

Uso de técnicas de geoprocessamento na seleção de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário

Benavenuto José Santiago Neto ¹
Kamila Fontineles de Areia ¹

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Campus Teresina-Central – Praça da Liberdade - Teresina - PI, Brasil
bena_santiago18@hotmail.com
kamilafontineles@gmail.com

Abstract. Studies show that solutions for the final disposal of municipal solid waste can be evaluated, planned and implemented through tools of geotechnologies. The majority of likely impacts caused by the bad management of solid waste could be reduced with the proper layout, through landfills, but there is a need to consider, in addition to the most appropriate method to accommodate these waste, a suitable location to this. This article aimed to select areas with potential for the deployment of landfill sites in the municipality of Teresina/PI, through the use of techniques of geoprocessing, where the same has only one controlled landfill. As for the methodology, it's been used criteria based on current environmental legislation and in publications of components such as CPU and IPT as: distance of road network, water bodies, inhabited areas, geological formations, soil types and steepness of the terrain. These criteria were treated in an environment of GIS in SPRING software. There was also a calculation based on useful life of the landfill, population of the municipality and daily production of garbage in order to establish a minimum area for the size of the landfill to be installed. As a result it was produced a weighted map matching data of all the criteria through the LEGAL language, showing the location of 12 areas suitable to the installation of a sanitary landfill, where only 2 sites met the criterion of minimum area.

Palavras-chave: geoprocessing, sanitary landfill, SPRING, LEGAL language, geoprocessamento, aterro sanitário, SPRING, linguagem LEGAL.

1. Introdução

Para Freitas e Vieira (2007, p. 02) “as geotecnologias têm ocupado, nas últimas décadas, um importante espaço entre as ferramentas computacionais no tratamento de informações em que a localização geográfica é um importante atributo”. Segundo Moraes et al (2010, p. 01) “as geotecnologias, constituíram-se, ao longo dos anos, em uma ferramenta poderosíssima nas avaliações, planejamento e implantação de soluções com relação à destinação final dos resíduos sólidos urbanos”.

A maioria dos prováveis impactos ocasionados pelo mau gerenciamento de resíduos sólidos poderia ser reduzida com a disposição correta, através de aterros sanitários, mas há necessidade de considerar além do método mais adequado para acomodar estes resíduos um local propício para esse propósito. Na sua maioria, a seleção do local para a implantação de um aterro sanitário já parte de um número sintetizado de alternativas pré-definidas, em virtude da complexidade de determinar conjuntamente todo o território potencialmente utilizável para esse propósito. Segundo Weber e Hasenack (2000, p. 02) “O emprego da tecnologia do geoprocessamento para resolver questões como essa possibilita sensíveis ganhos em tempo e qualidade dos resultados, permitindo a realização de avaliações complexas em grandes extensões territoriais”.

Santos e Girardi (2007) em Alegrete-RS propõem para a apreciação dos aspectos mais importantes para a escolha adequada de local para aterro sanitário a cartilha de limpeza urbana desenvolvida pelo CPU - Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas do IBAM em convênio com a Secretaria Nacional de Saneamento - SNS - do Ministério da Ação Social – MAS, onde é necessário observar os seguintes aspectos: propriedade (se a área é governamental ou se está disponível para compra), tamanho da área (a utilidade deve ser de, no mínimo, 10 anos), localização da área (não deve estar localizada a mais de 15 km da zona

de coleta e deve estar afastada no mínimo 2 km de zonas residenciais), apresentar vias de acesso em boas condições, estar afastado de aeroportos, estar longe de nascentes e cursos d'água, apresentar redes de energia, telefone e outros serviços. E necessário atentar-se também para características topográficas, tipos de solo e águas subterrâneas CBU/IBAM, (1998). Eles também consultaram o Instituto de Pesquisa Tecnológica-IPT/SP (1995), que citam alguns critérios para seleção, como: dados geológicos-geotécnicos, pedológicos, geomorfológicos, dados sobre águas subterrâneas e superficiais, sobre clima e dados sobre a legislação e socioeconômicos.

