

**UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA
CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO
MUNICÍPIO DE AMERICANA (SP)**

Lia Raineri Laranjeira

Orientadora: Paulina Setti Riedel

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geociências –
Área de Concentração em Geociências e Meio
Ambiente

Rio Claro – SP
2003

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Primeiro e sempre a Oxalá, pela oportunidade de aprender e difundir o aprendido...

Aos meus pais, Elvenar e Noeli, por todo amparo e amor que sempre me dedicaram...

Aos meus irmãos, Paula, Guilherme e Thais, simplesmente por que eles existem...

Aos novos integrantes da família, Mayra, Rubens e Gustavo, por todas as risadas, por todo apoio e por me aturarem em momentos tão inoportunos...

Um sincero e enorme muito obrigada a minha querida orientadora, Paulina Setti Riedel, por toda fé depositada na minha capacidade de concluir, quando eu já não possuía mais...

Aos colegas da pós-graduação, que aprendi a respeitar ao longo do tempo passado aqui...os nomes seriam tantos que não conseguiria colocar em poucas páginas.

Aos amigos que estarão pra sempre dentro do coração, Carolina , Luzia , Alessandra , Leila , Ariadne, Ana Cândida, Shirley, Claudia, Artur, Leandra, me perdoem se esqueci algum...

Aos irmãozinhos Mirley, Thomaz, Lucília (Liló), Felipe, Carol, por dividirem comigo a orientadora...e especialmente ao Paulo César (Luquinha) por todo material disponibilizado,

Ao tão querido Daniel, sempre tão solícito nas horas mais difíceis...

Aos funcionários Laura, Darlene, Sandra, Cesário, Alan, Claudinho, Paco, Márcia, Elaine... por mais do que uma simples ajuda, por contribuírem com a amizade...

Ao CNPq por tornar possível a vivência deste mestrado, com a concessão da bolsa de pesquisa.

E por fim a todos que me ajudaram a passar por esta experiência única de evolução e que de alguma forma colaboraram para que esta dissertação se tornasse realidade....

L ia

"A maior vitória é sobre vós mesmos
e não sobre vossos semelhantes"

Maitreya – 03.11.90

Prece de Caritas

Deus, nosso Pai, que tendes poder e bondade,
daí força àquele que passa pela provação,
daí a luz àquele que procura a verdade,
ponde no coração do homem
a compaixão e a caridade.

Deus, daí ao viajor a estrela guia,
ao aflito a consolação, ao doente o repouso.
Pai, daí ao culpado o arrependimento, ao espírito a verdade,
a criança o guia, ao órfão o pai.

Senhor, que a vossa bondade se estenda sobre tudo que criastes.
Piedade, meu Deus, para aquele que não
vos conhece esperança para aquele que sofre.
Que a vossa bondade permita aos espíritos consoladores
derramarem por toda à parte a paz, a esperança e a fé.

Deus, um raio, uma faísca do vosso amor pode
abrasar a terra; deixai-nos beber ns fonte dessa bondade
fecunda e infinita e todas as lágrimas secarão,
todas as dores se acalmarão; um só coração,
um só pensamento subirá até vós,
como um grito de reconhecimento e amor.

Como Moisés, sobre as montanhas, nós esperamos
com os braços abertos para vós, ó poder, ó bondade,
ó beleza, ó perfeição, e queremos de alguma sorte
merecer vossa misericórdia.

Deus daí nos a força para ajudar
o progresso, a fim de subirmos até vós.
Dai-nos a caridade pura, dai-nos a fé e a razão.
Dai-nos a simplicidade que fará de nossas almas um
espelho onde deve refletir a vossa santa e divina imagem.

A ssim Seja!

Sumário

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABELAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	04
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
5. METODOLOGIA	47
6. CRITÉRIOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE	59
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

RESUMO

O presente trabalho, desenvolvido no município de Americana, estado de São Paulo, teve como objetivo avaliar a adequabilidade à disposição de resíduos sólidos através da utilização dos métodos da lógica Difusa, comparando-os aos resultados obtidos através da aplicação da análise booleana e da análise multicriterial ponderada, gerados por ARAÚJO(1999). As variáveis utilizadas na análise foram: permeabilidade relativa, capacidade de troca catiônica (CTC), potencial hidrogeniônico (pH), profundidade do lençol freático, espessura do material inconsolidado, declividade, distância das áreas urbanas, distância das estações de captação de água, distância dos principais corpos d'água e distância das áreas de proteção ambiental. Os resultados obtidos foram discutidos em termos de vantagens de aplicação dos métodos e mostraram que as áreas com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos, encontradas através dos métodos de lógica Difusa, são territorialmente mais restritas que as obtidas pelos métodos mais tradicionais. Dentre os operadores Difusos, o mais otimista foi o Operador Difuso Máximo, enquanto que o Gama Difuso o mais restritivo, os demais operadores produziram mapas intermediários. Entretanto, o mapa gerado a partir do Operador Difuso Mínimo pode ser empregado em posteriores estudos voltados à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

Palavras chaves: sistemas de informação geográfica, seleção de áreas, geologia ambiental

ABSTRACT

This study, developed in the municipal district of Americana, São Paulo State, had the aim to evaluate the waste disposal suitability, through the application of fuzzy logic methods and to compare the obtained results to those generated by boolean analysis and weighted multi- criteria analysis, produced by ARAUJO (1999). The factors used were: relative permeability, pH scale, cationic exchange capacity, unconsolidated material thickness, static level depth, slope, distance from urban perimeter, distance from water reservoir, distance from city water source and from environmental protection areas. The obtained results were discussed based on the advantages and disadvantages of the applied method and showed that the indicated areas with increasing suitability to waste disposal, produced by fuzzy logic methods, are smaller than those produced by the traditional methods. Comparing the different fuzzy operators used, the less restrictive one was the Fuzzy OR, on the other hand, the Gamma Operation was the most restrictive one and the others generated intermediary results. The map generated by the Fuzzy AND can be applied to further studies directed to site selection to waste disposal.

Key words: Geographic information systems, site selection, environmental geology

1. INTRODUÇÃO

Para a sobrevivência do ser humano são necessárias inúmeras atividades voltadas para a produção e transformação de bens naturais, assim como para a utilização e disponibilização do solo. Estas atividades alteram as características naturais, o que torna necessário estudos que visam preservar e proteger o meio ambiente.

Os resíduos produzidos a partir de variadas atividades são considerados um grave problema quando dispostos em locais inapropriados, tendo em vista que podem causar a poluição das águas superficiais e subterrâneas e também do solo. É também um dos problemas mais característicos da humanidade, e é evidenciado pelo crescimento populacional e pelo acelerado processo de urbanização.

Desta forma, selecionar locais adequados à disposição destes resíduos é uma maneira de diminuir os riscos de danos posteriores. Os critérios de seleção devem ser baseados nas características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas da região.

Geralmente, para uma seleção satisfatória, são criados vários modelos geológico-geotécnicos com base em critérios pré-estabelecidos, voltados à necessidade de cada área em estudo.

A metodologia empregada no geoprocessamento apresenta diferentes técnicas, que permitem a elaboração e interpretação de modelos geológico-geotécnicos do meio ambiente. A interpretação deste conjunto de informações depende do conhecimento geológico-geotécnico de quem a realiza (SOUZA, 1998).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) possuem inúmeras ferramentas computacionais que manipulam mapas, imagens digitais, tabelas de

dados georreferenciados, que possibilitam integrar e combinar diversas fontes de dados, e fornece subsídio aos estudos do meio ambiente.

Esta pesquisa propõe a utilização de recursos de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) para analisar, manipular e produzir informações geológico-geotécnicas por meio dos métodos da lógica difusa, úteis ao estudo da área de disposição dos resíduos sólidos.

O termo Difuso (*Fuzzy*) geralmente é associado com imprecisão e complexidade. Os métodos de lógica difusa possibilitam a graduação contínua dentro de um intervalo específico de valores de um determinado atributo. Deste modo, trata de maneira mais realística os conceitos imprecisos e subjetivos, que são comuns nas análises do meio físico(FREITAS e MENDES, 1998).

As principais fontes de dados foram o projeto realizado pelo Instituto Geológico (IG) – Secretaria do Meio Ambiente (SMA) para o planejamento regional e urbano do meio físico, na porção média da bacia do Rio Piracicaba(IG-SMA, 1995), e um projeto realizado também na região, utilizando Sistema de Informação Geográfica na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos (ARAÚJO, 1999).

2. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral analisar os mapas de adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos, gerados a partir de Métodos de Lógica Difusa, discutindo os diferentes operadores e também compará-los aos mapas de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos, gerados a partir de análises efetuadas por meio dos métodos de lógica Booleana e Multicriterial Ponderada.

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

3.1. Localização e Vias de Acesso

O município de Americana (na região administrativa de Campinas) encontra-se localizado no centro-oeste do Estado de São Paulo. Apresenta uma população próxima a 190.00 habitantes, quase totalmente urbana.

Possui uma área aproximada de 188 km², e é delimitado pelas seguintes coordenadas geográficas: paralelos 22°39'33'' e 22°47'00'' de latitude sul e meridianos 47°25'36'' e 47°09'49'' de longitude oeste.

Os municípios que fazem limite com o município de Americana são: ao norte Limeira, ao sul Sumaré e Nova Odessa, a noroeste Cosmópolis, a leste Paulínia e a oeste Santa Bárbara D'oeste.

A partir da capital do estado o acesso à área é efetuado pela Rodovia Anhanguera (BR - 050) percorrendo 117 Km. O acesso também é feito pela ferrovia pertencente a FEPASA que atravessa a zona urbana no sentido NW-SE. Outras rodovias importantes na região são: Sumaré-Americana (SP - 101), Santa Bárbara - Americana (SP - 304) e outras estradas secundárias (figura 1)

3.2. Clima

Segundo MONTEIRO (1995), O Estado de São Paulo apresenta influência de dois climas zonais: o clima tropical (Tipo I), controlado por massas de ar equatoriais e tropicais ao norte, que cobre cerca de 70% do Estado, e o clima subtropical (Tipo II), que abrange o restante do Estado e é caracterizado por massas de ar tropicais e polares ao sul.

Pela classificação de KÖPPEN (1964), o clima pode ser definido como *Cwa* ou tropical mesotérmico de inverno seco, com estação chuvosa no verão (DNPM-CPRM, 1977).

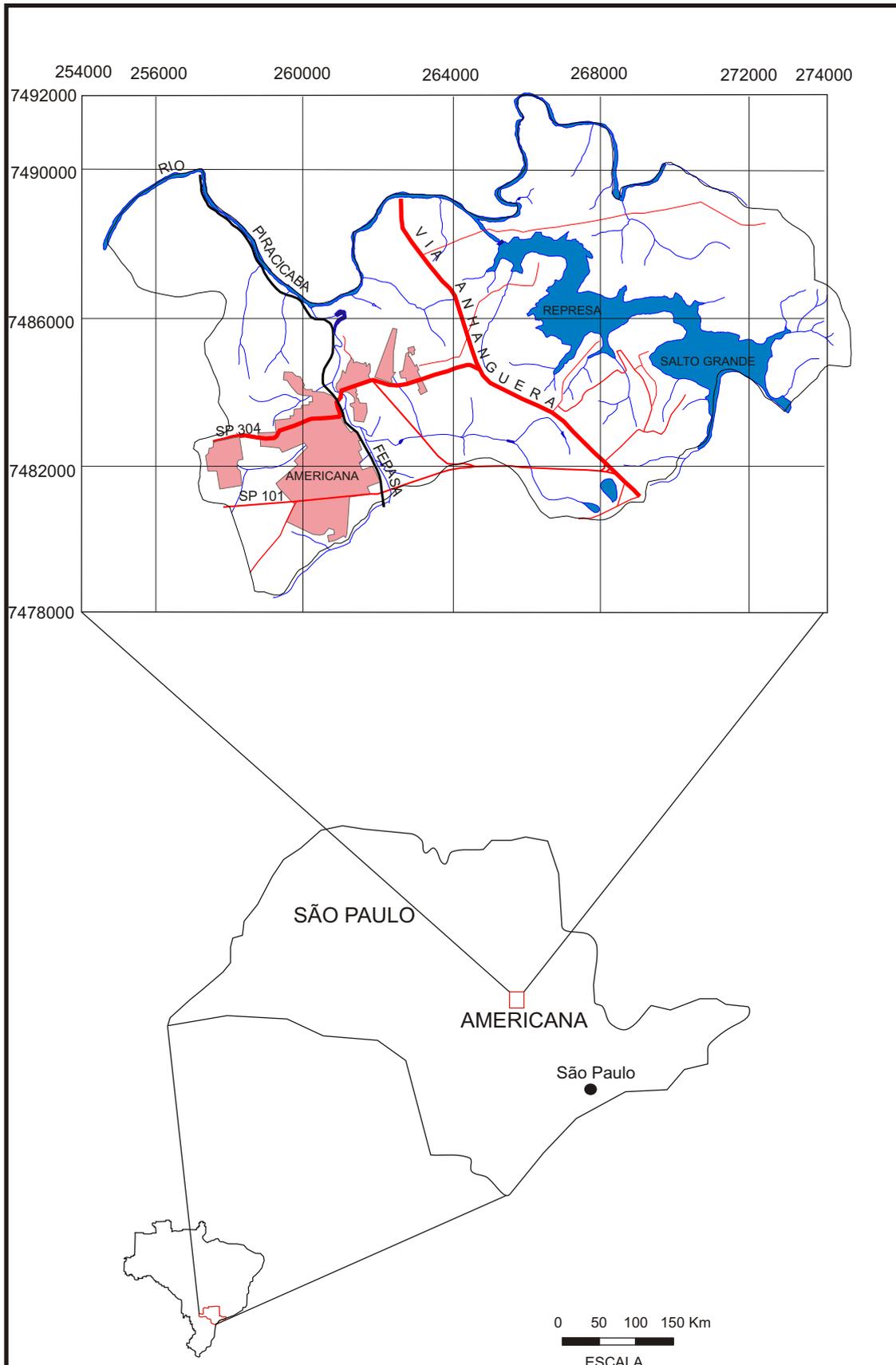


Figura 1: Localização e Vias de Acesso

O município de Americana situa-se na porção média do Rio Piracicaba, onde se localiza uma confluência de seus principais afluentes, Rios Jaguari, Camanducaia, Atibaia e Ribeirão Quilombo. Conforme MONTEIRO (1995), o clima da região pode ser denominado de “Climas Tropicais Alternadamente Secos e Úmidos”.

Em um levantamento realizado durante o período entre 1986 e 1993, LIMA (1997) verificou que a temperatura em Americana conservou-se em torno de 22°C. A temperatura máxima variou entre 32° e 34°C, com o mês de novembro considerado o mais quente, enquanto que a temperatura mínima oscilou entre 10° e 12°C, e com o mês de agosto o mais frio.

A área situa-se numa faixa de choque entre sistemas atmosféricos tropicais e intertropicais chamada de frente polar. Esta colisão resulta constantemente em precipitações pluviométricas de maior ou menor intensidade.

A pluviosidade média é de 1473mm, com as maiores precipitações concentradas nos meses de novembro a março, período que corresponde também ao de máxima umidade, onde 900mm se precipitam em aproximadamente 75 dias. Entre os meses de abril e maio está o período de maior insolação.

O clima de uma determinada região tem influência na quantidade de chuva, no intemperismo químico e físico das rochas e estes fatores são de extrema importância no que se refere a estudos voltados à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

3.3. Hidrologia

O município de Americana situa-se na primeira zona hidrográfica do Estado de São Paulo, de acordo com a divisão feita pela CETESB (1986). Faz

parte da bacia do rio Piracicaba, sendo composta por três sub-bacias de drenagem: rios Jaguari, Atibaia e Ribeirão Quilombo.

A bacia possui uma área de drenagem aproximada de 12.400 Km², onde o rio Jaguari drena cerca de 4.400 Km² e o rio Atibaia 2.650 Km². A confluência entre estes dois rios forma a Represa Salto Grande no município de Americana, com um reservatório de 10⁶x106m³de volume máximo, com área de inundação máxima de 13km² (COELHO, 1993).

O rio Piracicaba é o manancial principal do município de Americana, enquanto que o Ribeirão Quilombo é o principal afluente, e passa pela área urbana na direção Norte-Sul.

O maior problema destes mananciais é a poluição. O rio Piracicaba recebe grande carga poluidora proveniente de efluentes industriais, enquanto o Ribeirão Quilombo recebe os dejetos de esgoto doméstico das cidades de Campinas, Sumaré e Nova Odessa (LIMA, 1997).

A região também é servida por água subterrânea, oriunda de aquíferos do Sistema Tubarão (Subgrupo Itararé), sedimentos cenozóicos e dos diabásios.

O padrão da drenagem nessa bacia é subdendrítico, com baixas densidades, principalmente onde se encontram os sedimentos cenozóicos e os arenitos do Subgrupo Itararé.

A água é empregada nas atividades industriais, abastecimento público em bairros e loteamentos. Cerca de 98% da população é assistida pela rede de água.

3.4. Geomorfologia

O Estado de São Paulo, segundo IPT (1981), é dividido nas seguintes unidades morfológicas: Planalto Atlântico, Província Costeira, Depressão Periférica, *Cuestas* Basálticas e Planalto Ocidental.

