonados (fatores).

Fator*	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	1						
F2	1	1					
F3	1/3	1/3	1				
F4	1/3	1/3	1/3	1			
F5	1/5	1/5	1/5	1/5	1		
F6	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1	
F7	1/9	1/9	1/5	1/7	1/3	1	1

*F1 = Pedologia; F2 = Geológico-geotécnico; F3 = Geomorfologia; F4 = Profundidade do lençol freático; F5 = Hidrografia; F6 = Sistemas viários; F7 = Núcleos populacionais.

Tabela 7. Resultado final dos pesos calculados para os fatores.

Fator	Peso
Pedologia	0,2878
Geológico-geotécnico	0,2878
Geomorfologia	1,1788
Profundidade do lençol freático	1,1347
Hidrografia	1,0625
Sistemas viários	1,0239
Núcleos populacionais	0,0244

Consistência = 0,09 (aceitável)

Dessa forma, os mapas permitem uma visão de como o território do município se comporta em termos de aptidão à implantação do aterro, possibilitando a escolha dos locais dentro de regiões mais aptas que merecem um estudo detalhado.

Observando o mapa pode-se perceber a influência das restrições (sistema viário, núcleos urbanos e hidrografia) no resultado final. Quando analisa-se os fatores, percebe-se a influência do fator pedológico e do fator geológico-geotécnico na análise, pois ambos apresentam uma importância maior, frente aos outros, o que é caracterizado nos pesos obtidos durante o processo de comparação (0,2878 cada). Conclui-se ainda que a imagem final possui muitas áreas com baixa aptidão (inferior a 175).

Torna-se fundamental definir qual a adequabilidade mínima que as áreas devem possuir para que atendam às exigências impostas durante o

processo. Acredita-se, que adequabilidades acima de 200 atendam aos critérios estabelecidos e que acima de 220 são ideais.

Analisando a figura 6, e selecionando-se áreas com adequabilidade superior a 220 e maior que 20 hectares, encontrou-se 21 regiões (conforme pode-se ver na figura 7).

Observando a figura 7, conclui-se que o atual aterro do município (CODIN), não se encontra dentro da área com adequabilidade acima de 220 na análise, estando localizada numa região de adequabilidade nula, ou seja, sem aptidão nenhuma ao empreendimento a que se destina.

Percebe-se também que o depósito atual de lixo, dista aproximadamente de um quilômetro de áreas com aptidão maior que 220. A localização do aterro sobre uma área que não é a melhor, associada aos potenciais impactos inerentes ao aterro, pode causar danos ao meio, por esse motivo, sugere-se

