

Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS

Juliana Silveira dos Santos
Alessandro Gonçalves Girardi

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS/Alegrete
Av. Assis Brasil, 960 – Alegrete – RS, Brasil
{juliana-04100731, alessandro-girardi}@uergs.edu.br

Abstract. The goal of this work is to describe the results obtained by using satellite images, geoprocessing techniques and remote sensing in order to find proper places for implanting a sanitary landfill in the county of Alegrete, Rio Grande do Sul, Brazil. Several criteria were used for the determination of the correct areas, such as minimum distance from the urban zone, water flows, roads and airports, land declivity, vegetal covering, etc. At the end of the research some regions were eliminated for not following the established criteria, and the remaining were considered in good conditions for installing a sanitary landfill.

Palavras-chave: remote sensing, geoprocessing, sanitary landfill, sensoriamento remoto, geoprocessamento, aterro sanitário.

1. Introdução

Segundo Silva e Zaidan, (2004), o aterro sanitário é a forma de dispor o lixo sobre o solo, compactando-o com trator, reduzindo-o ao menor volume permissível e recobrando-o com camada de terra compactada, na frequência necessária (ao menos, diariamente), de modo a ocupar a menor área possível.

Fonseca, (1999) argumenta que o principal objetivo do aterro sanitário é dispor os resíduos sólidos no solo, de forma segura e controlada, garantindo a preservação do meio ambiente, a higiene e a saúde pública. Mas, sem dúvida, os aterros também servem para recuperar áreas deterioradas, tais como: pedreiras abandonadas, grotas, escavações oriundas de extração de argila e areia e regiões alagadiças. Quando se tratar de áreas para atender aos dois objetivos citados, devem ser feitos estudos apropriados para garantir as condições sanitárias do aterro e o não comprometimento do lençol freático da área em questão.

É necessário analisar vários critérios para indicar áreas apropriadas a aterro sanitário. Dois órgãos, baseados em estudos técnicos, propõem os aspectos mais importantes para a escolha adequada de local para aterro sanitário. De acordo com o Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas - CPU/IBAM -, é preciso 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. Deve-se observar também características topográficas, tipos de solo e águas subterrâneas CBU/IBAM, (1998). Segundo o Instituto de Pesquisa Tecnológica-IPT/SP, os critérios para seleção são: dados geológicos-geotécnicos, pedológicos, geomorfológicos, dados sobre águas subterrâneas e superficiais, sobre clima e dados sobre a legislação e socioeconômicos IPT, (1995).

Este trabalho tem como objetivo aplicar uma metodologia de localização de áreas propícias para a instalação de aterros sanitários no município de Alegrete, localizado na região oeste do Estado do Rio Grande do Sul, pois a atual área destinada para este fim (o que existe atualmente é um aterro controlado) está próxima da sua capacidade máxima e uma nova área deve ser adquirida a médio prazo. Os critérios de seleção adotados levaram em consideração as características locais do relevo, da cobertura vegetal, da direção dos ventos,

além do plano diretor municipal Prefeitura Municipal de Alegrete, (2006). A utilização das técnicas de sensoriamento remoto são as mais indicadas para uma análise preliminar das áreas candidatas ao aterro Silva e Zaidan, (2004). Através da análise de imagens de satélite é possível realizar o estudo de locais apropriados, pois as imagens do satélite Landsat 5, por exemplo, com resolução de 30m, nos permitem a visualização de estradas, rios e área urbana, sendo possível também o mapeamento da cobertura vegetal. O resultado desta análise proporciona algumas opções de áreas que estão dentro dos critérios exigidos. Uma posterior análise *in-loco* destas áreas é necessária para complementar o estudo realizado, como, por exemplo, para a verificação das características geomorfológicas, litológicas e pedológicas da região. As vantagens de se utilizar imagens de satélite, neste caso, são a rapidez e o baixo custo com que as análises podem ser feitas, evitando deslocamentos que geram gastos, por vezes desnecessários.