A Depressão periférica é ainda separada em três outras zonas por DEFONTAINES (1935 *apud* CARDOSO, 1993): Zona do Médio Tietê, Zona do Mogi-Guaçu e Zona do Paranapanema.

A área de estudo está inserida na Zona do Médio Tietê da província da Depressão Periférica, conforme a classificação proposta por ALMEIDA (1964 *apud* PONÇANO *et al.*, 1981). Os sistemas encontrados nesta região são de colinas amplas, colinas médias e amplas, colinas médias, colinas médias e pequenas, colinas pequenas e planície fluvial, como mostra a figura 2.

Estas formas de relevo representam a superfície Rio Claro (PENTEADO, 1975) o que corresponde possivelmente à Formação Rio Claro (BJORNBERG e LANDIM, 1966), ou ainda, à frente de dissecação da superfície de aplainamento neogênica regional (Pdi) (BIGARELLA *et al.*, 1965).

As **colinas amplas** (Ca) possuem formas colinosas mistas, subniveladas, marcadas por topos convexos e amplos. Apresenta uma superfície suavemente ondulada, com perfis quase sempre retilíneos e contínuos. Sua declividade, em média, é de 6%, e suas amplitudes variam de 25 a 115m, enquanto as altitudes entre 545 e 688m.

Colinas médias e amplas (Cma) geralmente ocorrem associadas a linhas de drenagem, por exemplo, junto ao Ribeirão Quilombo e são constituídas por uma agregação de formas colinosas, com dimensões inferiores a anterior, com predominância do tamanho médio. Também é suavemente ondulado, porém com porções de maior dissecação. Possuem topos desnivelados, de acordo com a associação das formas, com morfologias diferenciadas, geralmente apresentam ressaltos. A altitude varia de 550 a 665m, com declividade de 6% em média, mas pode alcançar 25% nas porções mais dissecadas com ressaltos topográficos.

As colinas médias e amplas ocorrem como forma de relevo associada a diversas litologias, tendo em vista que se situam na faixa de transição entre o embasamento cristalino e a Bacia do Paraná. Na região, são sustentadas por arenitos finos e médios do Subgrupo Itararé.

Este relevo está presente na parte oeste de Americana, em conjunto com colinas pequenas, suportado principalmente por intrusões básicas. Suas formas são dissecadas, com topos convexos e subnivelados, suas vertentes retilíneas e podem ser contínuas ou descontínuas, variando de acordo com o substrato.

A declividade média é de 9%, e em alguns locais pode atingir 38%, geralmente associada à presença de escarpas de corpos de diabásios. A altitude quase não muda, com o topo em 605m.

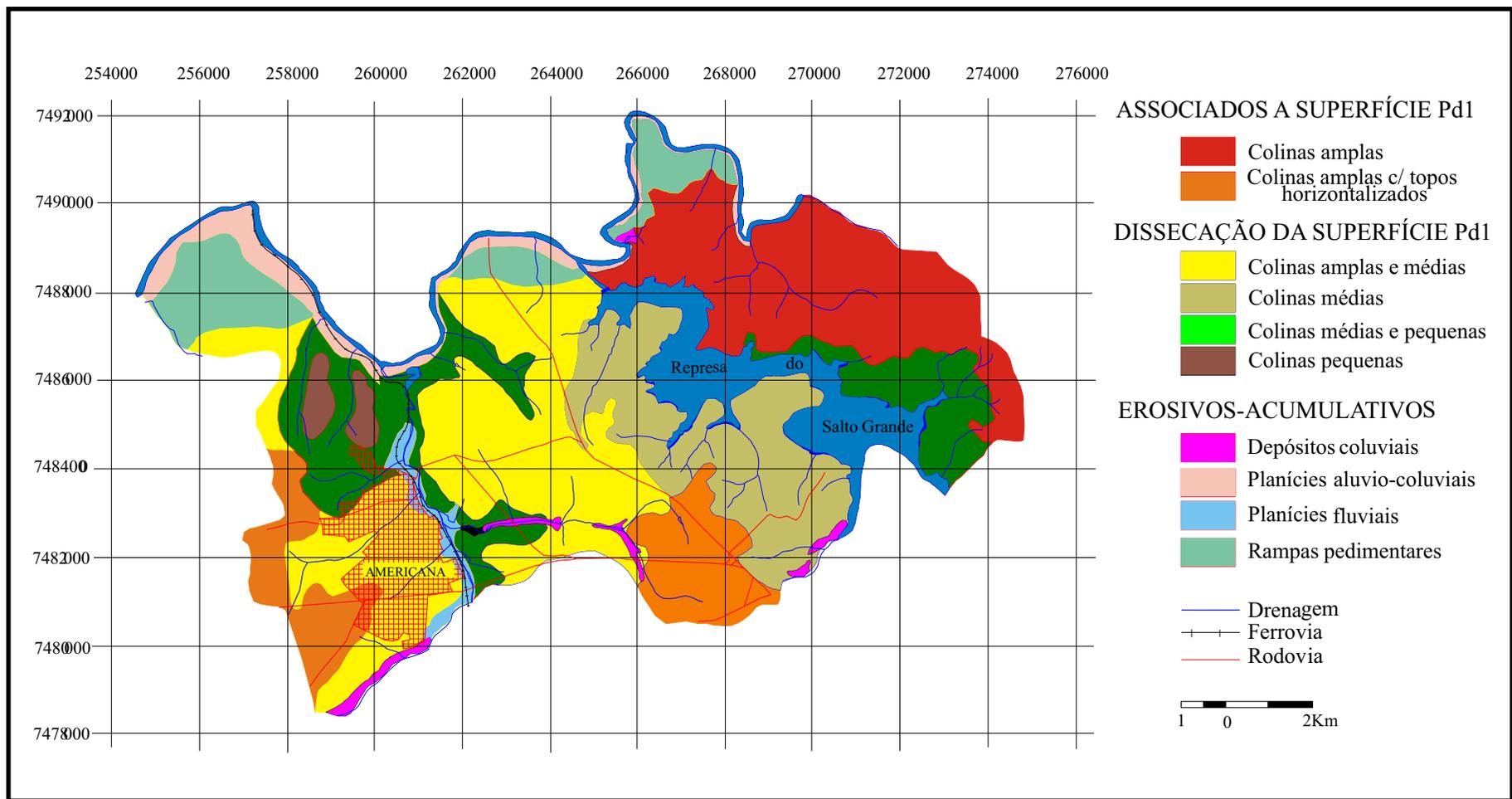


Figura 2. Mapa geomorfológico. (Fonte: ARAÚJO, 1999)

As **colinas médias e pequenas** (Cmp) apresentam uma conjunção de formas dissecadas com topos subnivelados, geralmente associadas com as linhas de drenagem. No município de Americana, esta forma de relevo situa-se na margem esquerda de represa de Salto Grande.

A amplitude topográfica varia de 30 a 105m, com declividades, em média, de 8,5%, mas podem atingir 42% nas porções com maior dissecção, com a formação de pequenas escarpas próximas à represa de Salto Grande. A altitude pode variar de 550 a 632m.

As **colinas pequenas** (Cp) representam as formas de relevo com maior dissecção da área. Possuem topos estreitos, convexos formando ressaltos. As vertentes são retilíneas e apresentam perfis contínuos. A amplitude topográfica varia de 35 a 65m e os comprimentos de rampa entre 150 e 600m. A declividade nesta unidade é em média de 15%, contudo ao norte da represa de Salto Grande pode atingir 43%.

Feições reliquias, formadas pela dissecção da superfície Pd1 de BIGARELLA *et al.* (1965), são denominadas **rampas pedimentares**. Apresentam declividade média de 5 %, com máximo de 7,5%.

As **planícies fluviais** estão relacionadas a processos acumulativos, em conjunto com agentes transportadores de material detrítico. Esta forma de relevo é monótona, com pouca variabilidade topográfica.

A tabela 1, compara dois importantes mapeamentos geomorfológicos realizados na região.

O mapeamento realizado por IG-SMA (1995) possui um maior detalhamento das unidades geomorfológicas da região do município de Americana, deste modo o emprego deste mapeamento viabiliza uma melhor seleção de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos.

Tabela 1: Unidades de Relevo da Área.

PONÇANO et al. (1981)	IG – SMA (1995)
Morrotes Alongados Paralelos	Morros e Morrotes (MMT) Colinas e Morrotes (CMT)
Colinas Amplas	Colinas Amplas (Ca) Colinas Amplas e Subhorizontalizadas (Cath) Colinas Amplas e Médias (Cam)
Colinas Médias	Colinas Médias e Amplas (Cma) Colinas Médias (Cm) Colinas Médias e Pequenas (Cmp) Colinas Pequenas (Cp)
Planícies Aluviais	Rampas Pedimentares (P) Planícies Fluviais de Inundação Terraços

3.5. Aspectos geológicos

A área de estudo encontra-se situada na borda da Bacia Sedimentar do Paraná. As litologias presentes na região fazem parte do Subgrupo Itararé (permo-carbonífero), depósitos cenozóicos e subordinadamente diabásios mesozóicos. O mapa geológico é apresentado na figura 3.

3.5.1. Subgrupo Itararé

Na região de Americana o Subgrupo Itararé não possui afloramentos significativos (LIMA, 1997). Os principais litotipos encontrados são: siltitos, arenitos, diamictitos e ritmitos.

COTTAS *et al.* (1981) subdivide este subgrupo em três unidades litológicas:

- Unidade I: Possui uma litologia bastante variada, sendo formada por lamitos arenosos conglomeráticos, maciços e amarelos, com intercalações de lamitos, arenitos finos e arenitos grossos em menor quantidade. Os seixos normalmente são angulosos, e podem variar de milímetros a

centímetros, compostos por rochas metamórficas, geralmente quartzitos e gnaisses.

- Unidade II: Constituída por uma grande variedade de arenitos. É formada por arenitos finos a muito finos, arenitos lamíticos ligeiramente micáceos, arenitos médios a grossos, que possuem grau de arredondamento e seleção regulares, arenitos lamíticos levemente conglomeráticos com seixos centimétricos, lamitos amarelos pouco arenoso, com lentes de siltitos e de arenitos muito finos, e localmente ritmitos brandamente micáceos.
- Unidade III: Composta por lamitos, siltitos laminados e maciços, com variação para lamitos pouco conglomeráticos e arenosos.

SOUZA FILHO (1986) identificou sete unidades litológicas informais dentro do Subgrupo Itararé, em um mapeamento realizado na quadrícula de Campinas.

No município de Americana apenas quatro, destas sete, são encontradas: Unidade III, lamitos e diamictitos; Unidade IV, arenitos; Unidade V, diamictitos e arenitos; e Unidade VI, arenitos com marcas onduladas.

Segundo IG-SMA (1995), as litologias presentes na região podem ser individualizadas nas seguintes unidades:

- *Lamitos com seixos (Ils)*: unidade composta de lamitos, com 50 a 75% de argila e silte, e 25 a 50% de areia com granulometria fina a grossa, e subordinadamente arenitos pelíticos, compostos por 25 a 50% de argila e silte e 50 a 75% de areia, ambos maciços e contendo grânulos e seixos esparsos, alguns blocos e raros matacões.
- Ritmitos e arenitos finos (Ira): esta unidade, estratigraficamente situada acima dos lamitos e abaixo dos arenitos, apresenta as seguintes *fácies*:
 - A. Pacotes métricos de ritmitos, intercalados por argilitos e arenitos muito finos.

- B. Arenitos argilosos, micáceos e maciços, em camadas centimétricas.
- C. Argilitos laminados, com camadas decimétricas a métricas.
- D. Arenitos muito finos, com laminação plano paralela.

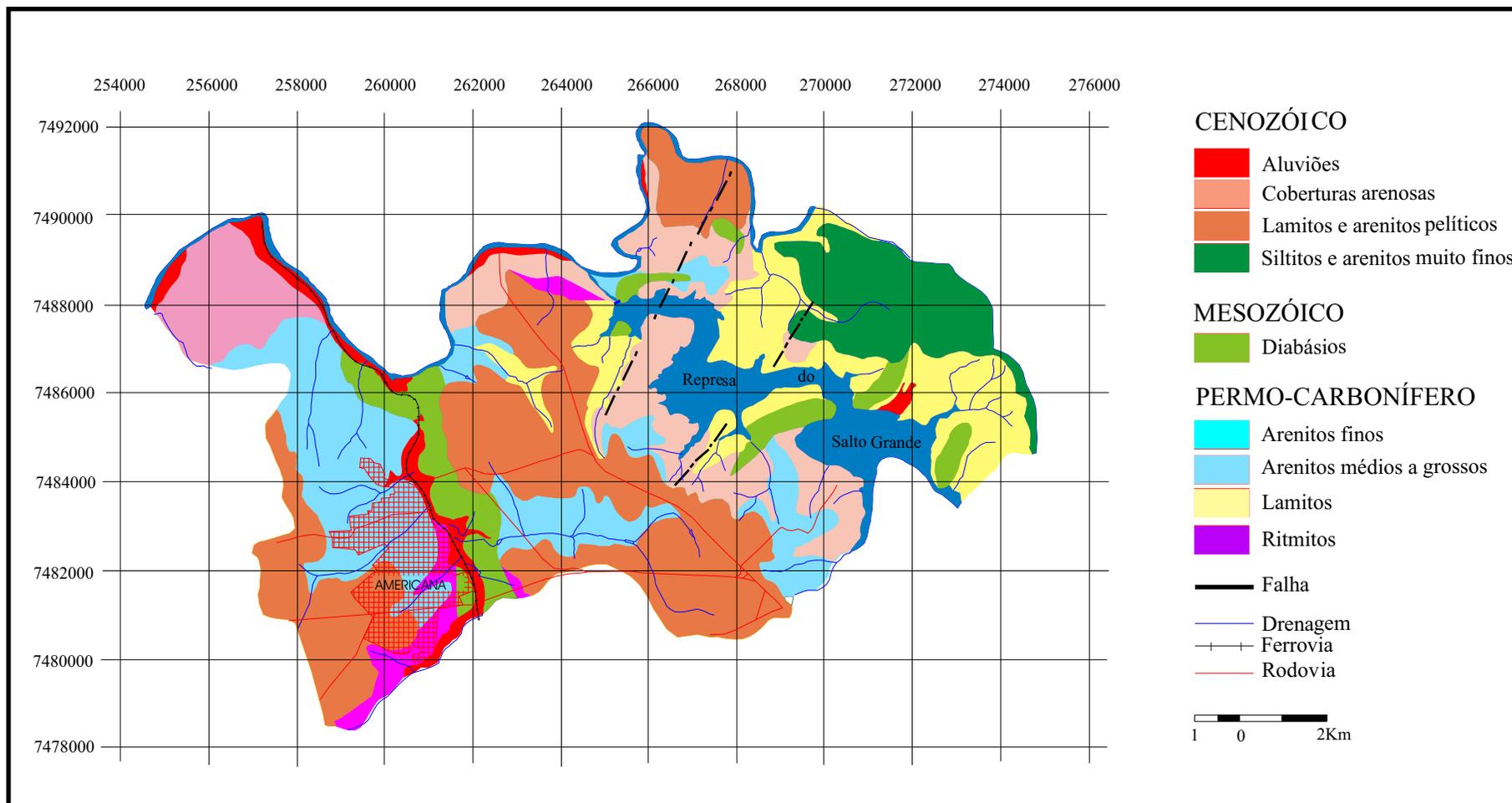


Figura 3. Mapa geológico. (Fonte: ARAÚJO 1999)

E. Argilitos e siltitos, com laminação incipiente.

F. Raros e ocasionais lamitos, com grânulos e seixos esparsos.

- *Arenitos finos laminados (Iaf)*: Unidade formada por arenitos finos silto-argilosos, de coloração esbranquiçada a bege, com variadas laminações: ondulada, acanalada, plano paralela ou cruzada de baixo ângulo, *climbing ripple* e *hummocky*.
- *Arenitos médios a grossos (Iam)*: Unidade constituída por arenitos com granulometria de média a grossa, bem selecionados, subarcoseanos, com estratificação cruzada de médio a grande porte e plano paralela.

3.5.2. Diabásios

Os Diabásios da região tendem a formar corpos alongados. Segundo FERNANDES e FERREIRA (1994) muitos desses corpos aparecem na forma de soleiras nos rios principais. Em superfície geram solos com coloração vermelha escura, o que indica um alto teor de ferro e argila, característicos desta forma de magmatismo.

Grande parte dos sítios urbanos encontra-se sobre estes diabásios, desta forma estes corpos são de grande importância (LIMA, 1997).

3.5.3. Depósitos Cenozóicos

Os Depósitos Cenozóicos cobrem extensões relativamente importantes na área, e recobrem os sedimentos do Subgrupo Itararé e os corpos básicos Intrusivos.

Geralmente apresentam-se pouco compactos e com estrutura bastante porosa. Os solos originados a partir destes depósitos são, em geral, arenosos e argilosos. Estas altas porosidade e permeabilidade são provocadas pela

lixiviação da matriz no processo de sedimentação, o que pode gerar problemas geotécnicos graves posteriormente (FÚLFARO e BJORNBERG, 1993)

O relevo destes depósitos é bem evidenciado para FERNANDES e FERREIRA (1994), com a presença de terrenos aplainados, colinas amplas, baixa densidade de drenagem e ainda a ocorrência de pequenas bacias, que podem ou não estar vinculadas com as drenagens.