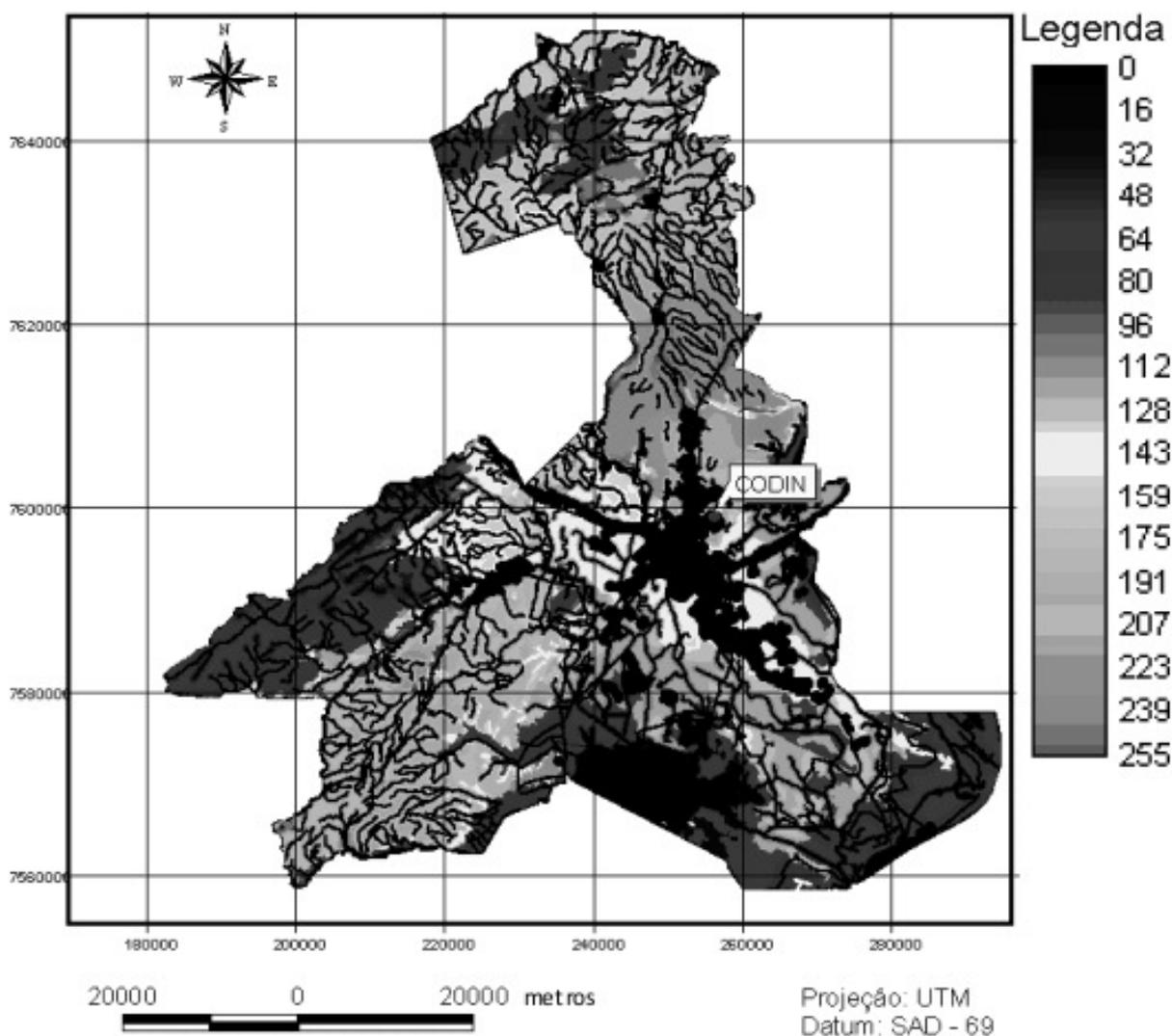


Fig. 6 - Imagem final de adequabilidade utilizando análise multicritério - fatores e restrições.

que a destinação final dos RSU seja deslocada para áreas mais apropriadas, utilizando-se o mapa de adequabilidade como guia. Existem inúmeras alternativas, incluindo áreas não muito distantes da localização atual que podem ser utilizadas caso o deslocamento para locais mais distantes incorram em transtornos não previstos. Além disso, ressalta-se a necessidade de todas as outras medidas desejáveis para uma adequada disposição de RSU.

4. CONCLUSÕES

Os mapas de adequabilidades gerados não identificam áreas aptas ou inaptas, mas representam uma superfície de adequabilidade onde os pixels possuem um valor de 0 (menos apto) a 255 (mais apto).

A análise multicritério, por ser subjetiva, implica em infinitos cenários, dependendo da

normalização aplicada, e deve ser utilizada criteriosamente a fim de não inserir erros na análise.

Utilizando-se o mapa de aptidão como guia, existem inúmeras alternativas possíveis para a instalação do aterro, inclusive levando-se em consideração a atual área de depósito de RSU, caso o deslocamento para locais mais afastados implique em transtornos.

Com as imagens de adequabilidades finais e a área mínima necessária definidas, pode-se selecionar algumas áreas aptas à implantação do empreendimento, o que varia com o valor dessas variáveis.

Localizando-se o atual depósito de lixo do município (CODIN), verifica-se que o mesmo, encontra-se sobre uma área de adequabilidade nula.

Os resultados obtidos no presente trabalho revelam as potencialidades do SIG na integração de informações espaciais para tomada de decisão

