

A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO GEOMORFOLÓGICO NA ANÁLISE ESPACIAL: ESCOLHA DE ÁREAS PARA CONSTRUÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP

NUNES, J.O.R.

Professor Doutor do Departamento de Geografia da FCT/UNESP, rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP, (18) 3229-5388, joaosvaldo@fct.unesp.br

IMAI, N.N.

Professor Doutor do Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP, (18) 3229-5388, nnimai@fct.unesp.br

MARTINS, E.S.

Professora Doutora do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da FCT/UNESP, rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP, (18) 3229-5388, encarnita@fct.unesp.br

SAMIZAVA, T.M.

Graduando em Engenharia Ambiental da FCT/UNESP, rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP, (18) 3229-5388, tiagosamizava@yahoo.com.br

KAIDA, R.H.

Graduando em Engenharia Ambiental da FCT/UNESP, rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP, (18) 3229-5388, rodrigohk@gmail.com

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos tem sido um dos maiores problemas enfrentados pelas gestões municipais. O aumento desenfreado de bens de consumo tende a acarretar maior geração de resíduos e conseqüentemente maior poluição de recursos naturais, como solos e rios, caso não haja uma correta destinação final. Uma das alternativas ambientalmente corretas para os municípios é a disposição final de seus resíduos sólidos em aterro sanitário. Porém a escolha de uma área de instalação de aterro sanitário necessita estudos e análises de diferentes variáveis, como físicas (dados geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrogeológicos), sociais e econômicas (dados sobre infra-estrutura, dados legais e dados socioeconômicos), dificultando o processo de escolha pela complexidade desse tipo de avaliação. Nesse contexto, através do uso de técnicas de geoprocessamento, realizou-se a avaliação do grau de aptidão de áreas em receber a instalação de aterro sanitário. Assim, ao integrar todas as variáveis, o presente trabalho objetiva mostrar a importância da geomorfologia na análise espacial. As áreas escolhidas para tal estudo estão localizadas no distrito industrial e no bairro do Limoeiro do município de Presidente Prudente - SP. Estão sendo utilizadas a lógica *fuzzy* para a padronização das variáveis e o método AHP (*analytical hierarchy process*) para a atribuição de pesos. Para as análises e modelagem dos dados espaciais foi utilizado o programa *Idrisi*. Com a pesquisa ainda em andamento o que se espera é a realização de uma análise comparativa da modelagem do banco de dados e de aplicação, ou seja, avaliar a eficiência da metodologia aplicada na área de estudo para a instalação de aterro sanitário, que poderá servir às instituições gestoras uma ferramenta poderosa para o processo de pesquisa de locais de instalação de aterros sanitários.

Palavras-chaves: Geomorfologia, aterro sanitário, SIG, geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

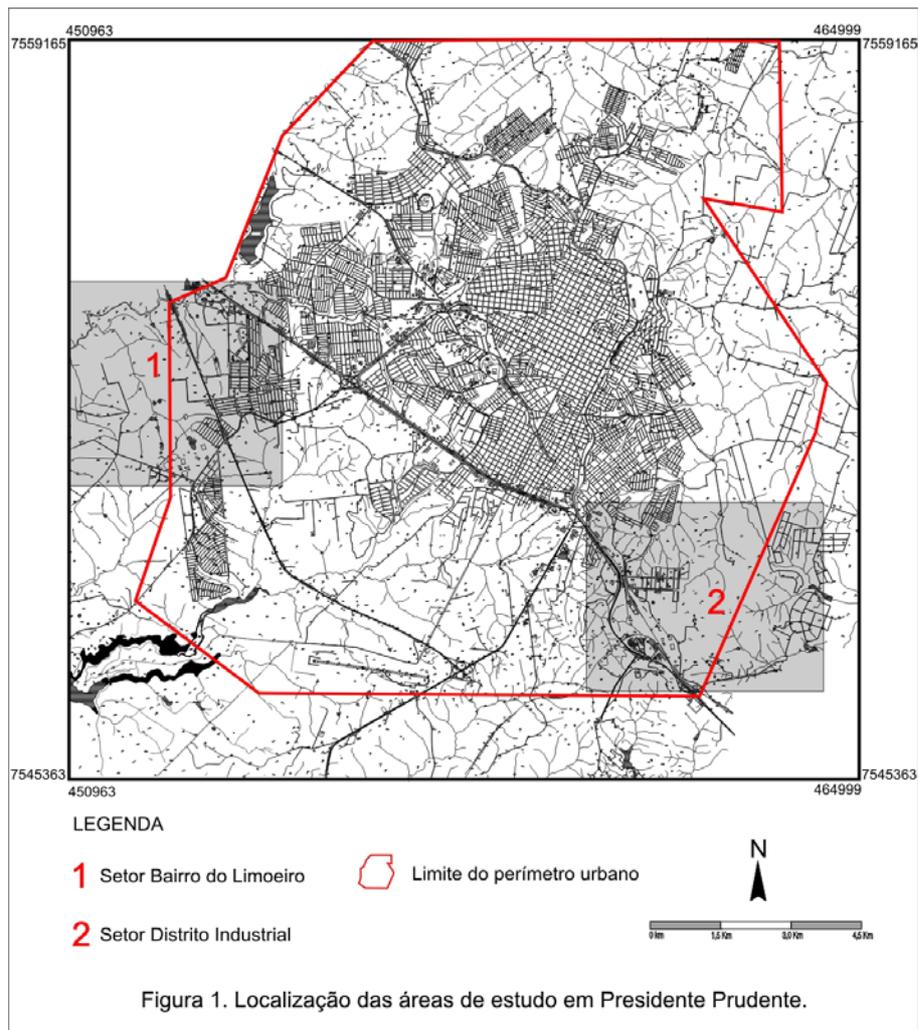
Um dos grandes problemas gerados pela sociedade de consumo são a produção e destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos (R.S.U.), ou depósitos tecnogênicos, no ambiente. Os R.S.U. configuram-se como a materialização da chamada sociedade do descartável, onde o resíduo gerado nas suas diversas esferas (urbano e rural) não é tratado