2. Metodologia

Utilizou-se imagens do satélite Landsat 5 e o SIG Spring desenvolvido pelo INPE Câmara et. al, (1996), através dos quais foram obtidos mapas da região em estudo de declividade (**fig. 1-a**), uso do solo (**fig. 1-b**), estradas, rios, aeroporto, áreas de preservação ambiental e distância da cidade e zona urbana.

Os critérios analisados para o trabalho foram baseados nos estudos dos órgãos citados anteriormente. No entanto, algumas modificações foram feitas para que os critérios se adequassem à realidade local. Os aspectos propostos foram os seguintes: tamanho da área e tempo de vida útil do aterro sanitário de, no mínimo, 20 anos, proximidade da zona de coleta (no máximo a 20km de distância), via de acesso em boas condições, distância de mais de 1,5km de aeroportos, afastamento mínimo de 2km de zonas residenciais, distância de mais de 200m de nascentes, corpos d'água e rios, posicionamento adequado em relação aos ventos dominantes e concordância com as leis ambientais.

Depois de obtidos os mapas, utilizando-se a linguagem de programação Legal INPE, (2005) e considerando os critérios citados acima, foram atribuídas notas subjetivas de 0 a 10 às regiões, refletindo a sua propensão a abrigar um aterro sanitário, de acordo com os critérios estabelecidos. Após, realizou-se uma sobreposição destes mapas, com a qual calculou-se a média geométrica das notas atribuídas a cada pixel, de modo que as áreas com alguma nota 0 (restrição total em relação a algum aspecto) fossem consideradas automaticamente como impróprias.

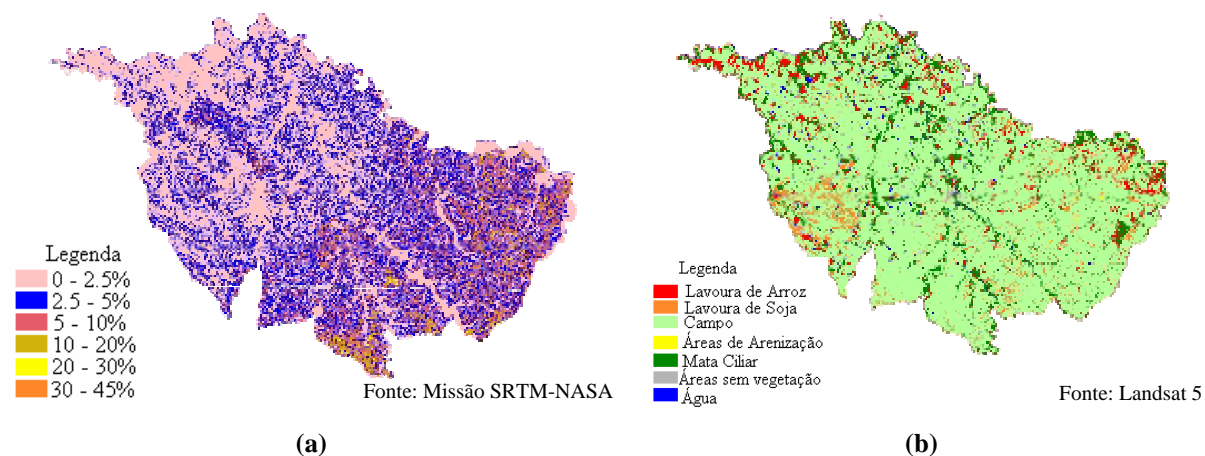


Figura 1. Mapas de declividade (a) e uso do solo (b) do município de Alegrete realizado através do software Spring.