Este trabalho tem como objetivo aplicar uma metodologia de localização de áreas com potencial para implantação de aterros sanitários no município de Teresina, localizado na região Centro-Norte do Estado do Piauí, pois as atuais áreas destinadas para este fim é um aterro controlado que se encontra já na área urbana da cidade e por vários lixões espalhados pela cidade, que causam sérios impactos ambientais, como poluição do lençol freático. A grande quantidade de urubus que há pela cidade também é causada por isso.

2. Metodologia de Trabalho

Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Teresina é um município com 1.392,00 km² de área, com 814.230,00 habitantes, localizada no Centro-Norte Piauiense como mostra na Figura 1, com coordenadas geográficas de latitude 05° 05' 20" ao sul e longitude 42° 48' 07" a oeste, onde as principais atividades econômicas são comércio, serviços e indústria.

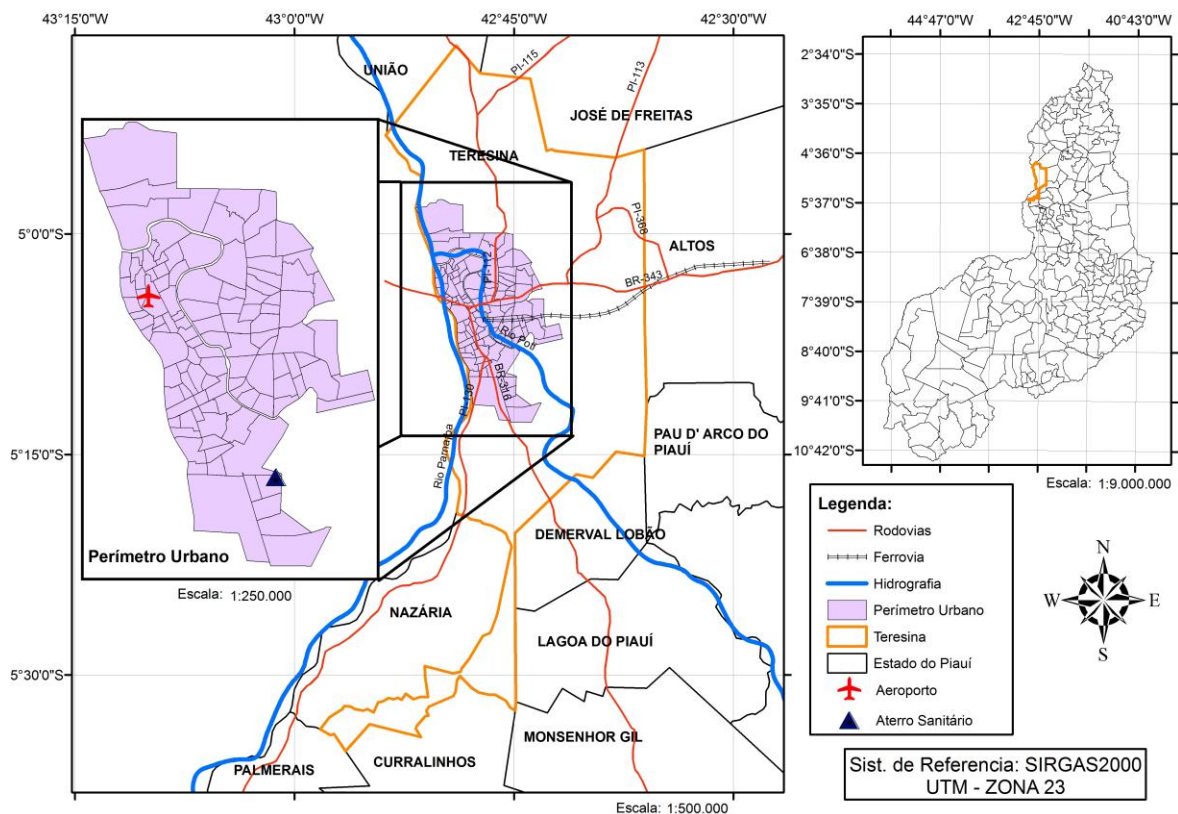


Figura 1. Mapa de localização de Teresina/PI, assim como o aterro controlado e aeroporto do município.