como algo que pode ser agregado valor e posteriormente reutilizado ou reciclado, mas na maioria dos casos como rejeito a ser despejado em qualquer local. A disposição de forma inadequada dos resíduos sólidos urbanos (sólidos, líquidos e gasosos) sem tratamento prévio, tem ocasionado sérios problemas de contaminação dos solos, das águas superficiais e de sub-superfície, bem como a formação de novos ambientes tecnogênicos.

Esses ambientes tecnogênicos são compreendidos a partir das transformações da paisagem, advindas das alterações que a sociedade ocasiona no ambiente, principalmente no relevo. Esse é compreendido como substrato material, onde as suas diferentes morfologias expressam tempos e espaços (morfogenéticos e morfodinâmicos) distintos de formação, no qual as dinâmicas da natureza e sociedade atuam de modo conflitante e dialético, regidos por movimentos de construção, destruição e reconstrução dos relevos.

Nesse aspecto, os resíduos sólidos urbanos ao serem depositados de forma incorreta em determinados locais, geram novos ambientes tecnogênicos e, ao mesmo tempo, geomorfológicos. Assim, uma das formas adequadas de disposição final dos resíduos gerados pela sociedade do descartável são os aterros sanitários, a partir do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos. Para escolha de áreas para construção de aterros sanitários vários critérios (ambientais, técnicos, econômicos e legais) são utilizados. Nunes (2002) em trabalho realizado na cidade de Presidente Prudente, baseado nos conhecimentos geomorfológicos, elaborou uma proposta metodológica de escolha de áreas para construção de aterro sanitário, utilizando critérios técnicos.

A partir dos critérios adotados e da necessidade de agilização do processo de avaliação de áreas para construção de depósitos de resíduos sólidos foram incorporados procedimentos do geoprocessamento para localização de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários. As duas áreas de estudo no município de Presidente Prudente (Figura 1) foram: Distrito Industrial e o Bairro do Limoeiro.



Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivos, mostrar a aplicabilidade dos conhecimentos geomorfológicos e do geoprocessamento na análise espacial de áreas potenciais para construção de aterros sanitários.

METODOLOGIA

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os critérios mais importantes para escolhas de áreas para instalação de aterros sanitários. Após esta etapa foi realizado um inventário cartográfico, para posterior compilação e/ou produção das cartas temáticas e Modelos Numéricos do Terreno (MNT).

Para cada critério avaliado, foi gerada uma carta que representa os seus atributos no espaço. Dessa forma, as cartas temáticas produzidas foram: a geomorfológica, das características das rochas e solos (GODOY, 1989), de profundidade do nível d'água (GODOY, 1989), de declividades, de distâncias dos cursos d'água, de distâncias da malha urbana e de distâncias da rede viária. Assim, os mapas produzidos foram implementados

num banco de dados geográficos, para posterior análises em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG).