3. Resultados

Primeiramente, considerando uma vida útil para o aterro sanitário de 20 anos (2006-2026) 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 2026, a seguinte equação é utilizada:

$$Pop_f = P_0 \cdot (1 + d)^t \quad (1)$$

onde 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 88.000 habitantes e uma taxa de crescimento anual estimada de 0.5%, tem-se:

$$Pop_{2026} = 88.000 \cdot (1 + 0.005)^{20} = 97.230 \quad (2)$$

Sabendo-se a população em 2026, é preciso estimar o volume de lixo produzido. Segundo Mesquita, (1999), produzem-se 0,8 kg/hab.dia de lixo domiciliar. A quantidade de lixo produzida em 2026, portanto, será dada por:

$$Q_{2026} = 97230 \cdot 0,8 = 77784kg / dia \quad (3)$$

Agora, pode-se estimar o volume de lixo produzido diariamente. Segundo Haddad, (1994), o peso específico do lixo compactado é $P_e = 500$ a $700kg/m^3$. Portanto, considerando o pior caso ($V_{diário} = 77784 / 700 = 111,12m^3 / dia$), o volume produzido em 2026 será:

$$V_{2026} = 111,12 \cdot 365 \cdot 20 = 811,176m^3 \quad (4)$$

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

$$A_{mínima} = V_{2026} / h = 13,5196ha \quad (5)$$

Assim, a área mínima que deve ser reservada para a implantação de um aterro sanitário com vida útil de 20 anos no município de Alegrete deve ser de 13,5ha. A partir dos critérios adotados para a instalação do aterro sanitário, foram geradas tabelas (**tabelas 1, 2 e 3**) de pesos subjetivos (notas) às regiões dos mapas de acordo com a distância em relação a rios, estradas, zona urbana e aeroportos, conforme mostrado na **figura 3**.

Tabela 1. Notas atribuídas ao mapa de distância de rios.

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

Tabela 2. Notas atribuídas ao mapa de distância de estradas.

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

Tabela 3. Notas atribuídas ao mapa de distância da zona urbana.

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

Tabela 4. Notas atribuídas ao mapa de distância de aeroportos.

Classificação	Distância	Nota
Imprópria	0 a 1,5 km	0
Próprio	maior que 1,5 km	10

Os mapas temáticos de distâncias foram gerados no Spring a partir de informações em formato vetorial. Por exemplo, para a geração do mapa de distâncias das estradas, realizou-se a edição vetorial das estradas a partir de um mapa rodoviário, a geração de um modelo numérico de distâncias de cada estrada e o fatiamento deste modelo numérico, obtendo-se um mapa temático de acordo com a tabela de classes. Finalmente, através da linguagem Legal, foram atribuídas notas a cada classe fatiada, gerando novamente um modelo numérico onde a cada pixel está associada uma nota que corresponde à distância à estrada mais próxima. O código em linguagem Legal utilizado para esta última etapa está mostrado na **figura 2**.

```
{
Tematico Cidade ("Fat_distancia_estradas");
Tabela ponderaCidade (Ponderacao);
Numerico Cidadepond ("Ponderacao");
// Definicao da Tabela de Pesos
ponderaCidade = Novo CategoriaIni="Fat_distancia_estradas",
"Excelente" : 10, "Boa": 5, "Ruim" : 2);
// Instanciacao do mapa tematico
Cidade= Recuperar (Nome= "buffer_estradas");
Cidadepond= Novo (Nome= "Estradas_numerico", ResX= 30, ResY=30, Min= 0,
Max= 10);
Cidadepond= Pondere (Cidade, ponderaCidade);
}
```

Figura 2. Código em linguagem de programação Legal utilizado para gerar mapa numérico de notas em relação à distância de estradas.

Além do mapa de estradas, mostrado na **figura 3-b**, os seguintes mapas de distâncias também foram gerados com o mesmo procedimento: rios (**figura 3-c**), aeroporto (**figura 3-d**) e zona urbana (**figura 3-a**). Para evitar que áreas rurais produtivas fossem escolhidas como propícias para aterro sanitário, analisou-se também o mapa do uso do solo da região (**figura 1-b**). Este mapa foi obtido através da classificação de imagens do satélite Landsat 5 de 05 de fevereiro de 2005 (cenas 224-80 e 224-81), mostrando as principais classes de uso do solo de acordo com as características agrícolas e ambientais da região (lavoura de arroz, lavoura de soja, mata nativa, campo, área sem vegetação, áreas de arenização e água). As notas para cada classe foram atribuídas empiricamente e estão mostradas na **tabela 5**. As notas foram escolhidas de modo a evitar que áreas cultivadas, de mata nativa ou de arenização fossem consideradas próprias para a instalação de um aterro sanitário. Da mesma maneira que nos mapas de distância, neste caso também foi gerado um modelo numérico a partir do mapa classificado, onde cada pixel contém o valor da nota atribuída.