Em primeiro lugar foi considerado à vida útil para o aterro sanitário de 20 anos (2012-2032) e estando localizado a, no mínimo, 20 km da zona urbana, foram realizados cálculos para a obtenção da área mínima destinada à localização do aterro sanitário.

Para estimar a população da cidade no ano de 2032, a seguinte equação (Equação 1) é utilizada:

$$\text{Pop}_f = \text{P}_0 \cdot (1 + d)^t \quad (1)$$

Nesta equação o P_0 é a população atual, d é a taxa de crescimento anual e t o tempo em anos. Assim, para uma população atual de 814.230,00 habitantes e uma taxa de crescimento anual estimada de 1,30% IBGE (2010), tem-se:

$$\text{Pop}_{2032} = 814.230,00 \cdot (1 + 0,013)^{20} = 1.054.231,54 \quad (2)$$

Conhecendo-se a população em 2032, é preciso estimar o volume de lixo produzido. Segundo Mesquita (1999, *apud* SANTOS; GIRARDI, 2007), produzem-se 0,8 kg/hab.dia de lixo domiciliar. A quantidade de lixo produzida em 2032, portanto, será dada pela por:

$$Q_{2032} = 1.054.231,54 \cdot 0,8 = 843.385,24 \text{ kg/dia} \quad (3)$$

Agora, pode-se estimar o volume de lixo produzido diariamente. De acordo com Haddad (1994, *apud* SANTOS; GIRARDI, 2007), o peso específico do lixo compactado é $\text{Pe} = 500$ a 700 kg/m^3 . Portanto, considerando o pior caso ($\text{V}_{\text{diário}} = 843.385,24/700 = 1.204,84 \text{ m}^3/\text{dia}$), o volume produzido em 2032 será:

$$V_{2032} = 1.204,84 \cdot 365 \cdot 20 = 8.795,332 \text{ m}^3 \quad (4)$$

Por fim, a área mínima para o Aterro Sanitário pode ser calculada. Cogitando-se uma altura máxima (h) de 6 metros na qual o lixo pode ser empilhado, tem-se:

$$A_{\text{mínima}} = V_{2032}/h = 146,59 \text{ ha} \quad (5)$$

Portanto, a área mínima que deve ser reservada para a implantação de um aterro sanitário com vida útil de 20 anos no município de Teresina deve ser de 146,59 ha.

Os critérios adotados para a seleção das áreas foram: distância da malha viária, corpos hídricos, zonas habitadas, formações geológicas, tipos de solo e declividade do terreno. Para estes critérios foram atribuídas notas para ponderação. Os critérios de seleção e as notas utilizadas na ponderação adotados levaram em consideração os trabalhos de Santos e Girardi (2007), Montañó et al (2012) e órgãos como CPU e IPT.

Todo o processo de criação de mapas de distâncias, fatiamento de classes e ponderação foi realizado no *software* SIG - Sistemas de Informações Geográficas SPRING desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Os mapas gerados foram ponderados com pesos subjetivos presentes na Tabela 1 – a, b, c, d, e, f.

Tabela 1. (a) Pesos do mapa de declividade, (b) Pesos do mapa de distância da zona urbana e povoados da zona rural, (c) Pesos do mapa de distância da malha viária, (d) Pesos do mapa de distância dos corpos hídricos, (e) Pesos do mapa geológico e (f) Pesos do mapa de solos.