Como método de análise espacial foi utilizado a padronização por funções de pertinência *fuzzy*. A lógica *fuzzy* consiste em mapear faixas de imprecisão no espaço através de funções (lineares e sigmoidais) de pertinência, resultando numa escala de medida padronizada para todos os mapas, que no caso foi de 0 a 255. Após a padronização para uma mesma base de mensuração, ponderaram-se as variáveis de acordo com a importância relativa entre os fatores. Para tanto, utilizou-se o método *analytical hierarchy process*, proposto por Saaty (1990), que consiste na comparação pareada das variáveis numa matriz de interação, resultando no cálculo dos pesos das variáveis (Tabela 1), pelo método dos autovalores e autovetores.

Tabela 1. Pesos finais das variáveis obtidos a partir da matriz de comparação pareada.

Variável	Peso
Geomorfologia	0,1477
Solos/geologia	0,0765
Prof. Nível d'água	0,2079
Declividade	0,2116
Dist. Cursos d'água	0,2275
Dist. rede viária	0,0394
Dist. malha urbana	0,0894

Por fim, calculam-se os valores de aptidão do mapa síntese através de uma combinação linear entre os valores de cada pixel dos mapas das variáveis multiplicados pelo valor do respectivo peso.

As etapas aqui descritas foram sintetizadas de acordo com a Figura 2.

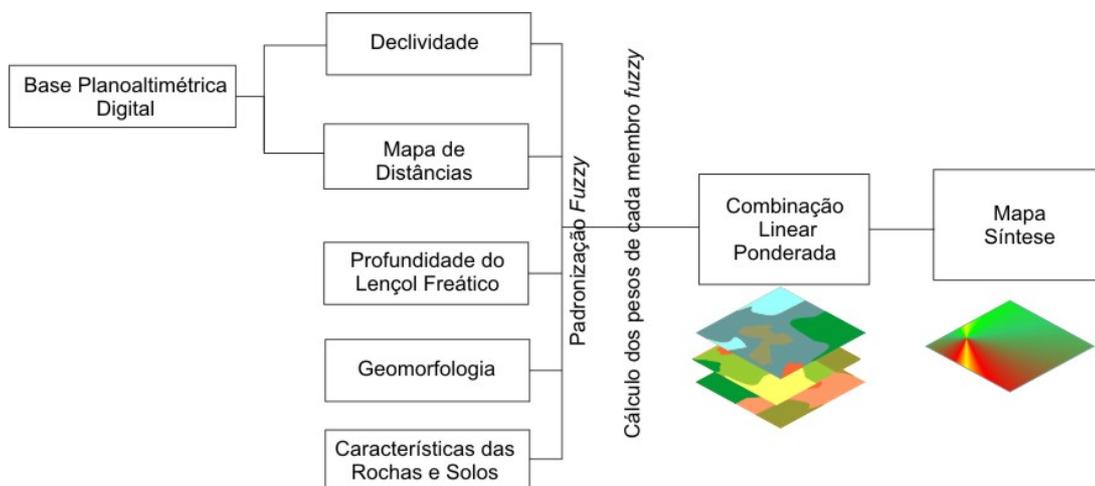


Figura 2. Etapa de elaboração do mapa síntese.

Importante destacar os trabalhos de campo realizados nas áreas de pesquisa, principalmente em relação aos critérios relacionados à geologia, pedologia e geomorfologia, a fim de verificar os cenários produzidos através das análises em SIG.

A IMPORTÂNCIA DA GEOMORFOLOGIA NA ANÁLISE ESPACIAL: ESTUDO DE CASO DE DUAS ÁREAS NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP.

As áreas de estudo foi o setor Distrito Industrial e setor Bairro do Limoeiro, uma vez que são locais escolhidos pelas administrações municipais para dispor os resíduos urbanos. A área do distrito industrial é o atual depósito dos resíduos sólidos urbanos do município, enquanto que a área do bairro do Limoeiro trata-se do setor escolhido pela administração municipal para implantação de aterro sanitário. Dessa forma, as características físicas, principalmente a geomorfologia, serão mais detalhadas a seguir:

Setor Distrito Industrial

Nunes (2002) em trabalho intitulado “Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada à escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente – SP” estudou os aspectos endógenos e exógenos responsáveis pela morfodinâmica da área do distrito industrial e adjacências, onde é encontrado maiores informações.

O autor identificou três compartimentos de relevo (Figura 3) que se associam morfológicamente com as seguintes formações pedológicas: **Topo suavemente ondulado das colinas convexizadas** (450 a 486 metros), com predomínio nas médias altas vertentes de Latossolo Vermelho e nas médias baixas vertentes de Argissolo Vermelho Amarelo; **Domínio das vertentes convexo-côncavas e mistas** (420 a 450 metros), com predomínio de Argissolo Vermelho Amarelo e **Fundos de vales e várzeas** (380 a 420 metros), com predomínio de Neossolo Flúvico + Gleissolo Háplico.