Para BJORNBERG e LANDIM (1966) as coberturas existentes nas vertentes estão relacionadas com uma erosão Tércio-Quaternária, associadas à Formação Rio Claro. SOUZA FILHO (1986), contudo, afirma que estes depósitos aparecem tanto nas vertentes quanto nos fundos dos vales, acompanhando as drenagens.

FERNANDES e FERREIRA (1994) subdividem os depósitos cenozóicos em duas unidades, diferenciadas com base nas litologias que as compõem, sendo uma mais antiga caracterizada por depósitos fluviais do tipo meandrante e outra que corresponde a depósitos coluvionares que as recobrem.

No trabalho do IG-SMA (1995) esta divisão é adotada, porém ainda apresenta depósitos quaternários correlacionáveis à drenagem atual, divididos em dois grupos:

1 - Coberturas Cenozóicas de Topo e Meia Encosta

- Siltitos Laminados, Argilitos e Arenitos Grossos (Csl)
Compostos por depósitos de planície de inundação, com lagoas formadas em meandros abandonados, depósitos de canais (barra de ponta e leques aluviais), com idade Plio-Pleistocena (IG-SMA, 1995).
- Lamitos e Arenitos Pelíticos (Clã)
Acima do Subgrupo Itararé cujo contato é marcado por um pavimento de clastos, formado por seixos de quartzo arredondados até angulosos, arenitos grossos, conglomerados ferruginosos e siltitos laminados e ferruginosos/

2. – Coberturas Arenosas (Cca) e Aluviões (Ca)

As coberturas arenosas são constituídas por arenitos médios a grossos e em menor quantidade por arenitos finos, com estratificação plano-paralela, cruzada e cascalheiras, ocupando pedimentos e terraços antigos do Rio Piracicaba.

Os depósitos aluvionares correspondem a areias finas até grossas, sedimentos silto-argilosos, com lentes de areia fina a muito fina, argilas e siltes, geralmente associados a planície aluvial do Ribeirão Quilombo.

3.6. Materiais Inconsolidados/Pedologia

IG-SMA (1995) mapeou 16 unidades de materiais inconsolidados na porção média da bacia do Rio Piracicaba, tendo em vista associar o material de origem ao contexto geológico e geomorfológico. Este trabalho tem como objetivo o município de Americana, sendo assim, somente as unidades que ocorrem na região serão citadas.

O mapa empregado (figura 4) extraído de ARAÚJO (1999), modificado do relatório técnico do projeto “Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba” desenvolvido pelo IG-SMA (1995).

As características apresentadas pelos solos e materiais inconsolidados constituem a principal base para a seleção de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos. Deste modo, um detalhamento destas informações se faz necessário.

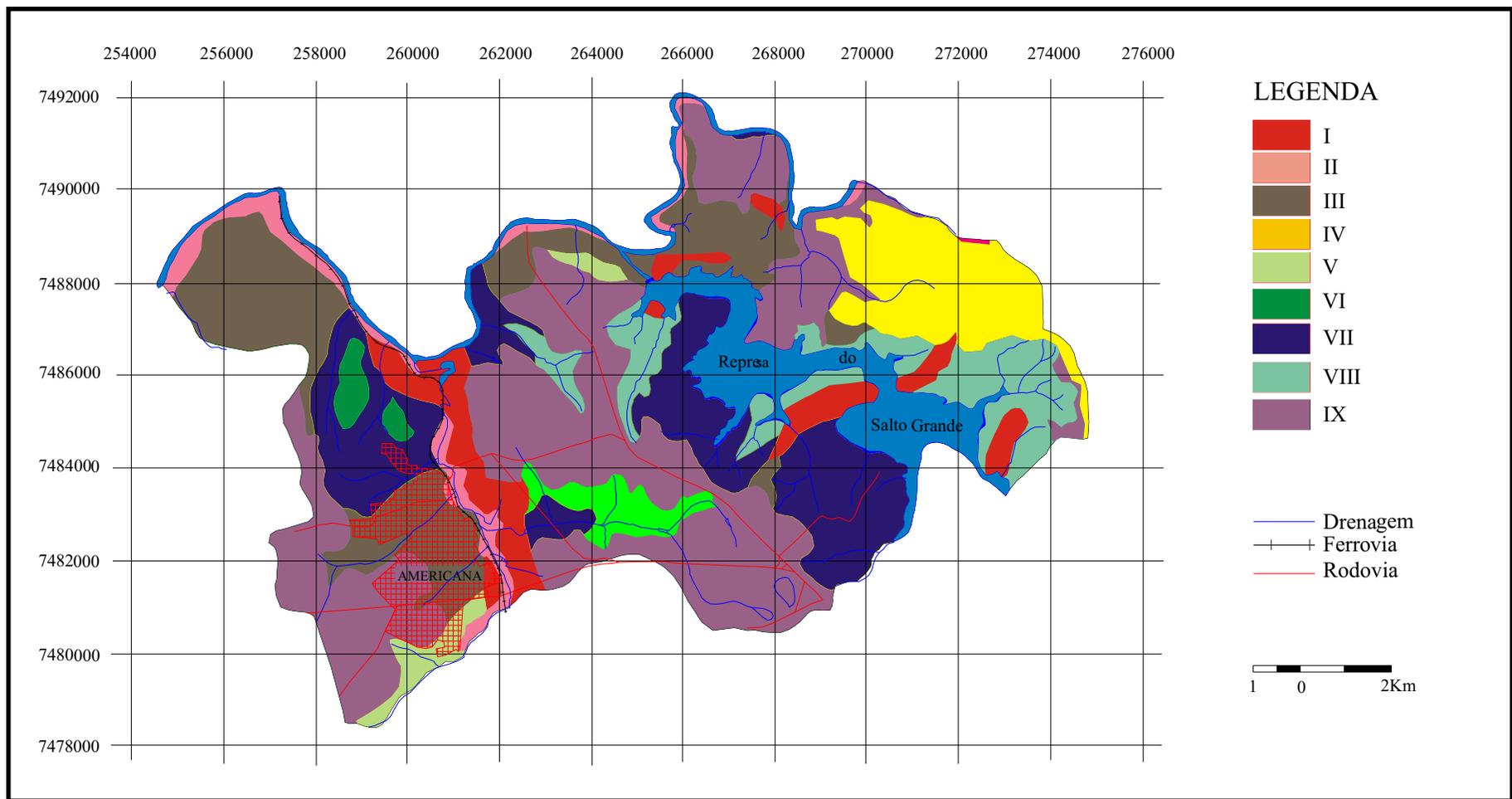


Figura 4. Mapa de materiais inconsolidados. (Fonte: ARAÚJO 1999)

Unidade I

Corresponde aos materiais sobrepostos aos diabásios, em associação aos relevos de colinas amplas, colinas amplas de topos horizontalizados, colinas amplas e medias e colinas pequenas.

No geral as espessuras são variadas, com maior frequência nas classes entre 0 a 2m e 2 a 5m. Os tipos de solos que podem ser associados são Latossolo Húmico (LH), Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Latossolo Roxo (LR).

Na base da encosta, o perfil de alteração apresenta um solo superficial de textura argilosa, muito mole, com espessura de 1,0m, solo residual argiloso muito mole com 1,5m de espessura, e saprolito. A meia encosta observa-se solo superficial arenoso e argiloso, solo residual argiloso, com espessura acima de 2,0m e saprolito argiloso, com espessura superior a 0,5m.

Unidade II

Os materiais inconsolidados desta unidade são originários dos sedimentos da *fácies* lamito com seixos do subgrupo Itararé e da *fácies* lamitos, dos depósitos cenozóicos, associados a relevos como colinas amplas, colinas amplas e médias e colinas amplas com topos horizontalizados.

A predominância das espessuras está nas classes 5 a 10m e maior que 10m. Estão associados a solos do tipo Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Húmico (LH), Latossolo Vermelho Amarelo (LV) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV).

O solo superficial na base da encosta possui textura argilo-arenosa e areno argilosa, variando entre 0,5 e 4,5m, solo residual areno-argiloso, de 0,5 a 1,8m e saprolito com textura areno-argilosa e argilo-arenosa, de 0,2 a 0,4m. A meia encosta, o solo superficial é arenoso, com baixo teor de argila, e varia de 0,6 a 1,7m de espessura, possui textura areno-argilosa e argilo-arenosa, com variações para areno-siltosa. O saprolito mostra uma textura argilos-arenosa, com variações para argiloso ou areno-argilosa, com espessura de 0,5 a 2,0m. No

topo da encosta o solo superficial é areno-argiloso, com espessura acima de 2,0m, não foram observados solo residual ou saprolito.

Unidade III

Materiais derivados dos sedimentos da fácies argilitos, siltitos e arenitos grossos, dos depósitos cenozóicos representam esta unidade, estão combinados com relevos do tipo colinas amplas, colinas amplas e médias, e colinas amplas de topo horizontalizados.

As espessuras desta unidade estão nas classes de 10m e maior que 10m. Os solos que podem ser associados a estes materiais são Latossolo Vermelho Amarelo (LV), Latossolo Húmico (LH), Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV).

Na base da encosta encontra-se um solo superficial de textura areno-argilosa e espessura de 3,5m e um saprolito com textura silto-argilosa e acima de 0,3m de espessura. A meia encosta o solo superficial mostra uma textura areno-argila a argilosa, com variação na espessura de 0,3 a 2,0m, o solo residual apresenta uma textura argilosa a argilo-arenosa e espessura maior que 3,0m. No topo encontra-se um solo superficial com textura que alterna entre areno-argilosa, argilo-arenosa e areno-siltosa, com espessura de 1,5m, e o solo residual tem textura que varia de areno-siltosa a argilo pouco arenosa, acima de 2,0m de espessura.

Unidade IV

Esta unidade é composta por materiais sobrepostos à fácies cobertura arenosa dos depósitos cenozóicos, à fácies arenitos finos laminados e à fácies arenitos médios a grossos do subgrupo Itararé. Os tipos de relevos associados são: colinas amplas, colinas amplas com topos horizontalizados e colinas amplas e médias. As classes de espessuras dominantes são 5 a 10m e maior que 10m, e os solos associados são Podzólico Vermelho Amarelo (PV), Latossolo Vermelho

Amarelo (LV), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Húmico (LH) e Latossolo Roxo (LR).

Na base da encosta, o solo superficial tem uma textura areno-argilosa, com espessura de 1,5 a 3,5m, o solo residual é areno-argiloso, podendo variar texturalmente de argila a areia muito fina e 1,5m de espessura, o saprolito mostra textura areno-siltosa e espessura de 0,6m. O solo superficial encontrado a meia encosta mostra textura areno-argilosa e areno-siltosa, e pode variar de areia muito fina a silte e argila, com espessura de 0,5 a 2,0m, o solo residual apresenta textura argilosa a areno-argilosa e possui variação de argila a areia muito fina, com espessura de 0,1 a mais de 1,5m, o saprolito apresenta uma textura argilosa a areno-argilosa com alternância de areia muito fina, possuindo espessura de 0,1 a 1,5m. O topo da encosta apresenta um solo superficial com textura arenosa pouco argilosa variando de argila a areia fina, com espessura superior a 3,5m.

Unidade V

Formada por materiais sobrepostos à fácies ritmitos do subgrupo Itararé, correlacionados a relevos como colinas amplas e médias. A espessura dominante está nas classes 0 a 2m e 2 a 5m. Os solos associados são o Podzólico Vermelho Amarelo (PV), o Latossolo Vermelho Escuro (LE), o Latossolo Vermelho Amarelo (LV) e o Latossolo Roxo (LR).

A meia encosta, no perfil de alteração, o solo superficial não foi encontrado, o solo residual apresenta textura areno-argilosa com espessura menor que 1,5m e o saprolito possui textura argilosa pouco arenosa e espessura acima de 0,4m.

Unidade VI

Constituída por materiais sobrepostos à fácies arenitos finos laminados e fácies arenitos médios a grossos do subgrupo Itararé, relacionados a relevos dos tipos colinas médias e amplas e colinas médias. Presente em pequenas porções à noroeste do município de Americana. As espessuras estão contidas entre 5 e

10m, associando-se a solos dos tipos Podzólico Vermelho Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho Amarelo (LV)

Nas base da encosta não são encontrados solos superficial e residual. O saprolito apresenta textura arenosa e espessura maior que 1,7m. Os materiais de meia encosta e topo não foram descritos.

Unidade VII

Composta por material sobreposto a fácies arenitos finos laminados e fácies arenitos médios a grossos do subgrupo Itararé, estão relacionados a relevos como colinas médias e pequenas e colinas pequenas. As espessuras encontram-se entre as classes 0 a 2m e 2 a 5m, com associação dos solos Podzólico Vermelho Amarelo (PV), o Latossolo Vermelho Escuro (LE), o Latossolo Vermelho Amarelo (LV), o Latossolo Roxo (LR), Cambissolo (Cb) e Solo Litólico (Li).

O perfil de alteração desta unidade apresenta na base da encosta um solo superficial com textura alternante entre argilo-arenosa, argilosa, arenosa pouco argilosa, com espessuras na faixa de 0,8 a 1,2m, um solo residual com textura areno-argilosa e silto-arenosa com espessura entre 0,2 e 1,0m, o saprolito encontrado apresenta textura arenosa e espessura de 0,3 a 1,5m. A meia encosta encontra-se um solo superficial de textura areno-argilosa variando de argila a areia fina a média com espessura de 1,0 a 1,5m, um solo residual com textura que varia de areno-argilosa a argilo-arenosa e espessura de 1,0 a 3,5m, e por fim um saprolito arenoso e espessura acima de 1,5m.

Unidade VIII

Esta unidade é formada por materiais inconsolidados sobrepostos à fácies lamitos dos depósitos cenozóicos e à fácies lamitos com seixos do subgrupo Itararé, associados a relevos definidos como colinas médias e pequenas e colinas pequenas. As espessuras encontradas estão dentro da classe de 0 a 2m,

relacionados a solos do tipo Podzólico Vermelho Amarelo (PV), o Latossolo Vermelho Amarelo (LV), Cambissolo (Cb) e Solo Litológico (Li).

A meia encosta mostra um solo superficial com textura arenosa a areno-argilosa, com espessura de 0,5 a 1,5m, o solo residual possui textura areno-argilosa a argilosa e espessura de 0,2 a acima de 1,0m, e o saprolito apresenta uma textura areno-argilosa e espessura superior a 0,4m.

Unidade IX

Esta unidade é composta por materiais que agregam os sedimentos fluviais, distribuídos em formas de terraços, planícies de inundação e depósitos colúvio-aluvionares, não possuem grande expressão na região do município de Americana. Apresenta espessuras entre as classes 0 a 2m, 2 a 5m e 5 a 10m, e o solo encontrado associado é do tipo hidromórfico.

Os depósitos colúvio-aluvionares correspondem à unidade geomorfológica alúvio-coluvionar, compostos por sedimentos fluviais finos, de planícies de inundação, capeados e/ou interdigitados por sedimentos coluviais, com matriz arenosa e silto-arenosa (IG-SMA, 1995).

A síntese das unidades de materiais inconsolidados da área encontra-se descrita na tabela 2 .

Tabela 2 – Síntese das unidades de materiais inconsolidados da área (ARAÚJO, 1999, modificado de IG-SMA, 1995).

Unidade	Solo Superficial – SS	Relevo Associado	Litologia – L
	Solo Residual – SR		Espessura – E
	Saprolito – SP		Solo – S
I	SS – textura argilosa a arenosa SR – textura argilosa SP – textura argilosa	Colinas Amplas, Amplas e Médias Amplas com topo horizontalizados, Médias e Pequenas, Pequenas.	L: Diabásio E: 2 a 5m. S: Latossolo Húmico, vermelho escuro e roxo.
II	SS – textura areno-argilosa SR – textura areno-argilosa SP – textura areno-argilosa	Colinas Amplas, Amplas e Médias Amplas com topo horizontalizados.	L: Lamitos (Itararé e Cenozóico) E: 5 a 10m e >10m S: Latossolo roxo, vermelho escuro, húmico, vermelho amarelo, podzólico vermelho amarelo.
III	SS – textura areno-argilosa SR – textura argilosa SP – textura silto-argilosa	Colinas Amplas, Amplas e Médias Amplas com topo horizontalizados.	L: Argilitos, siltitos e arenito cenozóicos E: 5 a 10m e >10m S: Latossolo vermelho amarelo, vermelho escuro, húmico e podzólico vermelho amarelo.
IV	SS – textura areno-argilosa SR – textura areno-argilosa SP – textura areno-argilosa	Colinas Amplas, Amplas e Médias Amplas com topo horizontalizados.	L: Arenitos (Itararé e Cenozóico) E: 10m e >10m S: Podzólico vermelho amarelo, latossolo vermelho amarelo, vermelho escuro, húmico e roxo.
V	SS – não observado SR – textura areno-argilosa SP – textura argilosa pouco arenosa	Colinas Amplas, Amplas e Médias.	L: Ritmitos (Itararé) E: 0 a 2m e 2 a 5m S: Podzólico vermelho amarelo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo.
VI	SS – não observado SR – não observado SP – textura arenosa	Colinas Médias e Amplas e Médias.	L: Arenitos (Itararé) E: 5 a 10m S: Podzólico vermelho amarelo e latossolo vermelho amarelo.
VII	SS – textura areno-argilosa SR – textura areno-argilosa SP – textura arenosa	Colinas Médias e Pequenas e Pequenas.	L: Arenitos (Itararé) E: 0 a 2m e 5 a 10m S: Podzólico vermelho amarelo e latossolo vermelho escuro, vermelho amarelo e roxo, cambissolo e litólico.
VIII	SS – textura arenosa a argilosa SR – textura areno-argilosa a argilosa SP – textura areno-argilosa a argilosa	Colinas Médias e Pequenas, Médias e Pequenas.	L: Lamitos (Itararé e Cenozóico) E: 0 a 2m S: Podzólico vermelho amarelo, latossolo vermelho amarelo, cambissolo e litólico.
IX	Nível T1 – areias finas a argilosa Nível T2 – areias finas a argilosa Nível T3 – areais médias a grossas	Planícies Fluviais	L: Aluvião E: 0 a 2m, 2 a 5m e 5 a 10m S: Hidromórfico

3.7. Uso e Ocupação do Solo

Entender as formas de uso e a ocupação do solo da região em estudo é importante, tendo em vista que, em conjunto com parâmetros que caracterizam o meio físico, este é um dos critérios utilizados para seleção de locais adequados à disposição de resíduos sólidos.