Classificação	Declividade	Nota
Imprópria	entre 2 e 8%	0
Regular	inferior a 2% ou entre 8 e 15%	2
Boa	entre 15 e 20%	7
Próprio	superior a 20%	10

Classificação	Distância	Nota
Péssima	> 20 km	0
Imprópria	0 a 2 km	3
Regular	10 a 20 km	5
Bom	5 a 10 km	7
Próprio	2 a 5 km	10

Classificação	Distância	Nota
Impróprio	> 1 km	2
Boa	500 a 1 km	5
Excelente	< 500 m	10

Classificação	Distância	Nota
Imprópria	0 a 200 m	0
Regular	200 a 400 m	5
Próprio	maior que 400 m	10

(e)			(f)		
Classificação	Litologia	Nota	Classificação	Tipo	Nota
Imprópria	Formação Piauí	0	Péssima	Água	0
Regular	Formação Pastos Bons	5	Péssima	Solos Litólicos	0
Próprio	Formação Pedra de Fogo	10	Péssima	Solos Aluviais	0
			Imprópria	Brunizem Avermelhado	2
			Bom	Podzólico Vermelho Amarelo	7
			Próprio	Latossolo Amarelo	10

Para a realização desta ponderação foi utilizada a linguagem LEGAL do SPRING e criados códigos para que os mapas de distâncias fatiados fossem ponderados com os pesos citados anteriormente, como exemplo segue o código usado na ponderação do mapa de declividade na Figura 2.

```

{
// Parte 1- Declaracao
// Definição de Variaveis
Tematico FatDecliv("MapaDeclividade");
Tematico FatDecliv2("MapaDeclividade");
Tabela tabpeso (Ponderacao);
Numerico Declivpeso ("DeclivPond");
// Definição da Tabela de Pesos
tabpeso = Novo (CategoriaIni = "MapaDeclividade", "Imprópria": 0, "Regular" : 2, "Boa" : 7,
"Própria" : 10);
// Parte 2 - Instanciacao
// Recuperacao do mapa da declividade
FatDecliv = Recupere (Nome = "FatDecliv");
FatDecliv2 = Recupere (Nome = "FatDecliv2");
// Criacao do novo mapa da declividade ponderado
Declivpeso = Novo (Nome = "declive_p", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 100000);
// Parte 3 - Operacao de Ponderacao
Declivpeso = Pondere (FatDecliv, tabpeso);
Declivpeso = Pondere (FatDecliv2, tabpeso);
}

```

Figura 2. Código na linguagem Legal para a ponderação do mapa de declividade.

Os produtos gerados no SIG SPRING, que serviram de base para o mapa final, e suas respectivas fontes foram:

- Declividade ponderada, gerado através dos arquivos TOPODATA do INPE e apresentado na Figura 3-a;
- Mapa de distância fatiado e ponderado da zona urbana do município, gerado a partir de um arquivo *shapefile* disponibilizado pela PRODATER – Empresa de Processamento de Dados de Teresina e apresentado na Figura 3-b;
- Mapa de distância fatiado e ponderado dos povoados da zona rural do município, gerado a partir de um arquivo *shapefile* disponibilizado pela PRODATER e apresentado na Figura 3-c;
- Mapa de distância fatiado e ponderado da malha viária do município, gerado a partir das cartas DSG – Divisão Serviço Geográfico do exército de Teresina, José de Freitas e São Pedro do Piauí e apresentado na Figura 3-d;
- Mapa de distância fatiado e ponderado dos corpos hídricos do município, gerado a partir das cartas DSG do exército de Teresina, José de Freitas e São Pedro do Piauí e apresentado na Figura 3-e;
- Mapa geológico do Piauí ponderado, gerado a partir de um arquivo *shapefile* disponibilizado pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e apresentado na Figura 4-a;

- Mapa de solos de Teresina ponderado, gerado a partir de um arquivo disponibilizado pela EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e apresentado na Figura 4-b.