Os topos das colinas menos dissecadas geologicamente são sustentados pelos arenitos cimentados por carbonato de cálcio da Formação Adamantina ou por cimento siltico-argiloso. Neste aspecto, as colinas convexizadas apresentam-se como a principal forma de relevo dominante, cuja declividade dos topos variam em média de 2 a 10

A área escolhida pela gestão 1997-2000, para o aterro sanitário, encontra-se localizada na média alta vertente de uma colina, entre 486 a 479 metros. O local apresenta declividades pouco acentuadas, variando de 0 a 10% na sua maior parte. Somente os setores à jusante (baixa vertente) é que apresentam declividades de 10 a 15%.

Os topos das colinas e espigões são formados por um manto de regolito/intemperismo de espessura variada. Já no domínio das vertentes convexo-côncavas e mistas, principalmente nas médias vertentes, o regolito se apresenta mais espesso. Em alguns setores, onde ocorreram retiradas de material de empréstimo (materiais espólicos), ou nos pontos de predominância de erosão linear (ravinamento), aflora os arenitos flúvio-lacustres da Formação Adamantina. Nas várzeas, predominam os sedimentos aluvionares e os coluvionares.

As áreas de declividade acentuada (de 10 a 20%) apresentam vários sistemas de embaciamento de águas, com morfologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatros, cujo sistema de drenagem, nas áreas em que afloram os arenitos da Formação Adamantina, é sub-dendrítico.

Em áreas de cabeceiras de drenagem em anfiteatro, de declividades acentuadas de 10 a 20% sem cobertura vegetal, o manto de regolito sofre processos de erosão e deposição de material constituinte ao longo das vertentes, com intensidade e direção que convergem para o eixo principal da bacia. De modo geral, as vertentes côncavas apresentam declividades menos acentuadas, com rampas mais longas e manto de intemperismo mais profundo. As vertentes convexas estão geralmente associadas às vertentes mais declivosas, rampas pouco alongadas e regolitos menos espessos. Em algumas colinas com predomínio de vertentes côncavas, identificaram-se da média para a baixa vertente próximo ao contato com a várzea, pontos de surgência do nível freático, com o surgimento de cobertura vegetal típica de área de banhado.