A área em estudo possui as seguintes classes de ocupação:

- *Urbanização Consolidada* – Caracterizada por áreas com ocupação permanente, possuindo edificações em área de grande, média e baixa densidade.
- *Comprometida com Urbanização/Chácaras de Lazer* – Locais onde se nota a presença de arruamentos e loteamentos, com poucos domicílios ou ainda desocupados. As chácaras de lazer que possuem uso esporádico estão incluídas nesta classe.
- *Áreas Industriais* – Correspondem a grandes complexos industriais ou indústrias isoladas, situadas mais distantes dos centros urbanos, ou ainda distritos industriais. No município de Americana existe um importante pólo industrial, com realce à indústria têxtil.
- *Mata* – Áreas com a vegetação natural do tipo arbóreo. Agrega ainda as áreas de mata ciliar.
- *Capoeira* – São áreas com presença de vegetação arbustiva secundária e esparsa.
- *Reflorestamento* – Áreas onde se encontra a vegetação arbórea homogênea, com fins econômicos, contudo no município de Americana é de pouca expressão.
- *Campo/Pastagens* – Corresponde a áreas com pasto natural ou cultivado.
- *Agrícola* – Representada por áreas cultivadas, nas quais as principais culturas são: cana de açúcar, milho, laranja e algodão.

- *Outros Usos* – Nesta categoria estão incluídas as demais áreas que não podem ser enquadradas nas classes anteriores.

O mapa utilizado (figura 5) foi retirado de ARAÚJO (1999), por sua vez modificado do relatório técnico do projeto “Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba” desenvolvido pelo IG-SMA (1995).

Outro fator importante para seleção de áreas para disposição de resíduos é a quantidade de lixo produzida pela população, o município de Americana possui aproximadamente 190.000 habitantes, que produzem cerca de 93 toneladas ao dia (CETESB, 2003).

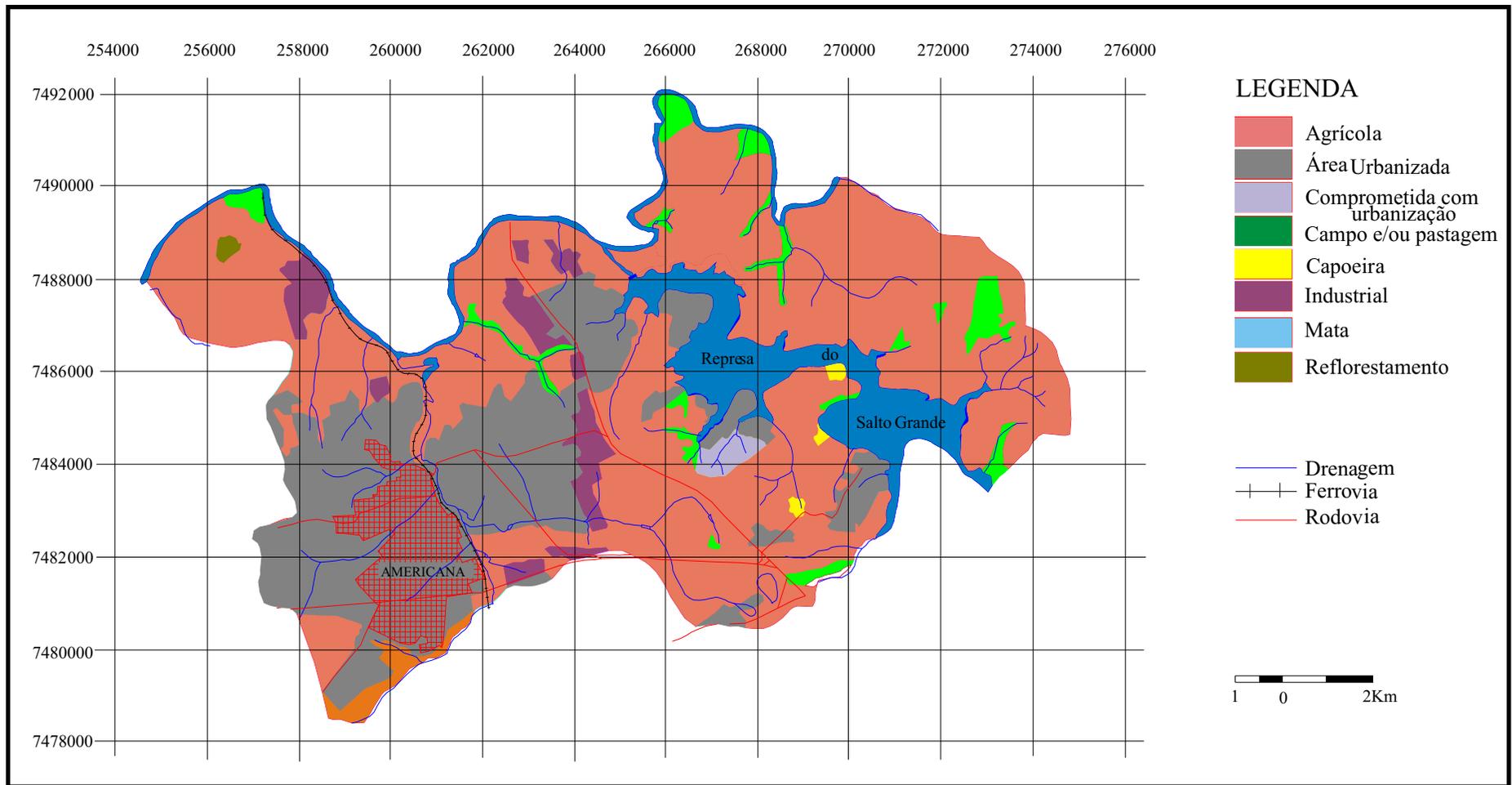


Figura 5. Mapa de uso e ocupação do solo. (Fonte: ARAÚJO, 1999)

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Disposição de Resíduos Sólidos

É considerado resíduo sólido qualquer mistura de materiais ou restos destes, originários das mais diversas atividades humanas, que são descartados por não apresentarem mais utilidade.

Os resíduos sólidos podem ser classificados por sua natureza física: seco ou molhado; sua composição química: orgânico ou inorgânico; quanto aos riscos que oferecem ao meio ambiente e à saúde pública: perigoso, não inerte ou inerte; e ainda podem ser classificados por sua origem: doméstico, industrial, comercial, serviço de saúde, público, agrícola, de construção e de terminal de transportes (PHILIPPI Jr, 1999).

A produção de resíduos sólidos é um dos problemas mais característicos da humanidade, e é evidenciada pelo crescimento populacional e pelo acelerado processo de urbanização.

Em estudos efetuados pelo IBGE, 83% dos resíduos sólidos coletados nas cidades brasileiras têm disposição inadequada, o que pode resultar em:

- Deslizamento dos morros onde são atirados os detritos;
- Enchentes causadas pelo assoreamento dos rios e córregos onde os resíduos são lançados;
- Proliferação dos vetores transmissores de doenças, tais como insetos e roedores;
- Maus odores devido à decomposição da matéria orgânica existente no resíduo; e
- Poluição do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas (ORTH, 1999).

Segundo ORTH (1999), os municípios de pequeno e médio porte resolvem estes problemas com soluções locais e de baixo custo, contudo as grandes cidades apresentam problemas semelhantes e de difícil solução, que podem ser resumidos em:

- Áreas escassas, ou inexistentes, para disposição dos resíduos sólidos;
- Conflitos com a população estabelecida no entorno dos sistemas de tratamento e destino dos resíduos sólidos;
- “Exportação” dos resíduos para municípios vizinhos, gerando resistência da população; e
- Poluição dos recursos hídricos e do solo causada por lixões.

A destinação final dos resíduos exige um estudo detalhado na região para seleção de locais adequados, a fim de evitar maiores danos à saúde pública e ao meio ambiente.

Para uma escolha adequada do local onde serão dispostos os resíduos, deve-se estabelecer critérios que satisfaçam às necessidades do município e considerar os condicionantes geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geomorfológicos da área em questão (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

Os principais condicionantes geológicos dizem respeito a:

- Zonas de alto risco sísmico;
- Zonas de falhamentos regionais;
- Zonas cársticas e de subsidência;
- Estratigrafia, tipos litológicos, heterogeneidades e anisotropias do maciço rochoso;
- Estruturas geológicas, como planos de acamamento, fraturas, falhas e dobras; e
- Características do manto de alteração e dos solos superficiais, como capacidade de troca catiônica, conteúdo de matéria orgânica, composição geoquímica, espessura, granulometria e estruturas.

Dentre os condicionantes hidrogeológicos destacam-se:

-
- Presença de aquíferos regionais;
 - Zonas de recarga de aquíferos regionais;
 - Cargas e gradientes hidráulicos, condutividade hidráulica e transmissividades, porosidades totais e efetivas, armazenamentos específicos e coeficientes de armazenamento, velocidades e direções de fluxo regionais e local das águas subterrâneas, coeficientes de dispersão e retardamentos;
 - Características da zona não-saturada, como as propriedades hidráulicas e geoquímicas;
 - A posição do nível d'água e suas variações em relação à base da disposição dos resíduos
 - Qualidade e utilização das águas subterrâneas; e
 - Proximidade, qualidade e utilização das águas superficiais.

Os condicionantes geotécnicos mais importantes são:

- Características granulométricas, porosidade, densidade e umidade;
- Características de resistência, colapsividade e deformabilidade; e
- Localização e características de áreas de empréstimo.

Entre os condicionantes geomorfológicos pode-se citar:

- Áreas sujeitas à inundação;
- Áreas com declividades acentuadas; e
- Áreas suscetíveis a escorregamentos, erosões e subsidências (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

Existem várias formas de disposição dos resíduos sólidos, dentre elas podemos citar (IPT 2000):

- *Lixão*: forma inadequada, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente e a saúde pública.

- *Aterro Controlado*: é uma técnica que visa não causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Esta técnica utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Contudo causa uma poluição ambiental localizada.
- *Aterro Sanitário*: é um método de disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente domiciliares, visto que se encontra fundamentado em princípios de engenharia e normas operacionais específicas, o que permite um confinamento seguro em relação à poluição ambiental e proteção à saúde pública. O confinamento é feito com camadas inertes, geralmente solo, de acordo com normas operacionais específicas, o que minimiza o impacto ambiental.

IPT (2000) considera o aterro sanitário como a melhor forma de disposição de resíduos sólidos, devido ao embasamento em princípios em engenharia, a fim de minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública.

Segundo IPT (2000), pode-se considerar que a adequação de um local para disposição final dos resíduos sólidos é baseada em três macro-conjuntos de critérios, relativos à qualidade natural do local utilizado para o aterro, à infraestrutura instalada e aos procedimentos operacionais empregados, respectivamente.

4.2. Sistemas de Informações Geográficas

DALE e McLAUGHLIN (1989) definem os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como uma associação de recursos humanos e técnicos computacionais em conjunto com procedimentos organizacionais, gera informações para suporte de decisões em projetos de gerenciamento.

Segundo ALVES (1990), SIGs são sistemas que se destinam ao tratamento de dados espacialmente referenciados, alimentados por dados de diversas fontes como: levantamentos de campo, cadastros, mapas e dados de sensoriamento remoto.

Para PENDOCK e NEDELEKOVIC (1996) os projetos desenvolvidos em SIGs têm como objetivo descrever e analisar interações de dados espaciais, a fim de fazer previsões através de modelos empíricos, com menores chances de erros. A associação de dados multi-fontes permite reduzir a subjetividade das interpretações que podem ocorrer nas análises individuais destes dados.

Os SIGs apresentam diversas vantagens como:

- * Armazenar dados na forma digital.
- * Possuir grande número de ferramentas que possibilitam o cálculo de a superposição e obtenção de novos mapas, diversas modelagens e transformações escalares com mapas.
- * Possibilidade de análise multi-temporal.
- * Integração com outros modelos (ARANIBAR, 1994).

BONHAM-CARTER (1994) define SIG como um sistema computadorizado para o gerenciamento de dados espaciais, onde cada termo apresenta um significado:

- Sistema é referente à sua constituição por vários componentes interligados com diferentes funções (aquisição, manipulação, transformação, visualização, combinação, análise, modelamento e exportação de dados)
- Informação diz respeito aos dados organizados para representar o conhecimento do usuário por meio de mapas, imagens, tabelas, gráficos, entre outros.
- Geográficas porque a localização espacial dos dados é conhecida ou pode ser calculada em coordenadas geográficas.

Para MARBLE (1990, os principais componentes de um SIG são:

1. Um subsistema de entrada de dados, utilizado na coleta e processamento dos dados existentes;
2. Um subsistema de armazenamento e recuperação dos dados, que permita um acesso rápido para correção e atualização dos dados em análise posteriores;
3. Um subsistema de manipulação que possibilite a análise e geração de dados derivados; e
4. Um subsistema para apresentação dos dados tanto na forma gráfica como tabular.

A maior aplicabilidade para os SIGs, segundo ALVES (1990), está na análise e monitoramento ambiental, planejamento urbano e regional, estudo de recursos terrestres, controle de redes de transportes e controle de redes de utilidades (água, energia, gás).

BONHAM-CARTER (1994) enfatiza a importância dos SIGs no mapeamento do potencial mineral e ,segundo este autor, esta metodologia pode ser empregada com sucesso dentro das geociências em diversos campos e pode-se citar alguns:

- Mapeamento de risco relacionado a escorregamentos, danos por terremotos, vulcanismo, alagamentos e inundações, erosão costeira, entre outros.
- Seleção de locais para execução de obras de engenharia, tais como: disposição de resíduos, redes de encanamentos, estradas, ferrovias, represas.
- Avaliação de recursos minerais, tais como metais, água, areia, cascalho, rochas ornamentais, petróleo e outros.

Outros autores, como ARONOFF (1989), ressaltam outros usos como:

- Agricultura e uso da terra, definindo as potencialidades de uso.

- Áreas florestais e de manejo de vida selvagem, com objetivo de harmonizar a preservação ambiental e o uso público.
- Arqueologia, a fim de descobrir sítios arqueológicos novos a partir de sítios conhecidos.
- Geologia, para identificar áreas com potencial para produzir algum bem mineral.
- Planejamento urbano.
- Aplicações em escala geral.

Diversos autores empregaram as técnicas dos sistemas de informações geográficas e podem ser citados como exemplos práticos de aplicação:

RIEDEL (1997) sintetizou um mapa de suscetibilidade a rupturas planares da região de Atibaia com base na análise multicritério de diversas variáveis geológico-geotécnicas como: coeficiente de atrito de saprolito, direção e mergulho da foliação.

RIDENTE *et al.* (1997) elaboraram um mapa de risco potencial a erosão laminar e linear de uma área localizada em São José do Rio Preto – SP com o emprego de mapas de declividade, pedológico, uso e ocupação do solo e processos erosivos.

VEDOVELLO *et al.* (1999) utilizaram os SIGs voltados à cartografia geotécnica, visando estudos geoambientais.

ARAUJO *et al.* (1999) empregaram as técnicas de SIGs para seleção de locais adequados a disposição de resíduos sólidos no município de Americana, com base em mapas temáticos de permeabilidade relativa, pH, capacidade de troca catiônica, espessura de material inconsolidado, declividade e outros.

MOREIRA (2001) gerou mapas voltados à pesquisa mineral no Planalto de Poços de Caldas indicando a potencialidade à ocorrência de minerais radioativos empregando dados planimétricos, litológicos, radiométricos e estruturais.

Na cartografia geotécnica, a classificação tem sido feita por meio da técnica de superposição de mapas, onde as informações são tratadas por uma lógica dualista (satisfaz ou não satisfaz), ou mais raramente uma lógica de valoração não dual.

Os processos de inferência espacial, realizados em SIGs, podem ser desenvolvidos por meio de diversas técnicas de análise espacial, o que pode dificultar a escolha do modelo mais adequado à combinação dos dados e geração de cenários que servirão como base ao suporte as decisões.