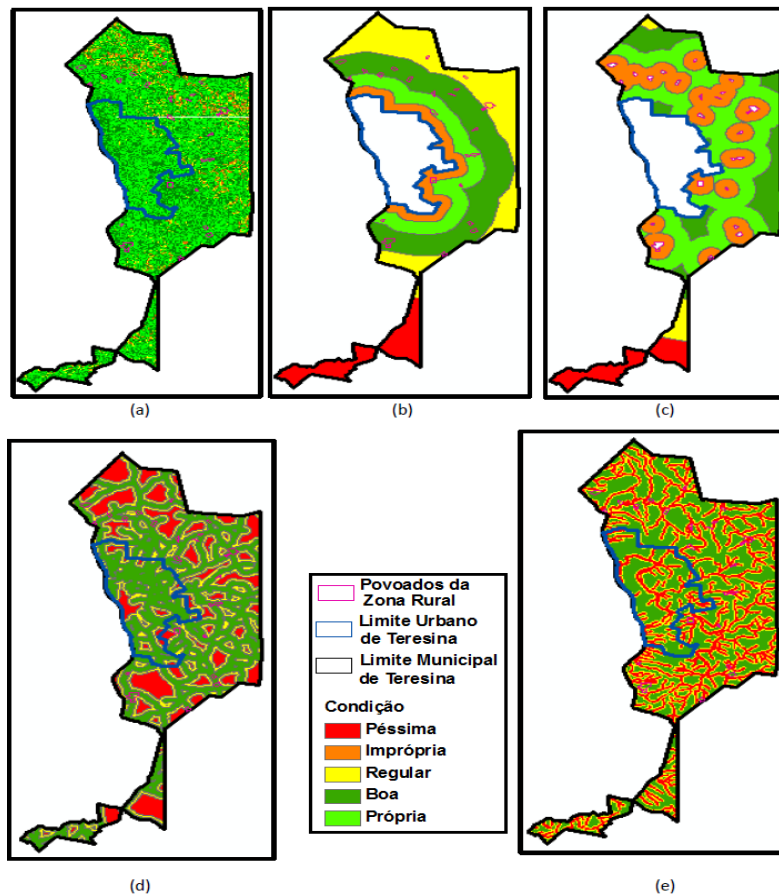


Figura 3. (a) Mapa de Declividade, (b) Mapa de distâncias da zona urbana, (c) Mapa de distâncias dos povoados da zona rural, (d) Mapa de distâncias da malha viária e (e) Mapa de distâncias dos corpos hídricos.

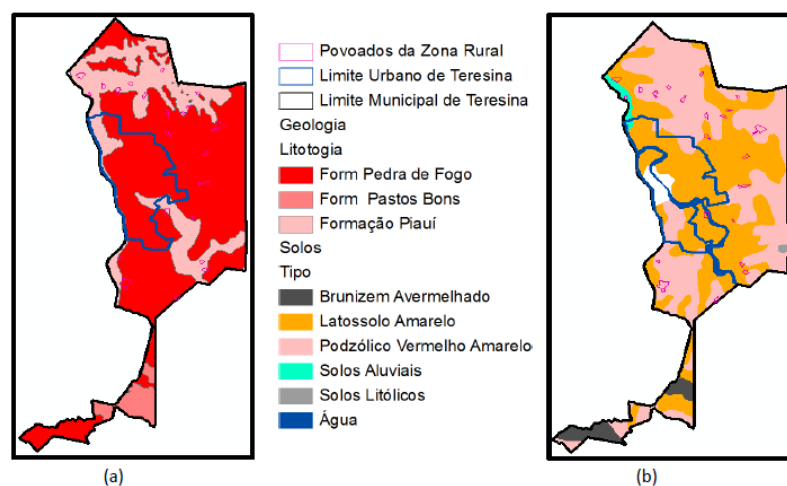


Figura 4. (a) Mapa Geológico e (b) Mapa de solos.