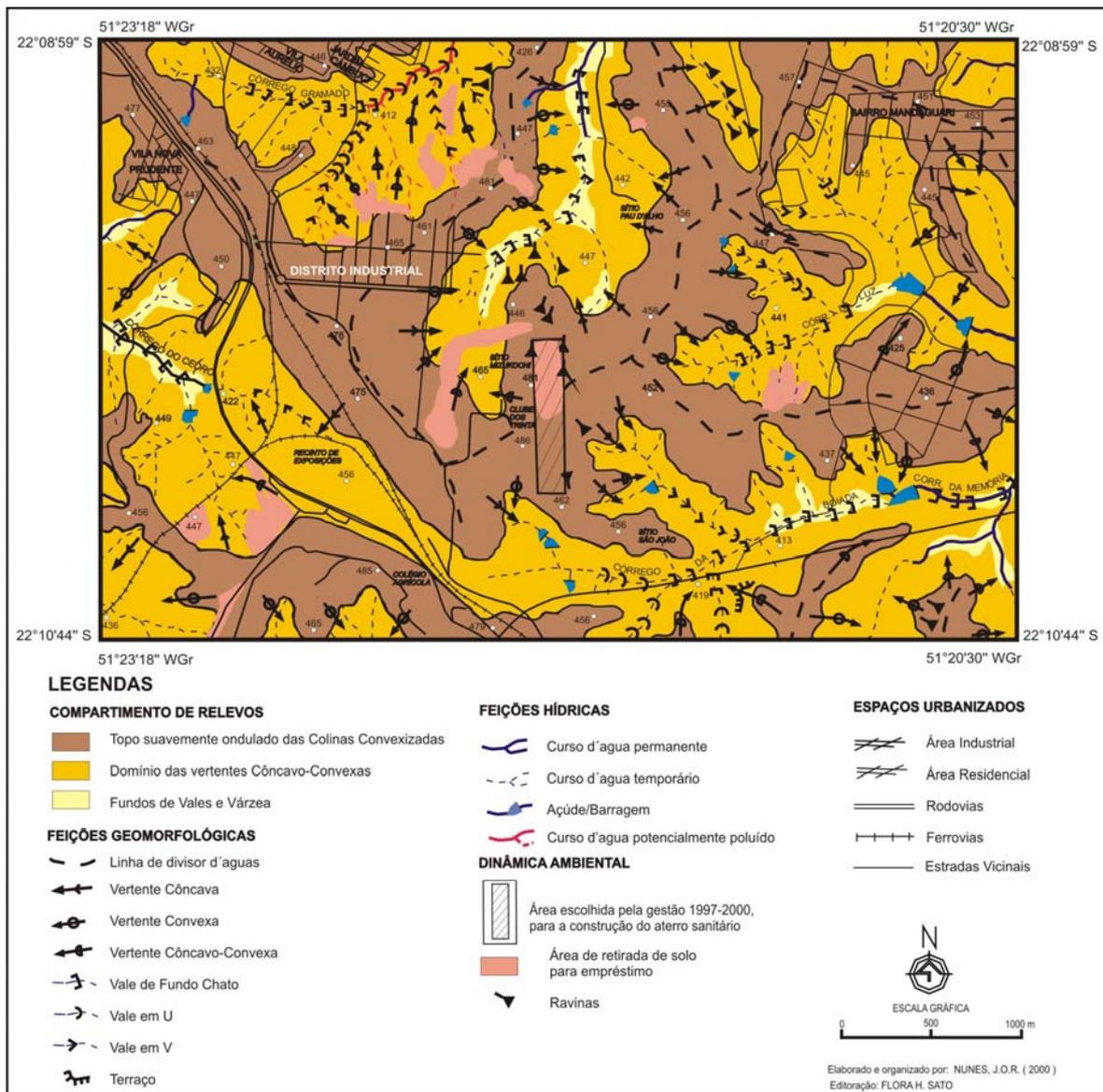


Figura 3. Carta geomorfológica do setor distrito industrial.

No caso da área escolhida pela gestão 1997-2000, para a construção do aterro sanitário, constatou-se a existência de vários pontos de surgência do nível freático a menos de 200 metros. Já na área próxima a bacia de drenagem do córrego Gramado, o relevo é mais dissecado. Predominam declividades mais acentuadas (maior que 20%), com morfologia de fundo de vales em V. Isto se deve a pouca erodibilidade dos arenitos cimentados por carbonato de cálcio da Formação Adamantina.

Setor Bairro do Limoeiro

Com referência à área do setor bairro do Limoeiro, também foram identificados três compartimentos de relevo (Figura 4) não sendo diferentes da área do setor distrito industrial, sendo eles: **Topo suavemente ondulado das colinas convexizadas**, com predomínio de Latossolos; as **Vertentes convexo-côncavas e retilíneas**, com a existência de Argissolos e de Neossolos e as **Planícies aluviais e alvéolos**, com predomínio de Solos Aluviais (Planossolos e Gleissolos).

De modo geral, apresentam-se como a forma de relevo dominante as colinas convexizadas de topos suavemente ondulados, cujas declividades variam em média de 2% a 10%. No compartimento das vertentes côncavo-convexas e retilíneas, apresentam-se declividades que variam de 10% a valores maiores que 20%. Nas Planícies aluviais e alvéolos, os valores apresentam-se entre 0% a 2%.

Quanto às áreas de declividade médias entre 10% a 20%, em alguns setores, apresenta morfologias de encostas do tipo cabeceiras de drenagem em anfiteatros sem cobertura vegetal de porte, cujo escoamento das águas superficiais converge, na sua maioria, em direção ao córrego São João.

Assim, em alguns locais as vertentes apresenta-se de modo côncava, convexa e retilínea. De modo geral, as vertentes retilíneas apresentam declividades menos acentuadas, com rampas mais longas e manto de intemperismo de profundidade média. As vertentes convexas estão geralmente associadas às vertentes mais declivosas, rampas pouco alongadas e próximas aos topos com regolitos mais espessos.

Quanto às áreas próximas ao córrego São João, identificou-se da média para a baixa vertente próximo ao contato com a planície aluvial, pontos de surgência do nível freático, com o surgimento de cobertura vegetal típica de área de banhado. Nestes trechos é possível observar pequenas cavidades subsuperficiais resultantes do “piping”(erosão interna) bem próximas à superfície do terreno (até a profundidade média de 40 cm) por onde exuda a água subsuperficial. Todavia, parte da água pluvial que infiltra no solo, continua percolando (infiltrando) lentamente através da camada de solo inferior, contribuindo para a formação do aquífero freático que se encontra em profundidade maior.