O cartógrafo geotécnico que realiza a classificação incorpora pequenos “ajustes pessoais” (através de decisões subjetivas e fundamentadas em seu conhecimento a respeito do assunto) por meio de processos lógicos complexos que não são reconhecidos no procedimento tradicional de cartografia. Assim, o trabalho apresenta um caráter pessoal e subjetivo na manipulação das informações e obtenção de cartas geotécnicas (SOUZA, 1998).

O emprego da tecnologia de SIG na seleção de locais adequados à disposição de resíduos sólidos envolve uma série de parâmetros que satisfaçam a critérios pré-definidos. Neste trabalho, o método de lógica Difusa será empregado para integração de dados, e os resultados obtidos serão comparados com os encontrados por ARAÚJO (1999), que empregou os modelos de lógica Booleana e Multicriterial Poderada.

4.2.1. Modelo de Lógica Booleana

O modelo de lógica booleana está fundamentado no mesmo princípio de superposição (*overlay*) dos mapas temáticos empregados em métodos geológicos. Por ser um modelo semelhante ao utilizado tradicionalmente e possuir uma simplicidade operacional, o modelo de lógica booleana é um dos mais usados em diferentes estudos ambientais desenvolvidos em SIGs.

Este modelo envolve a combinação lógica de mapas binários por meio de operadores condicionais. Cada mapa empregado nesta técnica pode ser entendido como um plano de informação.

Para o emprego da análise booleana, os planos de informação devem representar apenas duas classes, favorável e não favorável, deste modo apresenta um padrão binário. Desta forma, uma generalização das informações contidas no plano é necessária, para tanto se realiza uma reclassificação destas informações, a fim de gerar apenas duas classes, que podem satisfazer ou não a hipótese definida.

Vários mapas binários podem ser combinados a fim de satisfazer os critérios pré-estabelecidos para o projeto, seguem sempre uma ordem lógica, e diferentes operadores podem ser testados.

Dentre os operadores deste modelo encontram-se os seguintes: **E** (*and*), **OU** (*or*), **IMP** (implicação), **EQV** (equivalência) e **NÃO** (*not*). Os mais empregados são **E** e **OU**, intersecção e união respectivamente dos dados.

O modelo de lógica booleana produz sempre, como resultados, mapas determinísticos ou binários. Embora este modelamento seja prático não é considerado o mais adequado, uma vez que não considera que os planos de informação envolvidos podem apresentar importâncias relativas diferentes.

4.2.2. Modelo de Lógica Multicriterial Ponderada

Este modelo também é conhecido como média ponderada. EASTMAN et al. (1995) citam este modelo como, provavelmente, o mais utilizado em análise espacial.

Neste modelo, cada superfície de informação recebe um peso relativo a sua importância, assim como cada classe contida neste plano, de acordo com os critérios estabelecidos para o projeto a ser desenvolvido.

Os planos de informação são interpolados através de uma soma ponderada, expressa matematicamente por:

$$S = \frac{\sum_i^n S_{ij}W_i}{\sum_i^n W_i} \quad \text{onde,}$$

S (*Score*) é o valor obtido para uma determinada área;

W_i é o peso atribuído ao mapa; e

S_{ij} é o valor atribuído a cada classe dentro do mapa, o valor de **j** depende da classe que ocorre no local.

Segundo ARAÚJO (1999), os valores de cada classe e de cada mapa empregados são ajustados para refletir o julgamento de quem analisa um determinado problema. Para a quantificação da maioria dos atributos o critério é numérico, contudo existem alguns casos, como em permeabilidade relativa dos materiais inconsolidados onde o critério é subjetivo.

Os resultados gerados a partir desta técnica serão mapas com áreas que expressam graus de importância relativa, por meio de valores numéricos (MOREIRA, 2001).

4.2.3. Métodos de Lógica Difusa

Os métodos de lógica Difusa possibilitam a graduação da valoração dentro de um determinado intervalo de valores. Deste modo, trata de maneira mais realística os conceitos imprecisos e subjetivos, que são comuns nas análises do meio físico. O termo Difuso (*Fuzzy*) geralmente é associado com imprecisão e complexidade (FREITAS e MENDES, 1998).

De acordo com BURROUGH (1989a), existem duas linhas de pensamento dentro da lógica difusa, uma voltada para a álgebra difusa, que utiliza métodos mais complexos, geralmente empregados na engenharia, e outra que diz

respeito à Lógica Difusa espacial, relacionada com processos mais subjetivos, ambíguos que quase sempre são utilizados nas geociências. Este trabalho empregará os conceitos utilizados na segunda linha de pensamento, tendo em vista que os conceitos e critérios para disposição de resíduos sólidos dependem, muitas vezes, do analista.

Segundo ZADEH (1965), a lógica difusa é equivalente a computar com palavras ao invés de números. O emprego das palavras significa perda de precisão, se comparado ao modelo tradicional (BOOLEANO), contudo é possível a elaboração de modelos qualitativos que apresentam bons resultados.

Para BURROUGH E McDONNELL (1998), a lógica difusa é indicada quando existe ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceito de fenômenos empíricos. A caracterização das classes dentro da lógica difusas é feita quando estas não apresentam ou não podem definir entre si um contato rígido.

Diversos autores empregaram os métodos de lógica difusa em seus trabalhos, para citar alguns:

BURROUGH et al. (1997) mostra uma comparação entre a classificação contínua, utilizando os métodos de lógica difusa e a classificação tradicional, empregando métodos geoestatísticos para classificação de solos, simulando diferentes manejos, variando localização e atributos.

FREITAS e MENDES (1998), utilizaram as técnicas Booleana e Difusa para comparar e representar áreas potenciais de recarga de aquíferos na região de Porto Alegre, RS.

SOUZA (1998) apresentou os principais conceitos de lógica difusa para cruzamentos de mapas e seleção de novas áreas para disposição de resíduos sólidos no Distrito Federal.

BURROUGH et al. (2000) empregaram as técnicas de lógica difusa para classificação de solos, usando dados de Alberta, Canadá.

MOREIRA (2001) comparou diversas técnicas de integração e análise de dados espaciais para selecionar áreas favoráveis a pesquisa mineral no Planalto

de Poços de Caldas, MG. Dentre elas os métodos de lógica difusa e todos seus operadores.

A figura 6 mostra a diferença entre os modelos Booleano e Difuso. O primeiro é representado por apenas duas classes (favorável e não favorável), enquanto o segundo apresenta uma faixa progressiva entre as situações que são favoráveis ou não ao que se deseja classificar.

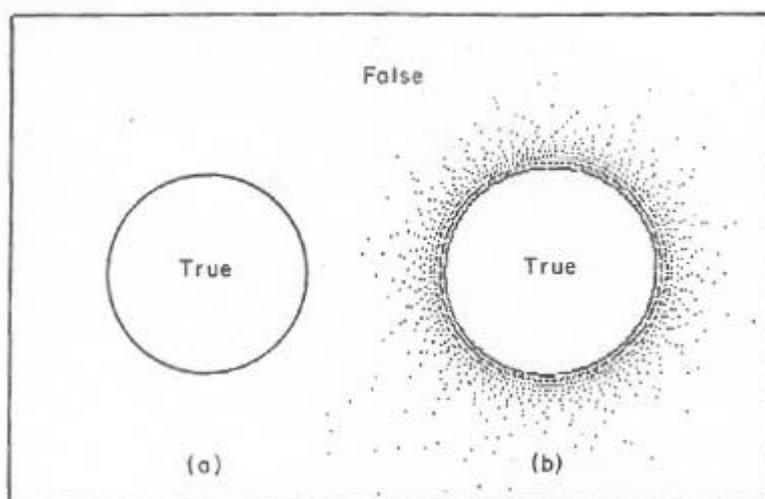


Figura 6: Comparação entre um conjunto Booleano (a) e um conjunto Difuso (b) BURROUGH(1989a).

KLIR e YUAN (1995) reconhecem quatro fatores que tornam o modelo elaborado com lógica difusa superior ao modelo convencional (Booleano):

1. Fornece um meio de expressar observações e medidas incertas em qualquer forma que se apresentam;
2. Oferece maior quantidade de recursos para demonstrar a complexidade (quanto maior a complexidade maior a superioridade dos modelos de lógica difusa),
3. Oferece recursos mais expressivos, que permitem trabalhar com uma variedade maior de problemas. Com a capacidade particular de colocar em termos matemáticos problemas que necessitam o uso de linguagem;

4. Possui a capacidade de capturar a razão humana e outros aspectos do conhecimento e intuição e inclui-los, ao invés de excluí-los, aos sistemas de computação.

Deste modo, a lógica difusa mostra sua importância, pois fornece meios para o desenvolvimento da ciência, com base mais na imprecisão do que na precisão, manipulando a impressão, a intuição e o entendimento subjetivo, mais do que com dados perfeitos, contudo perde na precisão estatística (ZADEH, 1965).

COX (1994, apud MOREIRA, 2001) propõe a idéia de que uma variável lingüística é o fundamento do modelamento da lógica difusa, e os conjuntos de lógica difusa indicam a relação de um atributo com o conjunto como todo. Enquanto que para FANG (1997), o conjunto de lógica difusa é definido por pares de valores, onde o primeiro valor (lingüístico) é o membro do conjunto; enquanto o segundo valor (numérico) representa o grau de relacionamento do membro com o conjunto.

O emprego de conjuntos de lógica difusa é indicado quando é necessário lidar com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos e conceituais de fenômenos empíricos, desta forma quando a classificação de determinado atributo não possibilita a caracterização de limites rígidos entre suas classes (BURROUGH e McDONNELL, 1998).

Os conjuntos de lógica difusa admitem a possibilidade de pertinência parcial, construindo situações onde os limites entre classe não são bem definidos, e a transição entre satisfatório e não satisfatório é gradual e contínua. Em contrapartida, os conjuntos convencionais possuem funções de pertinência binária (verdadeiro ou falso) (FREITAS e MENDES, 1998).

Na construção de modelos com lógica difusa, deve-se estabelecer índices que caracterizam os membros de uma classe em particular (índices difusos - μ). Estes índices podem mostrar conceitos imprecisos como: “recomendável”, “razoável”, “indicado”, “não indicado” entre outros, que são expressos por

faixas de valores que estabelecem limites para a passagem de uma classe para outra, porém nem sempre é possível delimitá-los com clareza e precisão (SOUZA, 1998).

Um conjunto de lógica difusa pode ser definido, matematicamente, como segue: se \mathbf{Z} expressa um espaço de objetos, então o conjunto de lógica difusa é expresso pelo par ordenado:

$$\mathbf{A}=(\mathbf{z}, \mathbf{MF}_A(\mathbf{z}))$$

Para todo $\mathbf{z} \in \mathbf{Z}$, onde a função \mathbf{MF}_A é admitida como uma “graduação” mapeável do membro \mathbf{z} em \mathbf{A} .

Geralmente, o valor numérico de \mathbf{MF}_A varia entre **0 (zero)** e **1 (um)**, onde **1** corresponde ao membro que se enquadra perfeitamente ao conjunto e **0** aquele que não pertence ao conjunto.

A graduação dos membros de um conjunto é baseada numa aceitação de possibilidade, ou seja, o valor da função $\mathbf{MF}_A(\mathbf{z})$ de um objeto \mathbf{z} em \mathbf{A} significa o grau de compatibilidade de um parâmetro relacionado ao conjunto \mathbf{A} e ao objeto \mathbf{z} . Assim, $\mathbf{MF}_A(\mathbf{z})$ analisa o quanto \mathbf{z} pode pertencer ao conjunto \mathbf{A} (BURROUGH e McDONELL, 1998).

A figura 7 representa a pertinência de elementos de um conjunto de lógica difusa, em um exemplo estudado por BONHAN-CARTER (1994), referente à poluição de um reservatório com arsênio. As amostras que possuem valores de até 50ppm representam um reservatório que não é poluído, portanto não está contido no conjunto de lógica difusa. Acima de 50ppm existe um grau de incerteza se estão ou não poluídos até atingir valores de 250 ppm, onde se possui a certeza de poluição, portanto são elementos contidos no conjunto de lógica difusa.

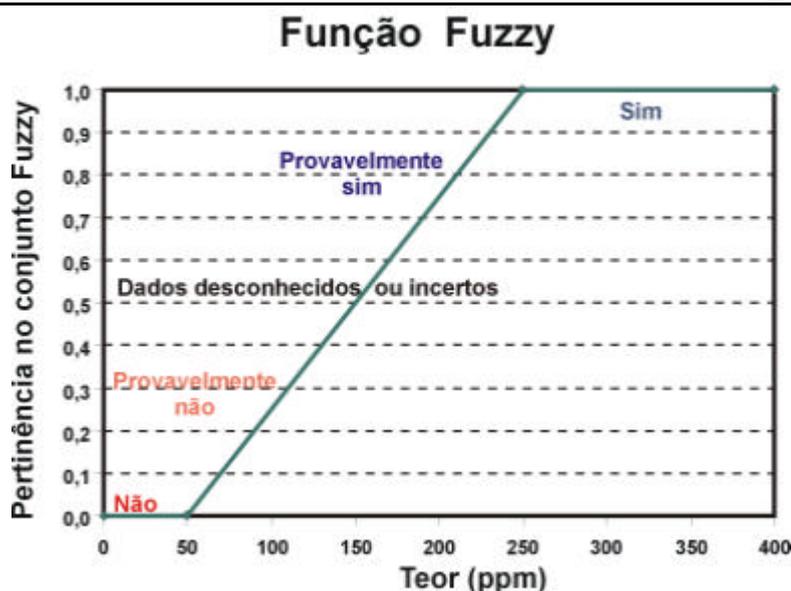


Figura 7: Representação gráfica de pertinência de elementos em um conjunto de lógica difusa modificado de BONHAM-CARTER, 1994 (ROCHA, 2001).

No centro de cada conjunto o valor encontrado deve ser sempre 1, assegurado pela função difusa, e este decresce de modo lógico através de uma fronteira difusa (zona de transição) para regiões externas ao conjunto, onde o valor deve ser 0. O ponto que apresenta valor numérico igual a 0,5 é um ponto que se encontra no “ponto de cruzamento” e este deve igualar-se ao contato rígido encontrado pelo modelo Booleano (BURROUGH e McDONELL, 1998).

As decisões do tipo - quantos e quais atributos devem ser empregados, qual função deve representar cada atributo, qual operador e como será utilizado a fim de estabelecer as inter-relações dos atributos - é de competência de quem está elaborando o modelo e deve refletir sua concepção geotécnica do tema estudado.

Segundo BORRUGH (1989), existem duas maneiras de deduzir as funções de pertinência para os conjuntos de lógica difusa: a primeira é equivalente às determinadas por análise de agrupamento e taxonomia numérica; segunda, mais simples, é fundamentada no uso de uma função de pertinência a priori. Os limites de um conjunto podem ser definidos de maneira objetiva ou subjetiva,

onde as classes são determinadas por meio de discussões de vários especialistas na área.

Segundo FREITAS e MENDES (1998), as funções de pertinência difusa caracterizam o grau de pertinência de dados para cada classe. Normalmente três tipos de funções de pertinência são considerados: A função sigmoidal (em forma de “s”), a função em forma de “j” e a função linear. Para determinação da forma que cada função pode assumir necessita-se de quatro pontos de controle ao longo do eixo X. (EASTMAN, 1999).

A função sigmoidal provavelmente é a mais utilizada dentro da lógica difusa. Nas funções empregadas na lógica difusa são necessários quatro pontos de controle que governam a forma da curva. Estes são chamados de pontos de inflexão. Quatro possibilidades de inflexão na curva desta função são apresentadas na figura 8, onde os pontos “a, b, c e d” são considerados os pontos de inflexão da função difusa.

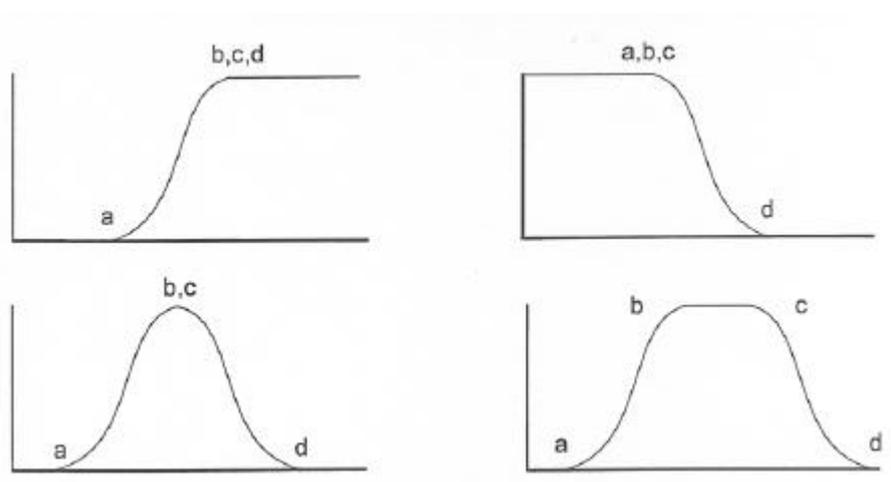


Figura 8: Função Sigmoidal e suas diversas possibilidades (EASTMAN, 1999).

A função em forma de J também é comum, contudo na maioria dos casos a função sigmoidal se adapta melhor. A figura 9 mostra as quatro opções que a função pode assumir, assim como os locais onde podem estar fixados os pontos de inflexão que determinarão qual forma a curva apresentará.