O mapa final de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário foi produzido através da álgebra de mapas, onde todos os mapas ponderados citados anteriormente foram sobrepostos por meio de um código da linguagem LEGAL mostrado na Figura 5 gerando um mapa ponderado com o confrontamento das notas de todos os critérios. Este mapa final

ponderado foi fatiado de acordo com as classes da Tabela 2 apresentando o resultado final na Figura 6.

```

{
Numerico Aterroresult ("AterroPond");
Numerico DecliveP ("DeclivPond");
Numerico PovoadosP ("ZonRuralPond");
Numerico GeologiaP ("GeologiaPond");
Numerico SoloP ("SolosPond");
Numerico viasP ("viasPond");
Numerico DrenP ("DrenPond");
Numerico ZonUrbanaP ("ZonUrbanaPond");
DecliveP = Recuperar (Nome = "DecliveP");
GeologiaP = Recuperar (Nome = "GeologiaP");
SoloP = Recuperar (Nome = "SoloP");
PovoadosP = Recuperar (Nome = "PovoadosP");
viasP = Recuperar (Nome = "viasP");
DrenP = Recuperar (Nome = "DrenP");
ZonUrbanaP = Recuperar (Nome = "ZonUrbanaP");
Aterroresult= Novo( Nome= "AreasAterro", ResX=30, ResY=30, Escala = 100000);
Aterroresult= (DecliveP*viásP*DrenP*ZonUrbanaP*PovoadosP*GeologiaP*SoloP)^0,1428571428571429;
}
    
```

Figura 5. Código da linguagem LEGAL utilizado para gerar o mapa final ponderado.

Tabela 2. Classes e pesos do mapa final.

Nota das áreas	Conceito das áreas
0-2	Péssima
2-4	Imprópria
4-7	Regular
7-10	Boa
10	Própria

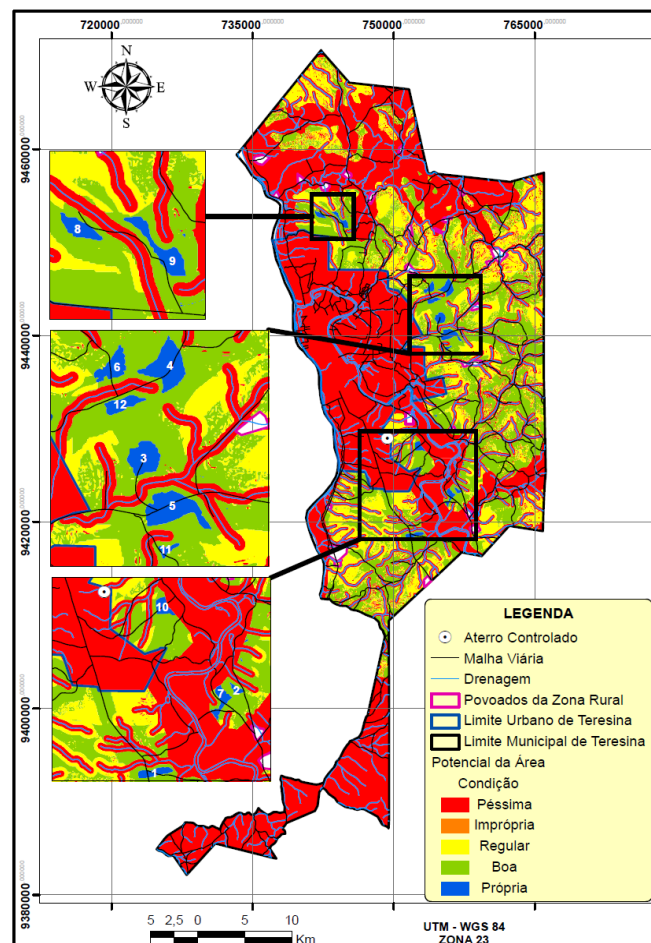


Figura 6. Mapa final com as áreas com potencial para implantação de aterro sanitário.

3. Resultados e Discussões

Com o mapa final apresentado na Figura 6, foram identificadas 12 áreas, como mostra a Tabela 3, com potencial para implantação de aterro sanitário, sendo que apenas 2 (a de número 4 com 147,14 ha e a de número 5 com 171,18 ha) atendem a área mínima estabelecida pelo cálculo que foi de 146,59 ha.

Tabela 3. Valores em hectares das áreas com potencial para implantação de aterro sanitário.