Em relação à morfologia dos fundos de vale do córrego São João, a maior parte é constituída por amplos vales de fundo chato, muito assoreado e sem matas galerias, apresentando um canal fluvial anastomótico e difuso, devido a grande carga de sedimentos transportado das vertentes em direção ao leito do córrego. Já em outros setor o curso

d'água apresenta um canal fluvial retilíneo, encaixado em leito rochoso dos arenitos da Formação Adamantina. Importante destacar, que paralelo a este trecho do córrego, foi identificada um paleocanal fluvial.

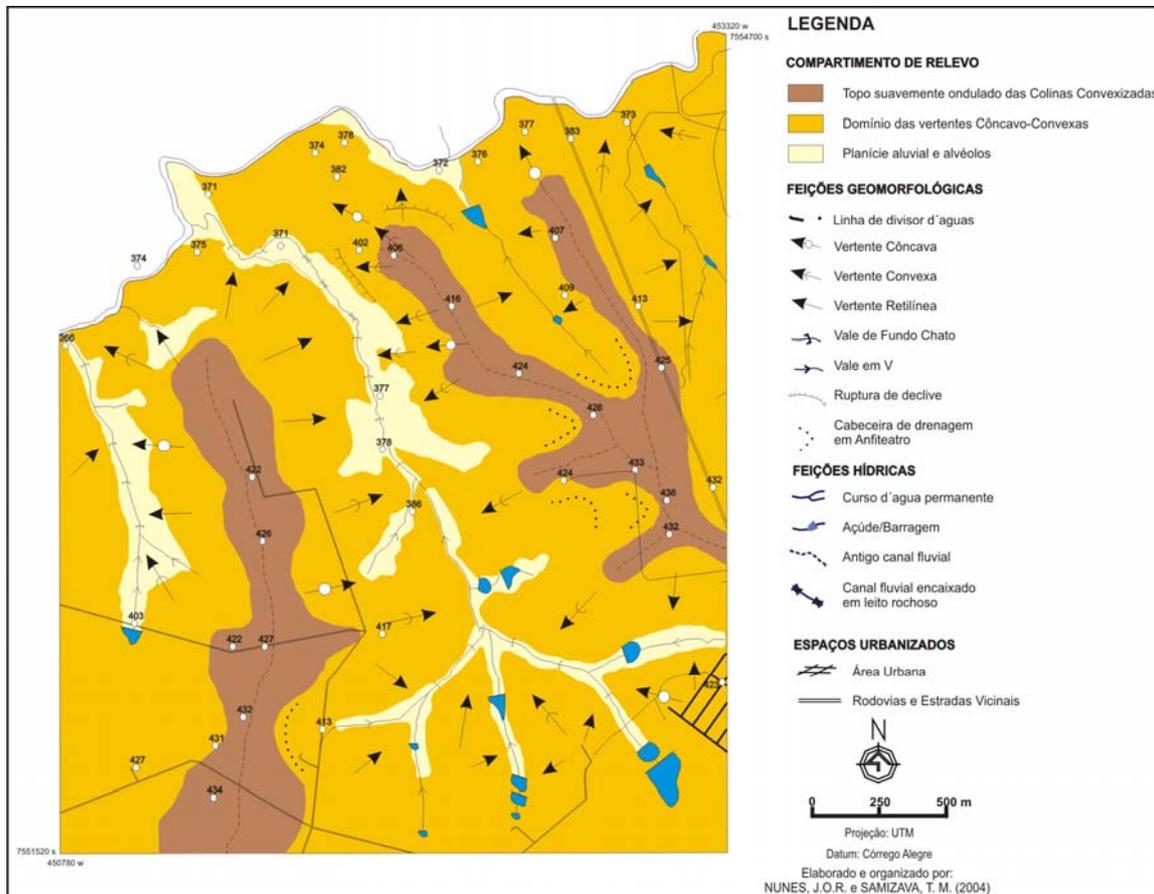


Figura 4. Carta geomorfológica do setor Bairro do Limoeiro.

De modo geral, geomorfológicamente constatou-se que os compartimentos de relevo propícios para a construção de aterro sanitário são os topos das colinas, com predomínio de Latossolos, direcionando-se para o domínio das vertentes, principalmente até a média baixa vertentes onde engloba as manchas de Argissolos.

A análise espacial: escolhas de áreas para instalação de aterro sanitário.

A partir da descrição geomorfológica no tópico anterior, faremos algumas observações no que diz respeito à inserção da variável na análise espacial de áreas para instalação de aterros sanitários.