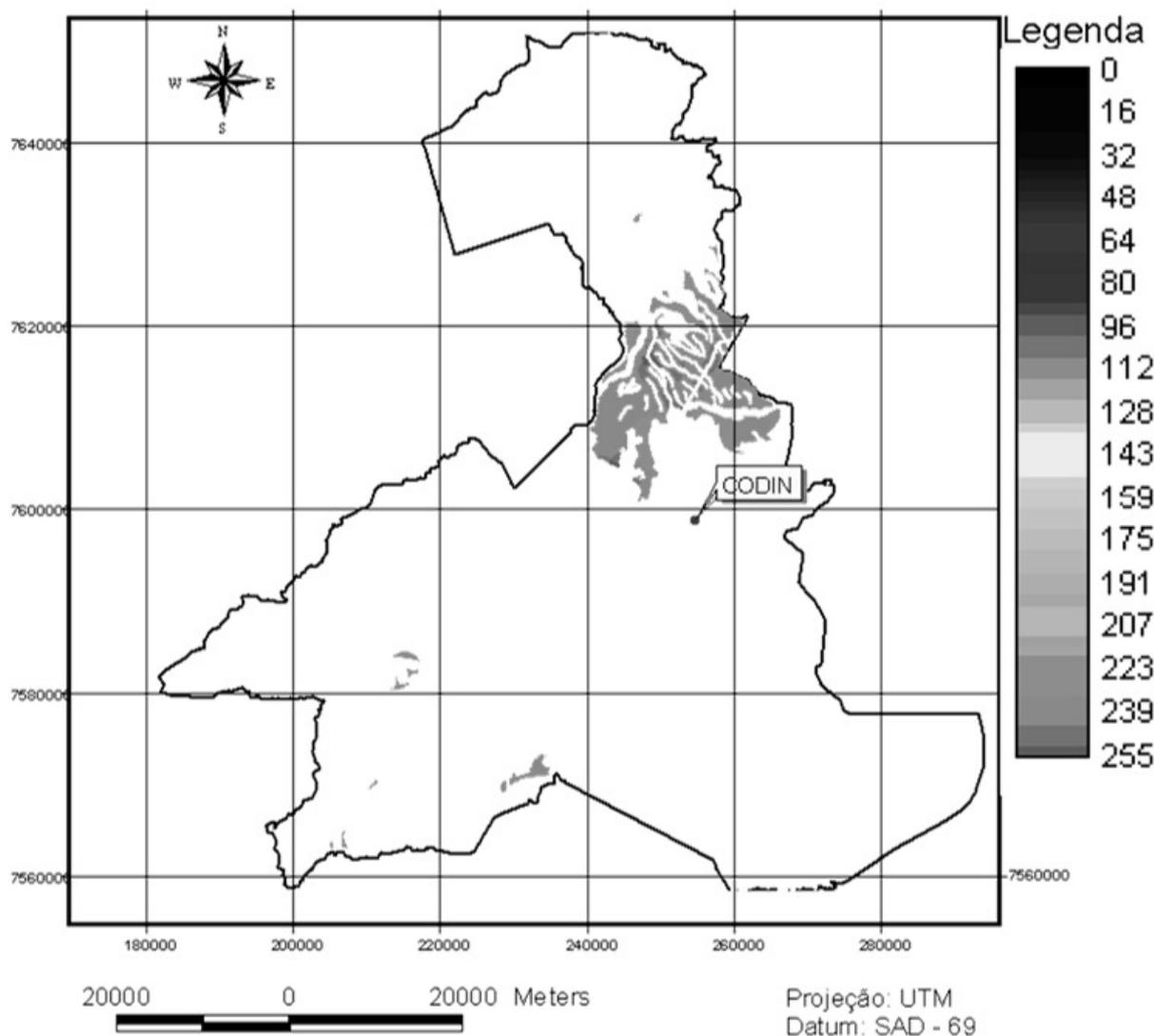


Fig. 7 - Imagem final considerando adequabilidade maior que 220 e área mínima de 20 hectares.

no processo de avaliação e seleção de áreas para a implantação de aterros.

AGRADECIMENTOS

Aos que disponibilizaram dados e mapas que muito contribuíram para este trabalho.

Fabricia Benda de Oliveira agradece a FAPERJ pela concessão da bolsa de estudos de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

CALIJURI, M. L. **Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas.** Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 156p.

CORIDOLA, R. **Análise da vulnerabilidade de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes-RJ utilizando a metodologia GOD e DRASTIC através de técnicas de Geoprocessamento.** 2006. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ, 2006.

COSTA, A. N.; POLIVANOV, H.; ALVES, M. G. Mapeamento Geológico-Geotécnico Preliminar, Utilizando Geoprocessamento, no Município de Campos dos Goytacazes. **Revista Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 31, n. 1, p. 37-51, 2008.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Minas e Metalurgia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. In: **Projeto Rio de Janeiro.** CD-ROM. Brasília. 36p. 2001.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for multicriteria/ multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília/DF: Embrapa, 1999. 410 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados censitários**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2010.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. O Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal. In: JARDIM, N. S. (ed.). **Lixo Municipal Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT. 1995.

PFEIFFER, S. C. **Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o Sistema de Informações Geográficas.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2001.

PROJIR. 1984. Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte-Fluminense. In: **Relatórios Técnicos Setoriais**, volume I, Tomo 1 a 3; Estudos e Levantamentos Pedológicos. Campos dos Goytacazes/RJ. 127p.

RAMOS, I. S. **Os depósitos silto-argilosos da planície de inundação do Rio Paraíba do Sul, em Campos dos Goytacazes/RJ, como fonte de materiais para a indústria de cerâmica vermelha.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ, 2006.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. Análise de Suscetibilidade à Erosão Laminar no Município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 6, n. 1, p. 89-100, 2008.

ROCHA, S. F. **Análise da vulnerabilidade dos aquíferos livres com finalidade de investigação preliminar do risco de contaminação por saneamento in situ - Estudo de caso: Baixada Campista – Campos dos Goytacazes – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ, 2004.

ROSA, C. C. B; ALMEIDA, F. T; SANTOS JÚNIOR, E. L; ALVES, M. G; MARTINS, M. L. L. Qualidade Microbiológica de Água de Poços

Provenientes de Áreas Urbanas e Rurais de Campos dos Goytacazes/RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá/MT. **Anais...** Cuiabá, 2004.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. S e BRITO, S. N. A. (org.) **Geologia de Engenharia**. 1. ed. São Paulo, p. 343-360, 1998.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N. Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: IAEG CONGRESS, 7, 1994, Balkema/Amsterdam. **Anais...**Balkema, 1994.