ID	Área/ha
1	72,0639
2	21,321
3	100,764
4	147,1356
5	171,17865
6	68,35275
7	81,4581
8	43,1829
9	74,3319
10	63,74904
11	14,661
12	48,2067

Estas áreas selecionadas têm de serem avaliadas *in loco*, pois precisão ser submetidas também a critérios socioeconômicos, de disponibilidade da terra, conservação das vias de acesso, disponibilidade de serviços de energia, telefonia, internet e água encanada, que não podem ser abordados com o uso do geoprocessamento. Outro critério que também deve ser abordado é a direção dos ventos, pois se estes soprarem em direção à zona urbana a área deve ser rejeitada e tomada como imprópria.

Outro fator importante constatado neste trabalho é a localização atual do aterro controlado no município, pois o mesmo já se encontra dentro da área urbana, como mostra a Figura 6, infringindo um dos principais critérios estabelecido pela legislação ambiental. Além desse aterro controlado existem também outros lixões espalhados pela cidade, todos eles instalados em locais impróprios.

4. Conclusões

A utilização do geoprocessamento, em especial do SIG, se mostrou bastante satisfatório na execução deste trabalho, sendo que possibilitou a utilização de diversos dados cartográficos confrontando-os para obter o resultado desejado.

Análises ambientais aliadas ao uso do geoprocessamento ganham bastante em economia e resultados, pois possibilita o estudo prévio de grandes áreas sem contato com as mesmas.

O SPRING, SIG utilizado neste trabalho, possibilitou através da linguagem de programação LEGAL a inserção de pesos nos diversos mapas usados como critérios assim como a álgebra que resultou no mapa final de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário, possibilitando assim uma delimitação maior nas áreas a serem investigadas nos trabalhos de campo de seleção de área. Esta delimitação proporciona redução de custos financeiros e ganho de tempo de quem realiza o trabalho.

Referências

Camara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., Garrido, J. **SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. In: Computers & Graphics, 20: (3) 395-403. May-Jun. 1996.

CPU/IBAM – Centro de Pesquisas Urbanas do Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **O que é preciso saber sobre limpeza urbana – tratamento e disposição final do lixo**. 1998. 18 p. (Secretaria Nacional de Saneamento – SNS – do Ministério da Ação Social – MAS).

EMBRAPA Solos. UEP Recife, 2006, Disponível em <www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html> Acesso em 25. out. 2012.

Freitas, C. E. R.; Vieira, V. C. B. **Uso do geoprocessamento para auxiliar a segurança pública no mapeamento da criminalidade em Teresina – PI**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa. Disponível em: <http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080922_104353_GEOM-017.pdf>. Acesso em: 22 out. 2012.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: Retratos do Brasil e do Piauí**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/censo_2010_piaui.pdf> Acesso em: 27 out. 2012.

IBGE. **Dados Básicos População de Teresina-PI**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=221100>> Acesso em: 27 out. 2012.

INPE. **Manual da linguagem Legal**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/legal.Htm>> Acesso em: 25 de out. 2012.

IPT. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S. A.). Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), 1995. 296 p. (Publicação IPT 2163).

Montaño, M.; Ranieri, V. E. L.; Schalch, V. ; Fontes, A. T.; Castro, M. C. A. A.; Souza, M. P. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 61-70, 2012.

Moraes, I. S.; Ferreira, H. S.; Oliveira, S. F. C. **A Utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém-PA**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. Recife. **Anais...** Recife: 2000. Artigos, p. 001-004 Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/CartografiaeSIG/SIG/R_215.pdf>. Acesso em: 24 out. 2012.

Santos, J. S.; Girardi, A. G. **Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Artigos, p. 5491-5498. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.52/doc/5491-5498.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2012.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. **Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data**. Applied Geography (Sevenoaks), v. 32, p. 300-309, 2011.

Weber, E; Hasenack, H . **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. In: VI Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina, 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: 2000. Artigos, p. 3175-3182. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/artigos/aterro.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2012.