Os dois mapas sínteses podem ser verificados na Figura 5 e 6, sendo o distrito industrial e o bairro do Limoeiro, respectivamente.

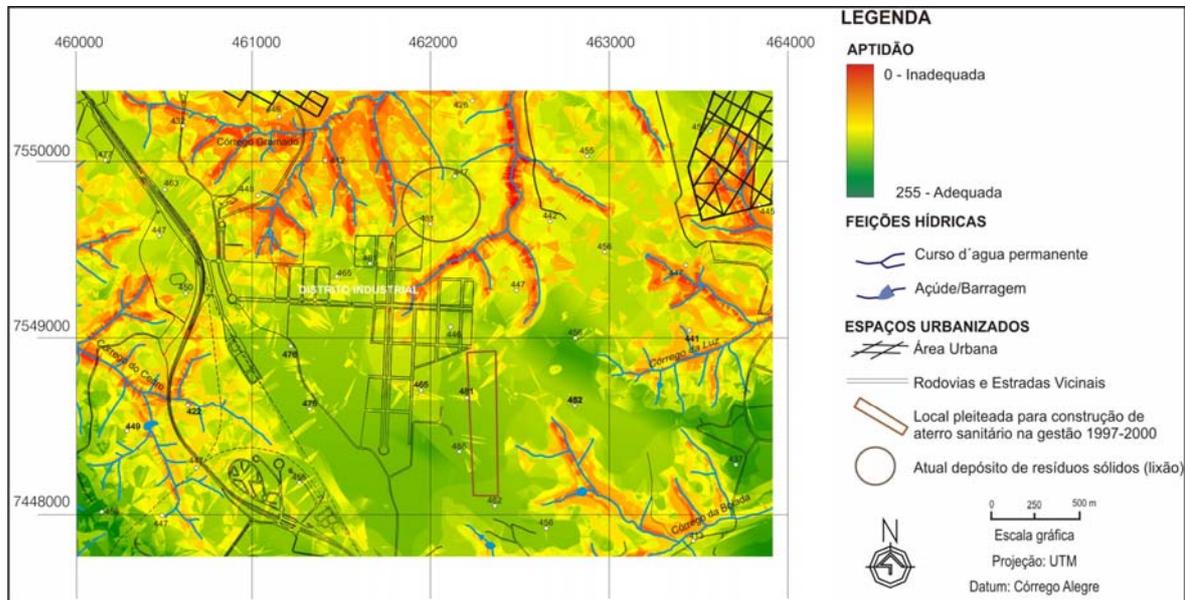


Figura 5. Mapa potencial de aptidão para instalação de aterro sanitário no setor distrito industrial.

Algumas observações constatavam que mesmo, utilizando várias variáveis ambientais e sócio-econômicas para a integração das informações espaciais, nota-se que o nível de aptidão de áreas para a instalação de aterros sanitários é bastante coerente com a morfologia do relevo. Dessa forma, setores que são indicados como sendo de melhor adequação, mormente, estão associados aos topos suavemente ondulado das colinas convexizadas. Enquanto que mais se aproxima dos cursos d'água a aptidão diminui, variando continuamente no espaço. Áreas totalmente inadequadas comparecem como sendo as planícies aluviais e alvéolos.