Tabela 5. Tabela mostrando as notas dadas ao mapa de Uso do Solo.

Classificação	Nota
Campos	10
Lavoura de arroz	2
Lavoura de soja	2
Mata nativa	0
Água	0
Áreas de arenização	0
Áreas sem vegetação	7

No mapa de declividade não foram necessárias análises mais profundas, pois em um raio de 20 km da zona urbana não são encontradas áreas de alta declividade (maior que 20%), as quais não seriam adequadas para a instalação de um aterro sanitário, como mostrado na **fig. 1-a**, pois o município concentra-se em uma região plana e sem elevações. Portanto a declividade do terreno não se torna um fator limitante para o trabalho, bastando uma inspeção visual dos mapas.

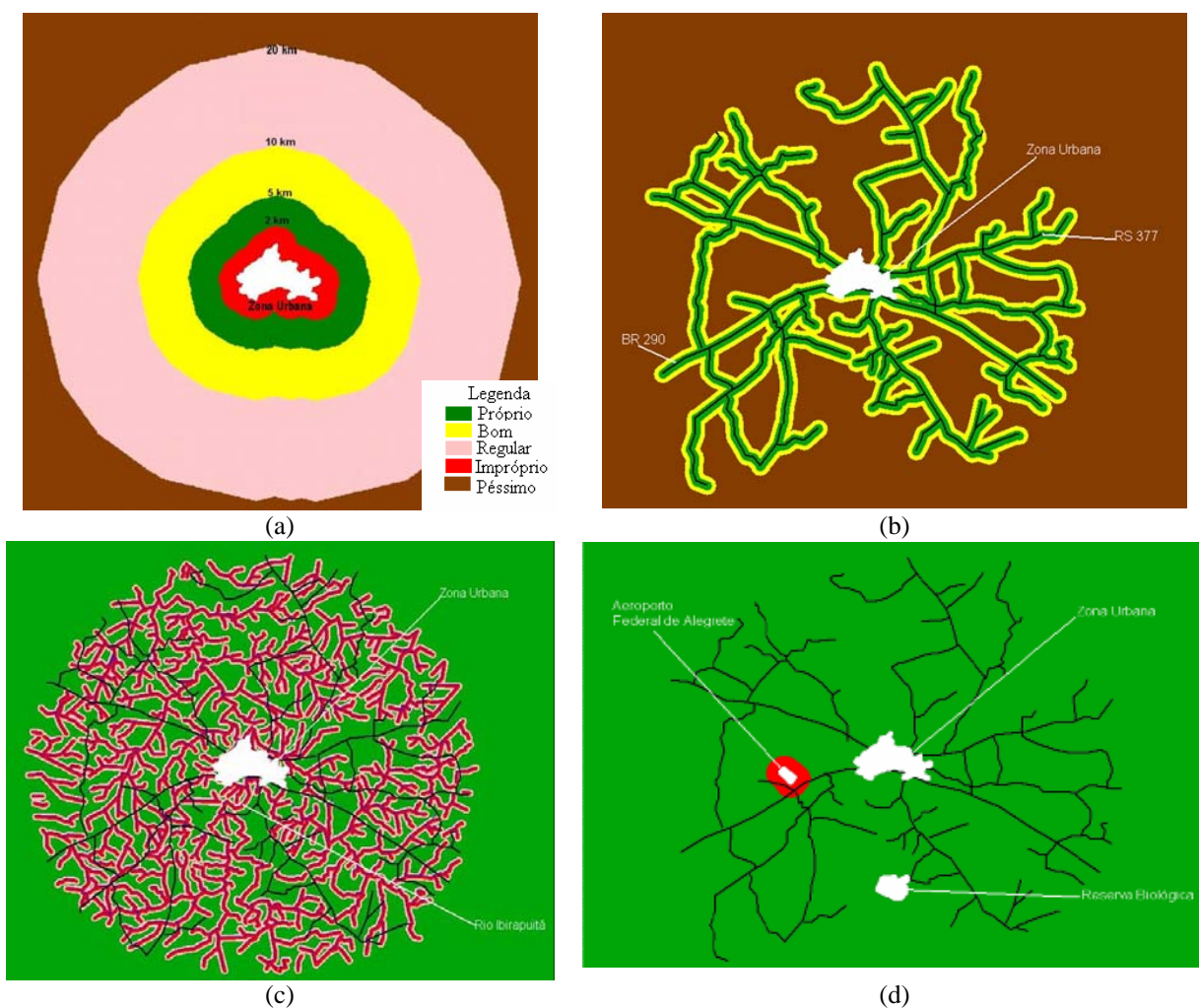


Figura 3. Mapa de distâncias e conceitos obtidos através da edição vetorial, *buffer* e fatiamento no Spring. a) Distância da zona urbana; b) Distância de estradas; c) Distância de rios; d) Distância de aeroportos. Obs.: a legenda de conceitos é a mesma para todos os mapas.

Para gerar o mapa final mostrando as áreas próprias ou impróprias para a localização de aterro sanitário (**figura 4**), também utilizou-se a linguagem de programação Legal, através da qual foi feita uma sobreposição dos mapas de distâncias e de uso do solo e o cálculo da média geométrica da nota de cada pixel, como mostrado na **figura 5**. Finalmente, uma tabela com notas subjetivas foi criada para atribuir conceitos finais às áreas (**Tabela 6**).