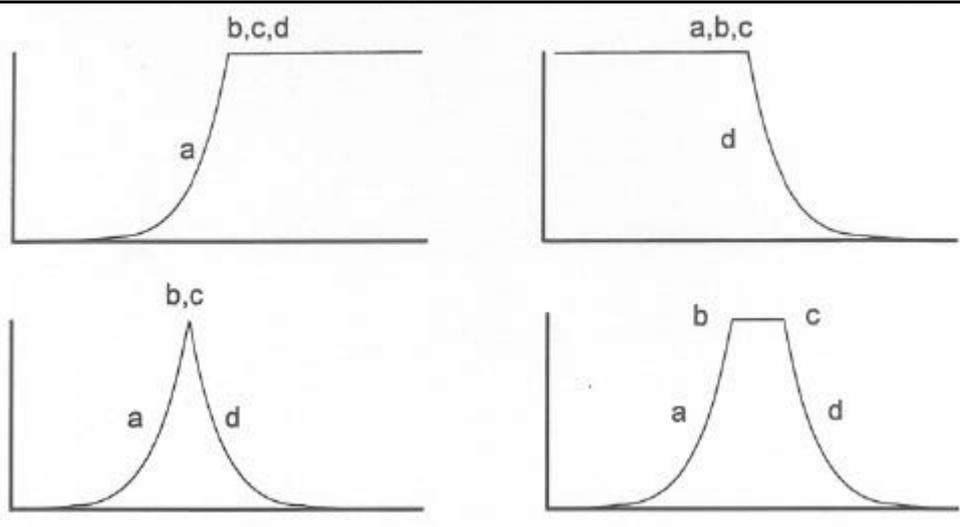


Figura 9: Função em forma de J, com suas variedades (EASTMAN, 1999).

A função linear é a mais simples das três, assim é largamente empregada, em parte por sua simplicidade e em parte por possuir essencialmente sensores lineares. A figura 10 mostra suas possibilidades de inflexão e onde estão colocados os pontos de inflexão.

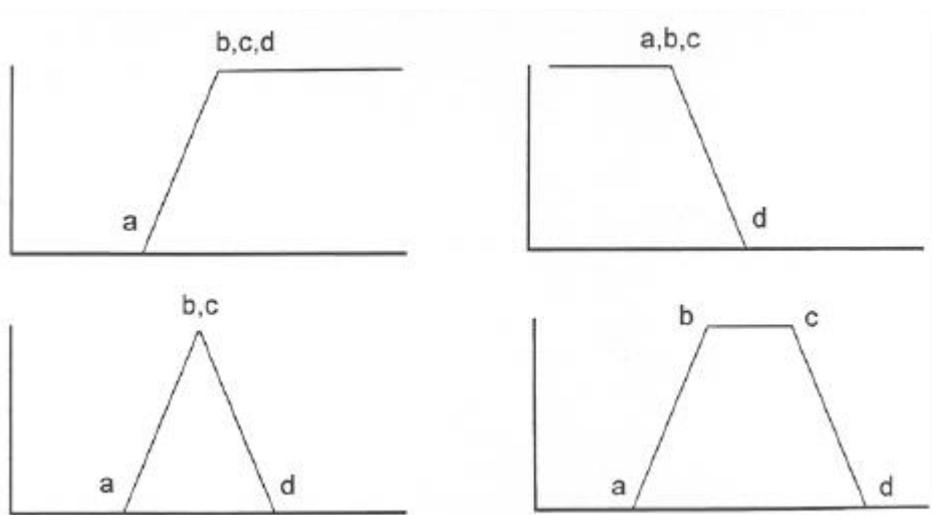


Figura 10: Função linear e suas possibilidades (EASTMAN, 1999).

Quando às relações dos valores, utilizadas na Lógica Difusa, não seguem algumas dessas três funções pode-se utilizar um número ilimitado de pontos de controle para definir uma nova curva que se aplica a este determinado atributo,

sendo considerado que as relações entre dois pontos de controle serão interpoladas de forma linear (EASTMAN, 1999).

A lógica difusa permite expressar as incertezas do processo cartográfico em termos de uma função matemática:

$$m = \mathbf{F}(\mathbf{X})$$

Na qual \mathbf{X} representa o valor numérico de um determinado atributo e μ o seu índice difuso. Este índice é um número Real e pode variar entre 0 e 1 (SOUZA, 1998).

KOMAC e SJAN (2001) ao trabalharem com áreas poluídas e não poluídas, calcularam os índices difusos a partir dos valores de alarme e críticos considerados na legislação através da expressão:

$$(PI_i)_{xy} = \frac{(c_i)_{xy}}{l_i}$$

Onde $(PI)_{xy}$ é o índice de poluição, (c_i) é a concentração do elemento i no ponto xy e l_i é o limite definido pela legislação para este mesmo elemento.

Com os índices difusos determinados para um conjunto de informações, suas relações podem ser calculadas e estabelecidas pela lógica difusa. As formas de operações de inter-relações que podem ser de cinco tipos: **MÍNIMO**, **MÁXIMO**, **SOMA**, **PRODUTO** e **GAMA** (BONHAM-CARTER, 1994).

4.2.3.1. Operadores Difusos

A. Operador Difuso Mínimo (E)

Este operador é semelhante ao operador **E** (intersecção) do modelo de lógica Booleana, e é expresso por:

$$m = \mathbf{Min} (ma, mb, mc, \dots)$$

Onde m_a corresponde ao valor do membro difuso (*pixel*) para um ponto particular em um plano de informação A , e os valores de m_b e m_c são respectivamente os valores deste ponto nos planos B e C.

Para este operador, o resultado em um ponto do plano de informação resultante será sempre o menor valor dos membros difusos de entrada. Desta forma, o resultado obtido é sempre muito restritivo, sendo indicado para situações onde dois ou mais parâmetros são necessários para satisfazer a hipótese.

B. Operador Difuso Máximo (OU)

Este operador é equivalente ao operador OU (União) do modelo de lógica Booleana, onde os parâmetros são combinados pela função:

$$m = \mathbf{Max}(m_a, m_b, m_c, \dots)$$

Onde os valores de m_a , m_b e m_c são os valores dos membros difusos nos planos de informações A, B e C respectivamente.

Ao contrário do operador anterior, o plano de informação resultante sempre admitirá como resposta o maior valor encontrado para os membros difusos de entrada, assim se apenas um parâmetro satisfizer à hipótese, este membro é considerado potencial.

Este operador é considerado o mais otimista dentre os operadores difusos.

C. Produto Difuso

Este operador corresponde ao produto algébrico de entre os parâmetros analisados e tende a ter resultados menores que os obtidos no operador difuso mínimo, devido o efeito multiplicativo em números menores que 1 (ROCHA, 2001).

A expressão que define este operador é:

$$m = \prod_{i=1}^n m_i$$

Onde m_i representa o valor do membro difuso para um plano de informação i . O operador realiza a multiplicação dos membros difusos nos diferentes planos de informação e o valor resultante é sempre igual ou menor que o menor valor de entrada do membro difusos, por ser uma multiplicação de valores iguais ou menores que 1.

D. Soma Difusa

Segundo ROCHA (2001) este operador é o complemento do anterior, contudo apresenta resultados maiores dos elementos combinados.

Não representa uma soma algébrica propriamente dita, é expressa por:

$$m = \prod_{i=1}^n (1 - m_i)$$

Onde m_i corresponde ao valor do membro difuso para um plano de informação i . O operador realiza a multiplicação do termo $(1 - m_i)$ nos diferentes planos de informação ($i = 1, 2, 3, \dots$). Na soma algébrica difusa o valor resultante é sempre igual ou maior que o maior valor de entrada do membro difuso.

E. Operador Difuso Gama

Este operador é definido por dois termos, um produto algébrico difuso e uma soma algébrica difusa:

$$m = (\text{soma algébrica difusa})^g * (\text{produto algébrico difuso})^{1-g}$$

No operador gama pode-se variar a importância de cada membro, soma ou produto algébrico difuso, e esta importância é definida atribuindo-se valores entre 0 e 1 ao expoente g (BONHAM-CARTER, 1994).

A figura 11 exhibe graficamente as possibilidades de atribuição de valores ao expoente g . A livre opção na escolha dos operadores gama a serem usados possibilita ao geólogo o controle da modelagem, caracterizando um procedimento de decisão.

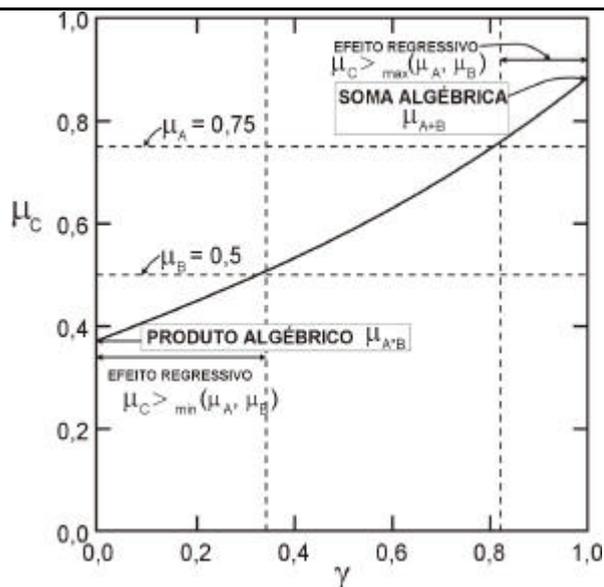


Figura 11: Gráfico de valor g versus m (distribuição de Operador Difuso Gama),
BONHAM-CARTER, 1994.

O valor de gama (g) controla as operações difusas Gama, com o incremento da adequabilidade, com valores de g muito próximos de 1 ($0,8 < \gamma < 1$) onde os valores de saída possuem valores iguais ou maiores que os de entrada; ou, com a redução do resultado final da adequabilidade, pelo uso de valores g menores ($0 < \gamma < 0,35$) pois os valores de saída serão sempre iguais ou menores aos de entrada (BONHAM-CARTER, 1994).

5. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram efetuadas as seguintes etapas : aquisição de dados, pesquisa bibliográfica e entrada dos dados no SIG, modelagem dos dados pelos métodos de Lógica Difusa, integração dos dados pelos operadores difusos , geração dos mapas finais e comparação entre os resultados obtidos pela utilização da Lógica Difusa , com os obtidos pela análise booleana e multicriterial ponderada.

5.1. Aquisição de dados

No início desta pesquisa, foi efetuado um levantamento das informações básicas para a seleção dos documentos necessários à efetivação do trabalho. Além do material bibliográfico esta documentação possui:

- Mapa Digital Topográfico do município de Americana, escala 1:50.000;
- Mapa Geológico do município de Americana, escala 1:50.000, já digitalizado;
- Mapa de Materiais Inconsolidados do município de Americana, escala 1:50.000, já digitalizado;
- Mapa Potenciométrico do município de Americana, escala 1:50.000, já digitalizado;
- Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Americana, escala 1:50.000, já digitalizado;
- Mapa de Solos do município de Americana, escala 1:50.000, já digitalizado;
- Mapa de Declividade, gerado a partir do Mapa Topográfico.
- Carta de Adequabilidade à Disposição de Resíduos Sólidos do município de Americana, escala 1:50.000, pelo método Booleano;
- Carta de Adequabilidade à Disposição de Resíduos Sólidos do município de Americana, escala 1:50.000, pelo método Multicriterial Ponderado;

Os mapas utilizados neste trabalho foram produzidos por ARAÚJO (1999), com base nos dados de IG-SMA (1995)

5.2. Escolha do Software

O *software* escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o IDRISI 3.2, por ser um *software* de fácil manejo e pela sua disponibilidade.

O IDRISI 3.2 é um sistema de informação geográfica e de processamento de imagens desenvolvido pela *Clark University*, que fornece instrumentos de análise espacial com baixo custo.

É um *software* que apresenta grande capacidade de integração, análise e consulta dos dados espaciais, pois é composto por 135 módulos de programas. Os dados espaciais são apresentados na forma de planos de informação (*layers*).

Os bancos de dados digitais analisados no Idrisi utilizam basicamente a estrutura *raster ou matricial*, onde cada ponto do banco apresenta um valor definido. Entretanto, o *software* também apresenta a capacidade de trabalho com estrutura vetorial, onde são considerados campos que apresentam a mesma informação (EASTMAN, 1999).

O programa possibilita a aplicação da análise espacial em várias áreas do conhecimento, como a análise ambiental, exploração mineral, gerenciamento de recursos hídricos, mapeamento de recursos de uso e ocupação de solo, manejo e gerenciamento do solo, entre outros.

5.3. Entrada de dados no SIG

A entrada dos dados no SIG é considerada uma das etapas mais importantes do trabalho, uma vez que dela dependem os resultados obtidos. Para TOMLINSON *et al.* (1976), cerca de 60% do tempo empregado no desenvolvimento de um projeto é referente à entrada dos dados.

QUINTANILHA(1995) demonstra preocupação com a entrada dos dados sobretudo por seu tamanho e complexidade. O tamanho, que pode exceder ao padronizado, e deste modo necessitar ser dividido. A complexidade faz referência a linhas muito próximas, e/ou com diferentes cores e espessuras, e assim dificultam sua caracterização.

De acordo com BONHAM-CARTER (1994), dispor os dados num formato digital e gerar um banco de dados espaciais onde todos os mapas, imagens, tabelas estejam corretamente georreferenciados depende o maior tempo e esforço do projeto desenvolvido em SIG. Esta etapa envolve os aspectos de captura e conversão de dados espaciais cujas fontes podem ser projeções de mapas, digitalização e conversão de coordenadas.

Existem muitos problemas que podem interferir nesta etapa. Segundo BURROUGH (1989b), as fontes de erros são:

- Fontes diversas de erros, como idade, escala dos mapas, densidade de observações, representatividade dos dados, entre outros.
- Erros resultantes de variações naturais ou de medições, como precisão do posicionamento, precisão do conteúdo, erro de observação, variação natural, e outros.
- Erros produzidos pelo processamento, como erros numéricos, metodológicos, de classificação e generalização, definição de intervalos de variação e interpolação.

5.3.1. Importação para o IDRISI 3.2

Os dados obtidos a partir de ARAÚJO (1999), onde as análises referentes a distâncias seriam efetuadas (distância dos principais corpos d'água, distância dos pontos de captação de água, distância das zonas urbanas e distância das áreas de proteção ambiental), foram importados para o IDRISI 3.2 seguindo sempre a mesma técnica:

- Os arquivos digitalizados no AutoCAD 14 (Formato DXF) foram importados para o IDRISI 3.2, com o comando *DXFIDRIS*
- Através do comando *INITIAL* foi gerada uma imagem de fundo com resolução espacial de 30m, contendo 734 colunas e 500 linhas.
- O arquivo com estrutura vetorial, importado previamente, foi convertido para estrutura *raster*, utilizando o comando *POLYRAS*. Este arquivo foi sobreposto à imagem de fundo, gerada anteriormente.

Os dados obtidos a partir de ARAÚJO (1999), que possuem diferentes classes (variação de pH, capacidade de troca catiônica, permeabilidade relativa, espessura do material inconsolidado, profundidade do nível estático), passaram por etapas diferentes, relacionadas a seguir:

- Arquivos exportados pelo AutoCAD 14, através da rotina Vert, que gera o arquivo com os dados brutos no formato xyz (formato DAT), contendo os pares de coordenadas e os valores do atributo a ser analisado, de forma seqüencial, por linhas e pontos;
- Geração de uma malha regular de (*Grid*) no Surfer 7.0, pelo método do inverso do quadrado da distância(IQD), com a geração de informações contínuas (Formato ASCII *.DAT), É recomendado a efetivação de vários testes de autocorrelação e medidas de resíduos para verificar a técnica de interpolação mais adequada ao conjunto de amostras que se deseja regularizar (Silva *et al.*, 2000)
- Importação para o IDRISI 3.2 por meio do comando XYZIDRIS;
- Geração de superfície contínua das informações por meio dos dados pontuais dentro do IDRISI 3.2, com a utilização do método da triangulação (TIN e TINSURF) do próprio IDRISI, que considera os vizinhos mais próximos de cada amostra para promover a construção do espaço contínuo;

Os dados topográficos que deram origem à imagem de declividade passaram pelos mesmos processos que os que possuem diferentes classes, entretanto tiveram uma etapa complementar dentro do IDRISI 3.2, relacionada à geração da carta de declividade, através do comando SLOPE do IDRISI 3.2, expressa em percentagem.

A etapa final de todos os mapas importados para o IDRISI 3.2 foi a multiplicação por uma imagem com os limites para delimitação da área de estudo e a conversão dos dados numéricos para o formato contínuo difuso, através do comando *FUZZY*, nas operações de suporte a decisões dentro do IDRISI 3.2. A tabela 3 faz um resumo das operações processadas em cada um dos mapas temáticos

Tabela 3: Operações realizadas nos mapas temáticos.