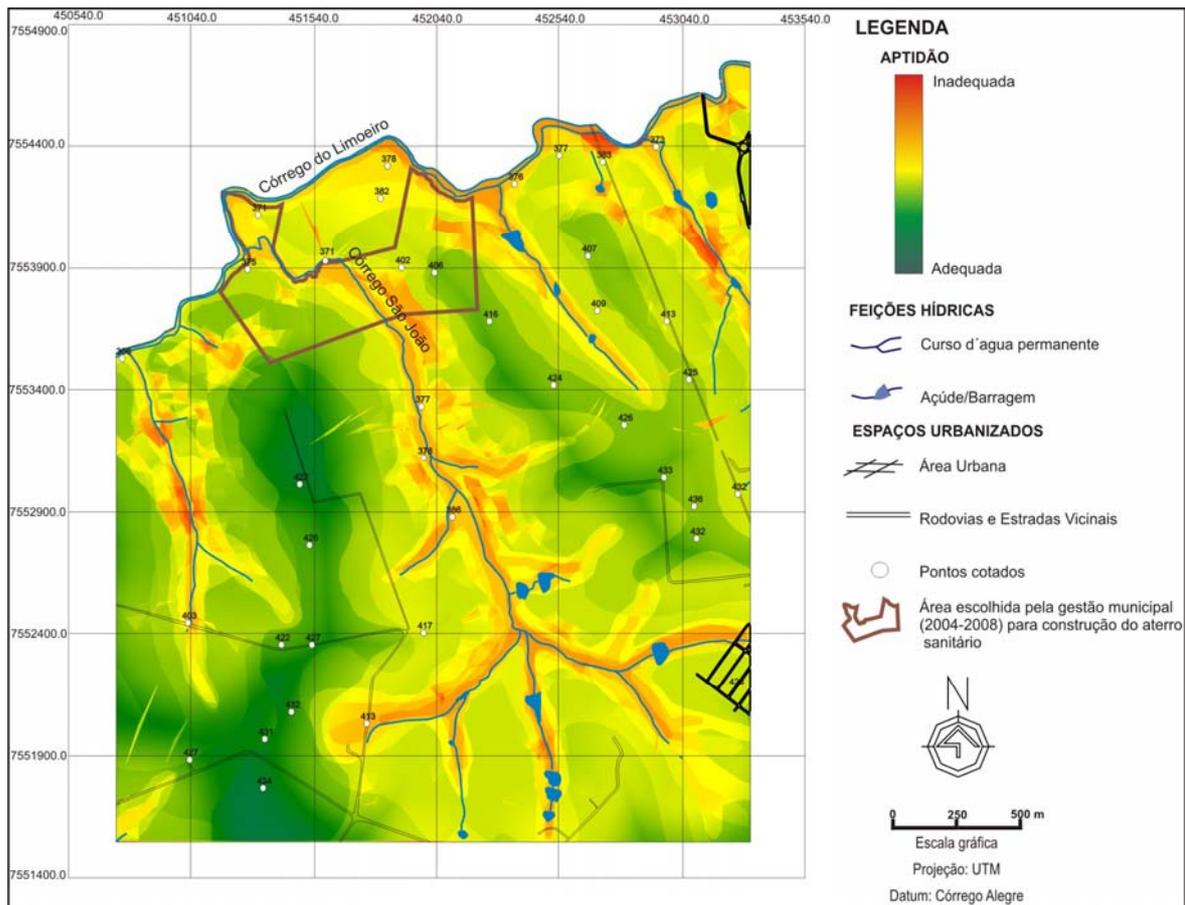


Figura 6. Mapa potencial de aptidão para instalação de aterro sanitário no setor Bairro do Limoeiro.

Tal fato mostra a coerência do cenário produzido. Setores dos topos, como na descrição geomorfológica, apresentam o manto de regolito mais espesso e nível do freático em profundidades maiores. Muitas vezes, as características da espessura do regolito e profundidade do freático nos topos aproximam-se com as das vertentes, entretanto a variável declividade vai interferir na variabilidade da aptidão. Normalmente, a declividade é mais acentuada nas vertentes do que nos topos. No setor distrito industrial, apresenta-se características de colinas mais íngremes do que no setor bairro do Limoeiro, verificando o mapa síntese com uma variação mais contínua no espaço de aptidão.

No mesmo raciocínio, as áreas das planícies aluviais e alvéolos apresentam-se inadequadas, visto que são locais de solos mais rasos, mormente comparecem solos hidromórficos, mantendo as características de várzeas. Também é comum a surgência do freático na superfície, conotando a aptidão totalmente inadequada para instalação destes tipos de empreendimentos poluidores.

CONCLUSÕES

Em vista do que foi analisado, tenta-se mostrar a importância do conhecimento geomorfológico como variável na análise espacial. Embora a utilização de técnicas de geoprocessamento racionalize tempo, dando respostas mais rápida, o estudo detalhado e os trabalhos *in loco*, apresentam-se imprescindíveis para subsidiar a aplicação e o entendimento da análise espacial. Verificou-se que aliar a implementação de métodos de análise espacial, como a lógica *fuzzy* e o *analytic hierarchy process* aumentam o leque de possibilidades para construção de cenários mais próximos possíveis da realidade, que se apresentaram condizentes com a morfologia do terreno.

Importante destacar a importância de que a generalização cartográfica pode acarretar perda no detalhe da informação espacial. Nesse sentido, deve tomar cuidado para utilizar fontes cartográficas em escalas e resoluções espaciais adequadas à análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GODOY, Manoel Carlos Toledo Franco. **Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente - SP**. 1989. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NUNES, João Osvaldo Rodrigues. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente - SP**. Presidente Prudente, 2002. 209p. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v.48, p.9-26, 1990.