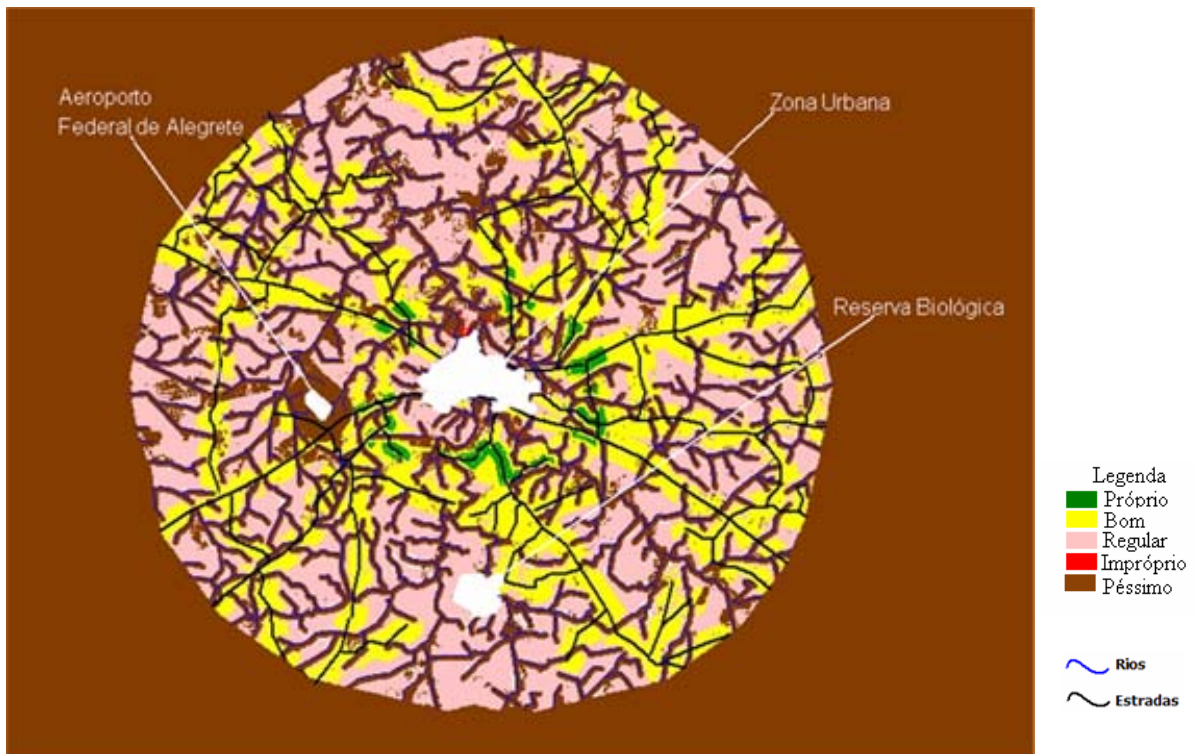


Figura 4. Mapa temático final, mostrando o resultado obtido com a sobreposição dos mapas de distâncias e uso do solo, através do software Spring.

Tabela 6. Tabela de conceitos atribuídos ao mapa final temático.

Nota das áreas	Conceito das áreas
0-2	Péssimo
2-4	Impróprio
4-7	Regular
7-10	Bom
10	Próprio

```

{
Numerico Aterroresult ("Ponderacao");
Numerico Usodosolo ("Ponderacao");
Numerico Aeroporto ("Ponderacao");
Numerico Estradas ("Ponderacao");
Numerico Rios ("Ponderacao");
Numerico Cidade ("Ponderacao");
Usodosolo = Recupere (Nome="Clas_numerico");
Aeroporto = Recupere (Nome="Aeroporto_numerico");
Estradas = Recupere (Nome="Estradas_numerico");
Rios= Recupere (Nome= "Rios_numerico");
Cidade=Recupere (Nome= "Cidade_numerico");
Aterroresult= Novo( Nome= "Aterro_result_1", ResX=30, ResY=30, Min=0, Max= 10);
Aterroresult= (Aeroporto*Estradas*Rios*Cidade*Usodosolo)^0.2;
}

```

Figura 5. Código em linguagem de programação Legal utilizado para gerar o mapa temático final com as áreas e seus pesos.

4. Discussão

Com o mapa final temático obtido foram encontradas 17 áreas próprias para a localização de aterro sanitário no município com mais de 13,5 ha. A área ocupada pelo atual aterro controlado apresentou nota máxima, ou seja, em todos os aspectos até agora analisados ela obteve nota 10. Porém, esta área, a médio prazo, já não poderá ser mais utilizada, devido já estar atingindo seu ponto de saturação. Além disso, segundo o plano diretor do município a área urbana tende a desenvolver-se para esta região, nos indicando que as áreas que encontramos nesta localidade ou próximas, também não poderão ser utilizadas para este fim.

Um fator adicional a ser analisado é a direção e a intensidade dos ventos que sopram na região. Recomenda-se que o aterro sanitário não esteja localizado em uma área cujos ventos predominantes soprem na direção da zona urbana, de modo a evitar possíveis incômodos para a população. Segundo o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul Camargo, (2002) pode-se verificar que mais de 55% dos ventos no município sopram do leste e sudeste, como visto na **figura 6-a**. Assim, as áreas situadas a leste e sudeste da zona urbana podem ser eliminadas por este critério.