Mapa temático	Mapa de onde	Operações fora	Operações	Operações
---------------	--------------	----------------	-----------	-----------

	foi extraído	do idrisi	para poder utilizar lógica difusa	difusos (fuzzy)
Áreas de proteção ambiental	Uso e ocupação	Importação dxf 12 do autocad	Dist, *limite	<i>Fuzzy L crescente</i>
Captação de água	Hidrológico	Importação dxf 12 do autocad	Dist, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>
Espessura do material inconsolidado	Materiais inconsolidados	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, tinsurf, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>
Profundidade do lençol freático	Hidrológico	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, tinsurf, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>
Principais corpos de água	Hidrológico	Importação dxf 12 do autocad	Dist, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>
Variação de ph	Pedológico	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, tinsurf, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>
Distancia da zona urbana	Uso e ocupação	Importação dxf 12 do autocad	Dist, *limite	<i>Fuzzy S simétrico</i>
Variação da capacidade de troca catiônica	Pedológico	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, *limite	<i>Fuzzy S simétrico</i>
declividade	Topográfico	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, tinsurf, Slope e *limite	<i>Fuzzy S simétrico</i>
Permeabilidade relativa	Materiais inconsolidados	Rotina vert no autocad (dat), Grid surfer IQD (ASCII.dat)	Tin Idrisi, tinsurf, *limite	<i>Fuzzy S crescente</i>

5.4. Modelagem dos dados

Os processos de suporte de decisões, desenvolvidos em SIGs, são realizados por meio de diferentes métodos de inferência espacial, baseados em distintas técnicas de análise espacial, o que dificulta a escolha do modelo mais adequado de combinação dos dados e na criação de cenários favoráveis às necessidades determinadas nos inícios dos trabalhos de pesquisa.

Os estudos que visam relacionar áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos com a utilização de SIG envolvem a satisfação de um conjunto de critérios estabelecidos, que objetivam o menor prejuízo ao meio ambiente.

Os modelos que envolvem os métodos de lógica Booleana são embasados em técnicas determinísticas, encerram a combinação lógica de mapas binários e resultam na aplicação de operadores condicionais (ARAÚJO, 1999).

Nos modelamentos com métodos multi-criteriais ponderados, os mapas temáticos recebem um peso, assim como cada classe nele contida, assim cada localidade é avaliada ponderadamente, e resulta em uma escala de adequação (ARAÚJO, 1999).

Para os modelamentos que empregam os métodos da lógica difusa, existe uma abundância de funções que podem ser utilizadas para mapear as propriedades a serem analisadas, e gerar superfícies com informações contínuas que podem variar de inadequadas a adequadas à disposição de resíduos.

5.4.1 Métodos de Lógica Difusa

Para a aplicação dos métodos de lógica difusa é necessário que todos os planos de informação, que são os mapas temáticos referentes aos vários critérios considerados, apresentem um mesmo formato numérico. Para tanto, estes foram convertidos através de funções de lógica difusa para o formato “byte/binário” onde 0 representa as localidades menos favoráveis e 255 as que apresentam maior adequabilidade à disposição de resíduos sólidos.

O primeiro passo para elaboração de cada um destes planos de informação foi a definição dos limites difusos a serem utilizados em cada

critério. Deste modo foram comparados os limites utilizados para os métodos Booleano e Multi-Criterial Ponderado, como mostra a tabela 4.

Tabela 4: Comparação dos limites Booleanos, Multi-Criteriais e Difusos.

Mapa	Limites Booleanos	Limites multicriteriais	Limites difusos
Áreas de proteção ambiental	Não protegidas 1 Protegidas 0	0-1Km 1 1-2Km 2 2-3Km 3 3-4Km 3 >4Km 5	A = 1000 B = 4000
Captação de água	>3km 1 <3km 0	1-3Km 1 3-6Km 2 6-9Km 3 9-12Km 4 >12Km 5	A = 3000 B = 8000
Espessura do material inconsolidado	>2 m 1 <2 m 0	0-2m 1 2-5m 3 5-10m 4 >10m 5	A=2 B=6
Profundidade do lençol freático	>20 m 1 <20 m 0	0-20m 1 20-40m 3 40-60m 4 >60m 5	A=20 B=50
Principais corpos de água	>3km 1 <3Km 0	<1Km 1 1 - 3Km 2 3 - 5Km 3 5 - 7Km 4 >7Km 5	A=1000 B=5000
Variação de ph	>4 1 <4 0	<4,6 1 4,7 - 5,0 2 5,1 - 5,3 3 5,4 - 5,5 4 > 5,5 5 área urbana 0	A=4,6 B=5,4
Distancia da zona urbana	>3km 1 <3Km 0	0 - 1Km 0 1 - 2 Km 2 2 - 3 Km 4 3 - 4Km 5 >4Km 2	A=1000 B=2500 C=3500 D=4000
Varição da capacidade de troca catiônica	>6meq/100g 1 <6meq/100g 0	<3.6 1 3,7-3,9 2 4,0-5,8 3 5,9-6,6 4 6,7-7,0 5 >7,0 0 área urbana 0	A=3,7 B=5,8 C=6,9 D=7.0
declividade	<20% 1 >20% 0	0 - 2% 3 2 - 5% 5	A=0.1 B=2

		5 - 10% 4 10 - 20% 2 >20% 1	C=10 D=20
Permeabilidade relativa	Média a baixa e baixa 1 Média a alta e alta 0	Alta 1 Média a alta 2 Média 3 Média a baixa 4 Baixa 5	A=2 B=4

A seguir os planos de informação foram combinados utilizando os operadores difusos.

5.4.1.1. Operador Difuso Mínimo

Para esta análise foi utilizado o operador Mínimo do IDRISI 3.2, onde as imagens empregadas na operação são aquelas que já passaram pela classificação difusa. Deste modo, foi elaborada uma nova imagem onde estão dispostos os menores valores encontrados em cada plano de informação.

A integração dos dados foi feita a partir da seguinte expressão:

$$MF_{min} = \text{Min}(MF_{pr}, MF_{ctc}, MF_{pH}, MF_{np}, MF_{esp}, MF_{dv}, MF_{dau}, MF_{dca}, MF_{pca}, MF_{apa})$$

Onde MF_{min} é a carta final de adequabilidade;

MF_{pr} representa a carta de adequabilidade referente a permeabilidade relativa;

MF_{ctc} representa a carta de adequabilidade relativa à capacidade de troca catiônica;

MF_{pH} representa carta de adequabilidade segundo o potencial hidrogeniônico;

MF_{np} representa a carta de adequabilidade referente à profundidade do lençol freático;

MF_{esp} representa a carta de adequabilidade quanto à espessura do material inconsolidado;

MF_{dv} representa a carta de adequabilidade quanto à declividade;

MF_{dau} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas urbanas;

MF_{dca} representa a carta de adequabilidade quanto à distância das estações de captação de água;

MF_{pca} representa a carta de adequabilidade relativa à distância dos principais corpos de água da área em estudo; e

MF_{apa} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas de proteção ambiental.

5.4.1.2. Operador Difuso Máximo

Este operador combina os planos de informação, que são os mapas temáticos referentes aos vários critérios utilizados na análise, de modo que assume o maior valor encontrado num determinado ponto. A combinação entre as imagens foi feita empregando-se o operador MÁXIMO do IDRISI3.2, com a utilização da seguinte equação:

$$MF_{max} = \text{Max}(MF_{pr}, MF_{ctc}, MF_{pH}, MF_{np}, MF_{esp}, MF_{dv}, MF_{dau}, MF_{dca}, MF_{pca}, MF_{apa})$$

Onde MF_{max} é a carta final de adequabilidade;

MF_{pr} representa a carta de adequabilidade referente à permeabilidade relativa;

MF_{ctc} representa a carta de adequabilidade relativa à capacidade de troca catiônica;

MF_{pH} representa carta de adequabilidade segundo o potencial hidrogeniônico;

MF_{np} representa a carta de adequabilidade referente à profundidade do lençol freático;

MF_{esp} representa a carta de adequabilidade quanto à espessura do material inconsolidado;

MF_{dv} representa a carta de adequabilidade quanto à declividade;

MF_{dau} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas urbanas;

MF_{dca} representa a carta de adequabilidade quanto à distância das estações de captação de água;

MF_{pca} representa a carta de adequabilidade relativa à distância dos principais corpos de água da área em estudo; e

MF_{apa} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas de proteção ambiental.

5.4.1.3. Produto Difuso

Este operador é um produto algébrico entre os mapas temáticos contínuos e tende a ter resultados menores que os apresentados pelo operador difuso mínimo.

Este operador pode ser enxergado também como a interseção entre os mapas. A expressão empregada neste operador é explicada a seguir:

$$MF_{prod} = MF_{pr} * MF_{ctc} * MF_{pH} * MF_{np} * MF_{esp} * MF_{dv} * MF_{dau} * MF_{dca} * MF_{pca} * MF_{apa}$$

Onde MF_{prod} é a carta final de adequabilidade;

MF_{pr} representa a carta de adequabilidade referente à permeabilidade relativa;

MF_{ctc} representa a carta de adequabilidade relativa à capacidade de troca catiônica;

MF_{pH} representa carta de adequabilidade segundo o potencial hidrogeniônico;

MF_{np} representa a carta de adequabilidade referente à profundidade do lençol freático;

MF_{esp} representa a carta de adequabilidade quanto à espessura do material inconsolidado;

MF_{dv} representa a carta de adequabilidade quanto à declividade;

MF_{dau} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas urbanas;

MF_{dca} representa a carta de adequabilidade quanto à distância das estações de captação de água;

MF_{pca} representa a carta de adequabilidade relativa à distância dos principais corpos de água da área em estudo; e

MF_{apa} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas de proteção ambiental.

5.4.1.4. Soma Difusa

Este operador não é considerado exatamente uma soma algébrica, a geração da carta de adequabilidade por meio deste método foi baseada na seguinte expressão:

$$MF_{soma} = 1 - \{ [MF_{pr} * (1 - MF_{pr})] * [MF_{ctc} * (1 - MF_{ctc})] * [MF_{pH} * (1 - MF_{pH})] * [MF_{np} * (1 - MF_{np})] * [MF_{esp} * (1 - MF_{esp})] * [MF_{dv} * (1 - MF_{dv})] * [MF_{dau} * (1 - MF_{dau})] * [MF_{dca} * (1 - MF_{dca})] * [MF_{pca} * (1 - MF_{pca})] * [MF_{apa} * (1 - MF_{apa})] \}$$

Onde MF_{soma} é a carta final de adequabilidade;

MF_{pr} representa a carta de adequabilidade referente à permeabilidade relativa;

MF_{ctc} representa a carta de adequabilidade relativa à capacidade de troca catiônica;

MF_{pH} representa carta de adequabilidade segundo o potencial hidrogeniônico;

MF_{np} representa a carta de adequabilidade referente à profundidade do lençol freático;

MF_{esp} representa a carta de adequabilidade quanto à espessura do material inconsolidado;

MF_{dv} representa a carta de adequabilidade quanto à declividade;

MF_{dau} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas urbanas;

MF_{dca} representa a carta de adequabilidade quanto à distância das estações de captação de água;

MF_{pca} representa a carta de adequabilidade relativa à distância dos principais corpos de água da área em estudo; e

MF_{apa} representa a carta de adequabilidade referente à distância das áreas de proteção ambiental.

5.4.1.5 Operador Difuso Gama

Este operador é o produto algébrico entre os mapas encontrados por meio dos dois operadores anteriores, e pode-se atribuir pesos diferentes a cada um deles através do expoente gama.

Foram gerados três mapas para analisar a diferença quanto aos produtos finais em relação à diferenciação de pesos dos mapas, utilizando-se sempre a mesma expressão aritmética:

$$MF_{gama} = (MF_{soma})^g * (MF_{prod})^{1-g}$$

Onde: MF_{gama} é a carta de adequabilidade;

MF_{soma} representa a carta de adequabilidade do operador Soma Difusa;

MF_{prod} representa a carta de adequabilidade do operador Produto.

Os valores atribuídos ao expoente gama, para compreender as possíveis alterações quando um dos membros é favorecido em relação ao outro, estão dispostos na tabela 5:

Tabela 5: Valores atribuídos ao expoente γ

Carta gerada	Gama (γ)	1 - gama (γ)
Gama 1	0,75	0,25
Gama 2	0,50	0,50
Gama 3	0,25	0,75

6. CRITÉRIOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE

Para seleção da área adequada à disposição de resíduos, são realizados inúmeros passos que buscam encontrar o equilíbrio entre os aspectos sociais envolvidos, os impactos ao meio ambiente e os custos do empreendimento. Entretanto, deve-se sempre observar que uma área adequada significa menores gastos com o preparo, operações e encerramento do empreendimento, mas essencialmente, significa menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública (TRESSOLDI e CONSONI, 1998.)

Este trabalho considera com maior importância o baixo risco ao meio ambiente e os critérios selecionados estão voltados para este fim.

Os fatores empregados para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos dentro deste trabalho foram os mesmos utilizados por ARAÚJO (1999), uma vez que se visa comparar os resultados apresentados pelos métodos analisados com os empregados neste trabalho.

Os materiais inconsolidados, a geomorfologia, a hidrogeologia, a pedologia e o uso e ocupação do solo são os fatores que influenciam na seleção, e a partir destes foram definidos os critérios a serem avaliados.

6.1. Permeabilidade relativa

A seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos deve estimar os estudos de permeabilidade relativa das unidades de solo, presentes na região analisada, uma vez que à medida que a permeabilidade aumenta, as possibilidades de carreamento de poluentes para níveis inferiores aumentam também.

São necessários estudos mais profundos de permeabilidade relativa, para determinar o comportamento dos materiais inconsolidados perante soluções

contaminantes, referentes à percolação de lixívias de resíduos, em material de zona saturada e insaturada (LEITE *et al.*, 1996).

IG-SMA (1995) separa as unidades da área em estudo em alta, média a alta, média, média a baixa e baixa (figura 12) e a relação que faz com as classes de material inconsolidado está disposta na tabela 6.

Para os estudos com o uso dos métodos de lógica difusa, foram associados valores numéricos às classes, de acordo com a adequabilidade, deste modo os maiores valores de adequabilidade foram associados aos menores de permeabilidade relativa.

Tabela 6: Permeabilidade relativa dos materiais inconsolidados. IG-SMA(1995).

Unidade	Permeabilidade Relativa	Valor associado para operações até o emprego da lógica difusa
I	Baixa	5
II	Média	3
III	Média a baixa	4
IV	Média a alta	2
V	Média a baixa	4
VI	Alta	1
VII	Alta	1
VIII	Média a baixa	4
IX	Alta	1

6.2. Capacidade de troca catiônica

Entende-se por capacidade de troca catiônica o processo de trocar cátions e ânions em fase líquida ou sólida quando dois materiais estão em contato. Assim, a capacidade de troca catiônica (CTC) espelha a competência do solo em

reter poluentes orgânicos, íons (inclusive os pouco móveis), bactérias, vírus, microorganismos (ARAÚJO, 1999).

A capacidade de troca catiônica está diretamente relacionada com a fração argilosa contida no solo, deste modo é possível determinar qual tipo de argilomineral este solo abrange.

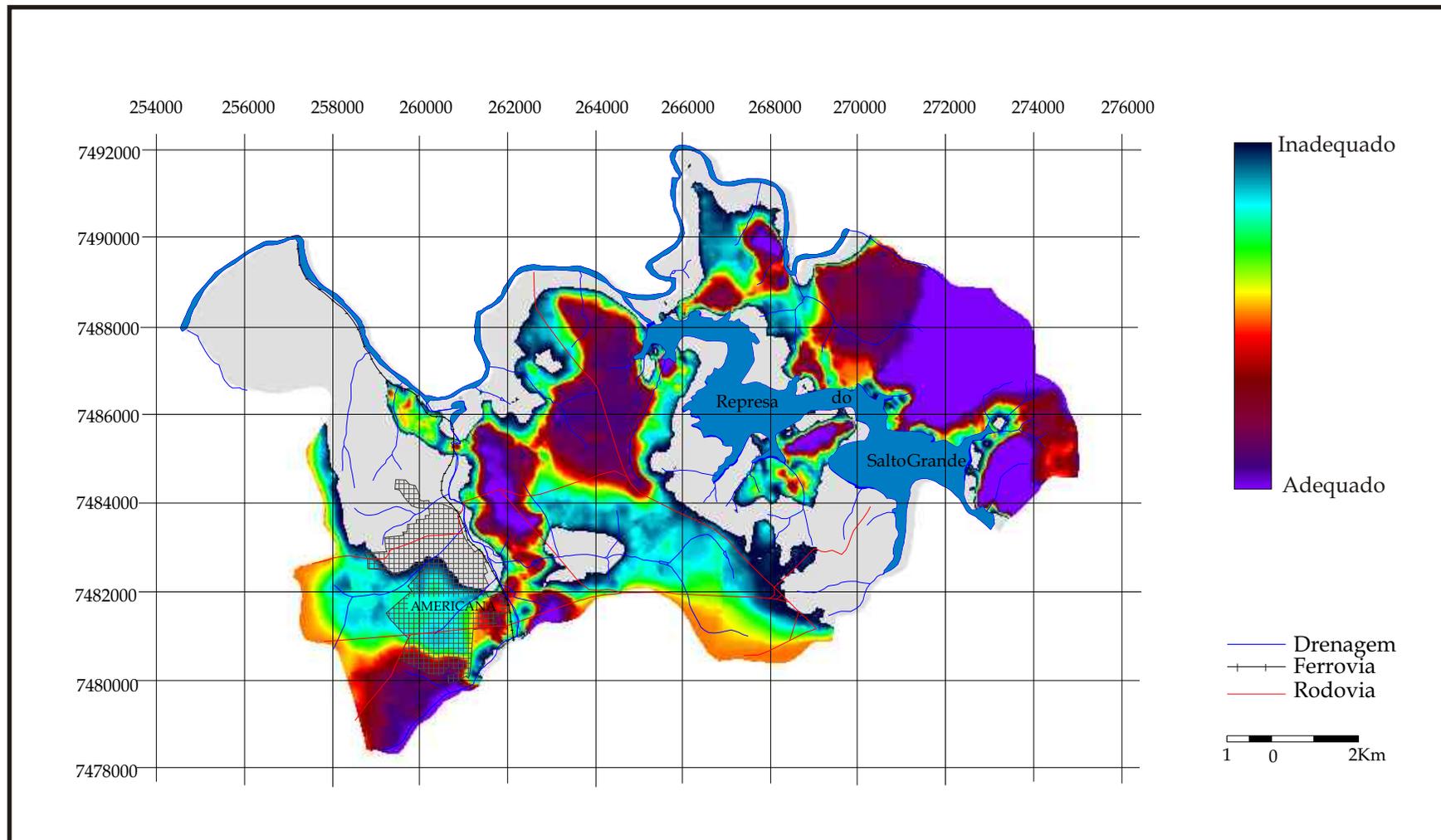


Figura 12: Carta de adequabilidade em relação à permeabilidade relativa.