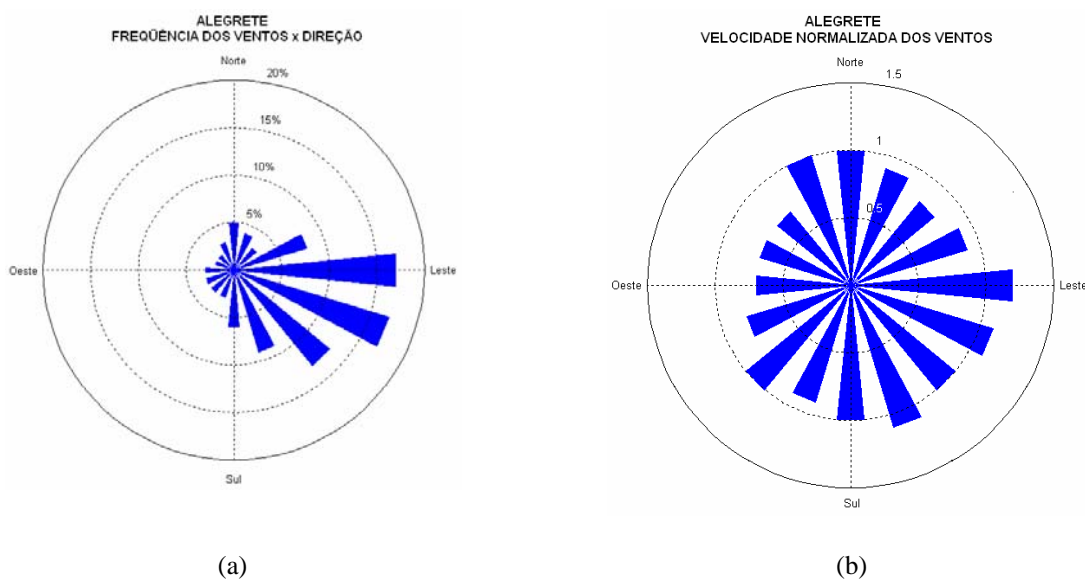


Figura 6. Direção média dos ventos no município de Alegrete. a) Freqüência; b) Velocidade normalizada.

A velocidade dos ventos no município também foi analisada (**figura 6-b**), para que fosse possível eliminar áreas onde os ventos que predominam são mais fortes na maioria do tempo.

No aspecto intensidade dos ventos as áreas situadas a leste não apresentam características satisfatórias para localizar um aterro sanitário.

Portanto, após analisar o fator vento, apenas 7 áreas permanecem com conceito 10.

A área do atual aterro controlado do município não apenas deve ser eliminada pelo fato de localizar-se em uma região onde a zona urbana tende a crescer, mas também porque, na análise obtida através de mapas eólicos, foi possível observar que os ventos sopram com grande freqüência e velocidade na direção da zona urbana. Assim, esta área e suas proximidades podem ser eliminadas.

5. Conclusão

Utilizando metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens é possível localizar áreas propícias à implantação de aterro sanitário, sendo que é uma maneira rápida e de baixo custo. O único pré-requisito é a disponibilidade de imagens de satélite e de dados sobre a região, como declividade, hidrografia e mapa rodoviário. Com os resultados obtidos pode-se fazer uma análise preliminar das regiões próprias para abrigar um aterro sanitário, levando-se em consideração critérios como distância da zona urbana, proximidade de estradas, distância de cursos d'água, leis ambientais, declividade e uso do solo, entre outros.

Para o município de Alegrete, foram encontradas 7 áreas maiores que 13,5ha, as quais são candidatas à localização de um aterro sanitário com capacidade de 20 anos, por atenderem a todos os critérios exigidos. Em um próximo passo, será necessária uma visita às áreas para análise de aspectos que não podem ser detectados por sensoriamento remoto, como geomorfologia, litologia e pedologia. A propriedade e a disponibilidade das terras nas áreas sugeridas também devem ser verificadas. Mesmo assim, o espaço a ser visitado será bem menor do que se as informações obtidas não estivessem disponíveis, pois somente será necessária a visitação às áreas indicadas, descartando previamente as demais.

Referências

- Silva, X.J.; Zaidan, T.R. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.
- INPE. Manual da linguagem Legal. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/legal.Htm>> Acesso em: 15 dez. 2005.
- Lanza, V. et al. **Orientações técnicas para operação de aterro sanitário**. Minas Gerais: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.
- Haddad, J. F. **Projeto de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e especiais. Indicadores operacionais. Análise de projeto para gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 10 p. (ABES).
- Mesquita, M. **Mundo que te quero limpo. Como lidar com nosso lixo e viver num mundo mais sadio**. Rio de Janeiro: CREA-RJ, 1999. 15 p.
- Weber, E.; Hasenack, H. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. In: Anais do GIS Brasil, 2004.
- 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.
- 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).
- 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).
- Prefeitura Municipal de Alegrete. **Plano diretor do município de Alegrete**. Disponível em <<http://www.alegrete.rs.gov.br>> Acesso em: 10 de jan. 2006.
- Camargo, A. O. et al. Organizador. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC, 2002. 70 p.