Para aplicação da lógica difusa, os valores foram convertidos para uma escala contínua e crescente de adequabilidade. Para a carta gerada de adequabilidade à disposição dos resíduos sólidos em relação à capacidade de troca catiônica (figura 13), as regiões de área urbana, água e valores indeterminados de solo tiveram valores iguais a zero associados, uma vez que são áreas inapropriadas à disposição.

Os valores de capacidade de troca catiônica em relação às unidades de solo estão dispostos na tabela 7.

6.3. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) atua diretamente nas propriedades dos materiais depositados por meio de remobilização, solubilização, precipitação, ou ainda de retenção e deposição de poluentes.

O pH possibilita conhecer o comportamento que alguns poluentes apresentarão em função do grau de alcalinidade ou acidez que o material inconsolidado possui (LEITE et al., 1996).

Quando o solo apresenta elevados valores de pH, os mecanismos de precipitação prevalecem, contudo quando estes valores diminuem a precipitação torna-se subordinada em relação à capacidade de troca catiônica. Os valores acima de 4 retém com maior facilidade metais pesados na forma trocável, e quando estes valores estão abaixo de 4 predomina a retenção de cátions, na forma trocável (BORMA et al, 1996).

A tabela 7 mostra os valores de pH para os solos na área de estudo.

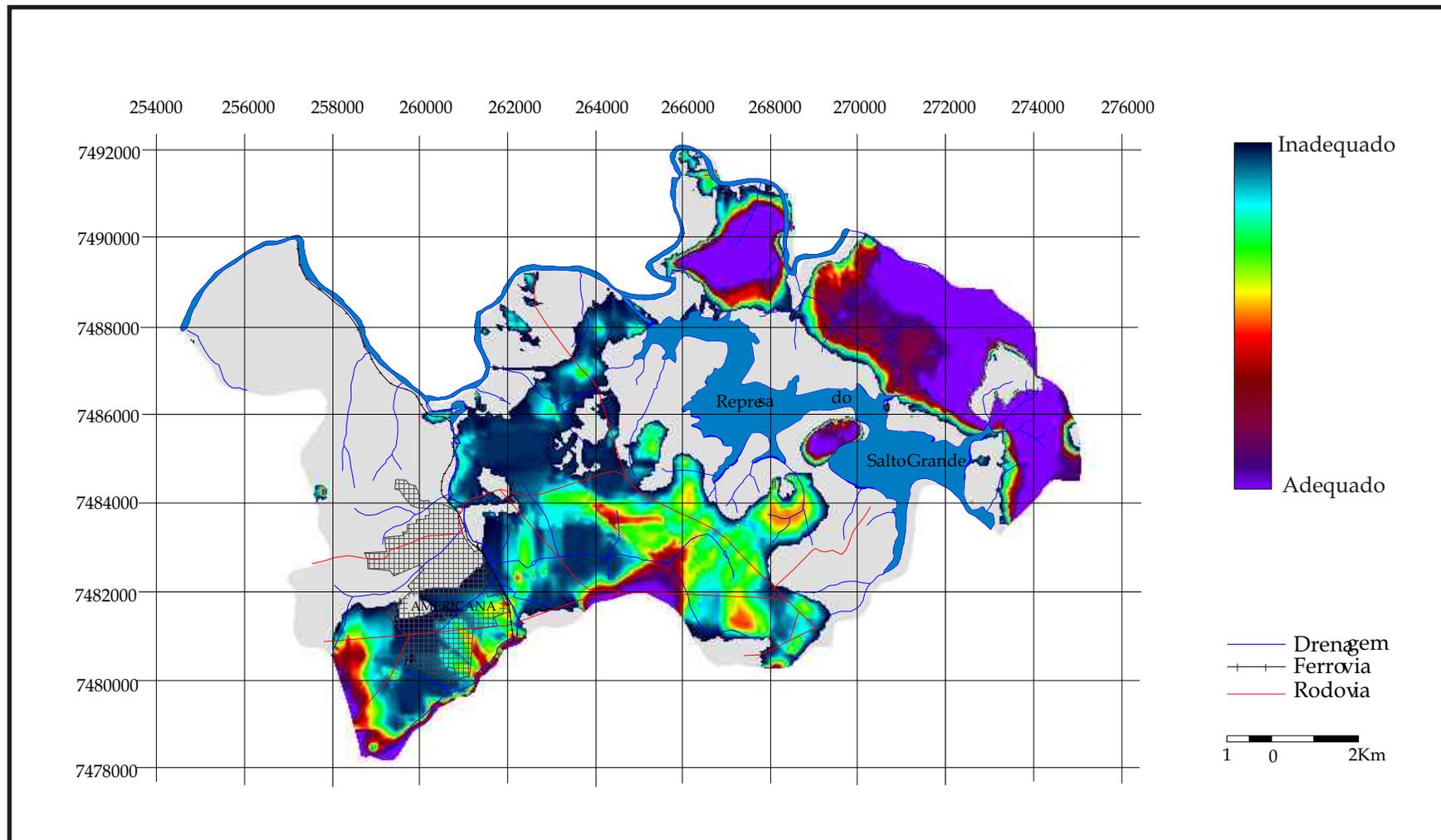


Figura 13: Carta de adequabilidade em relação à capacidade de troca catiônica.

Tabela 7: Capacidade de troca catiônica (CTC) e potencial hidrogeniônico (PH) da camada superficial dos solos da área (IG-SMA, 1995)

SOLOS	CTC	PH
Latossolo vermelho-escuro (LE1)	6,0	4,9
Latossolo vermelho-escuro (LE2)	5,3	4,8
Latossolo húmico (LH)	6,7	4,6
Litólico (LI1)	7,7	5,4
Latossolo roxo (LRd)	5,7	5,0
Latossolo vermelho-amarelo (LV1)	5,4	4,8
Latossolo vermelho-amarelo (LV3)	3,7	4,8
Latossolo vermelho-amarelo (LV4)	2,9	4,6
Podzólico vermelho-amarelo (PV1)	3,8	5,1
Podzólico vermelho-amarelo (PV2)	4,0	4,9
Podzólico vermelho-amarelo (PV4)	6,7	5,1
Terra roxa estruturada (TE)	6,0	5,5
Solo hidromórfico (HI)	Indeterminado	Indeterminado

A carta de adequabilidade para disposição de resíduos sólidos, considerando os valores de pH (figura 14), foi gerada do mesmo modo que a carta de adequabilidade de capacidade de troca catiônica.

6.4. Profundidade do nível estático (lençol freático)

A profundidade do lençol freático possui uma importância muito grande, uma vez que se relaciona diretamente à distância que o poluente deve percorrer para atingi-lo.

A carta de adequabilidade em relação à profundidade do lençol freático (figura 15) foi gerada a partir do mapa potenciométrico.

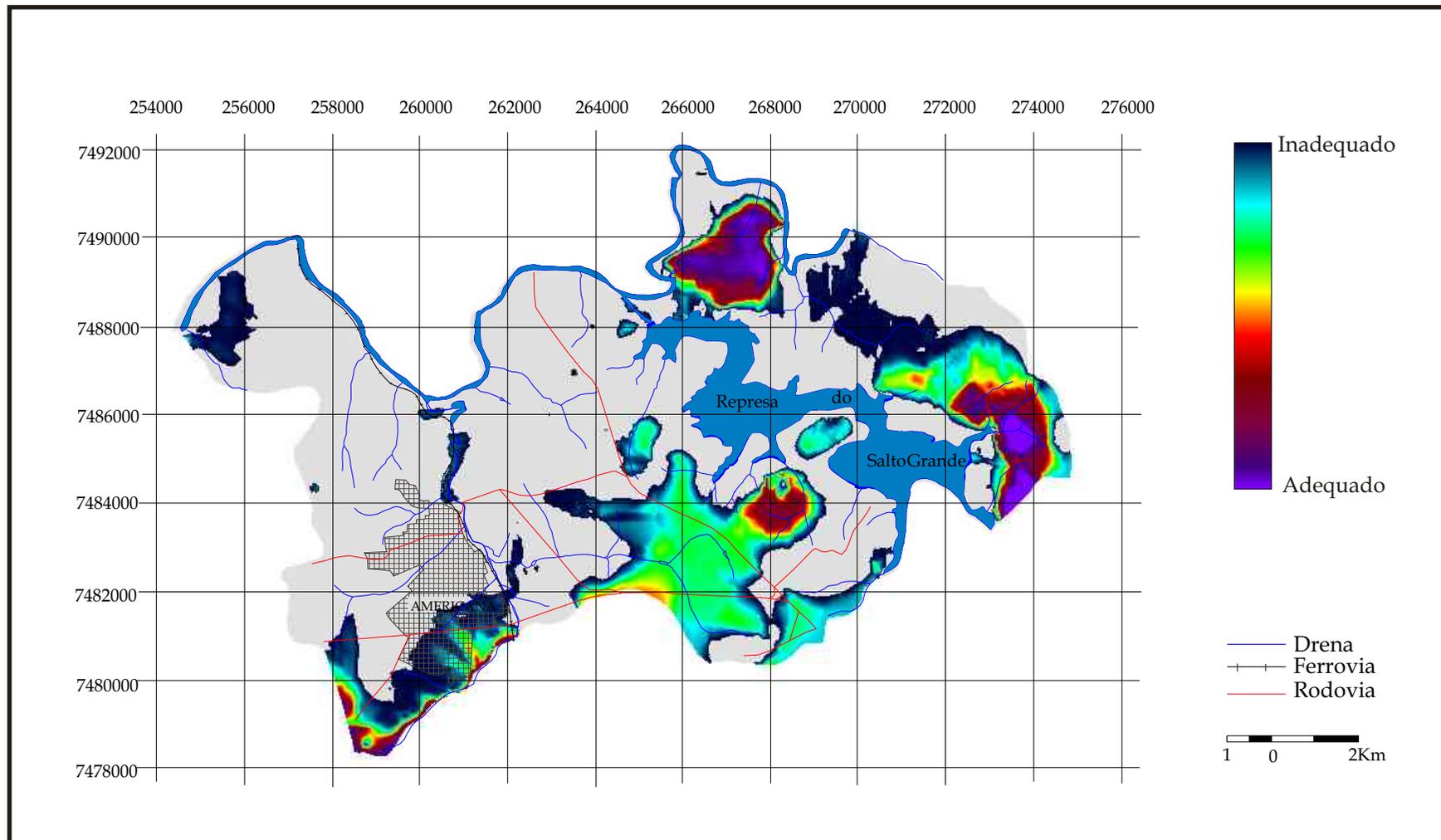


Figura 14: Carta de adequabilidade em relação ao potencial hidrogeniônico.

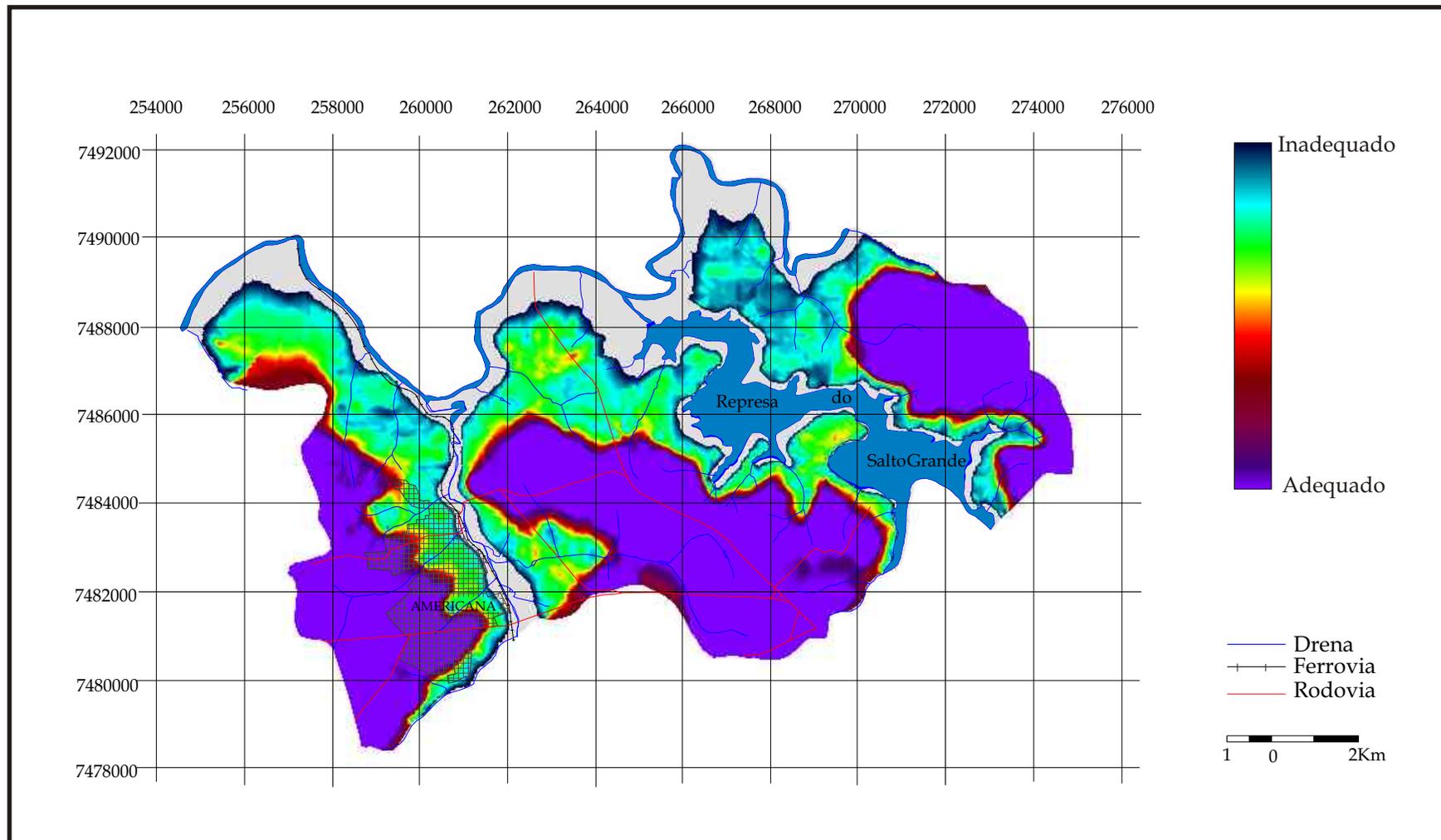


Figura 15: Carta de adequabilidade em relação ao nível estático (lençol freático)

6.5. Espessura do material inconsolidado

A espessura do material inconsolidado é considerada a maior barreira física contra a poluição em áreas profundas, visto que apresentam condições aeróbicas e baixas velocidades da água.

A carta de adequabilidade gerada a partir dos métodos de lógica difusa (figura 16) tem uma escala contínua de espessura que varia de 0 a mais de 10m.

6.6. Declividade

A declividade é a mudança de elevação de uma superfície, geralmente expressa por porcentagem.

As cartas de declividade são consideradas essenciais para estudos que envolvam a mecanização agrícola, manejo de solo, construção de pequenas barragens, disposição de resíduos, traçados de estradas, entre outros fins (MAYER e CHISTOFOLETTI, 1984).

Os altos valores são limitantes aos projetos de disposição de resíduos sólidos, tendo em vista que estes podem gerar escorregamentos.

Usualmente, as cartas de declividade apresentam separação em classes da declividade, entretanto para utilização da lógica difusa é interessante manter uma gradação contínua dos valores de declividade, assim a carta de adequabilidade (figura 17), utilizada na análise, que foi gerada a partir do mapa topográfico da área no IDRISI 3.2.

Para construção da declividade no IDRISI 3.2, empregou-se o método da triangulação (TIN e TINSURF) do próprio IDRISI, que considera os vizinhos mais próximos de cada ponto para promover a construção do espaço contínuo. Cada ponto é considerado um vértice de triângulo, com coordenadas xyz, onde os valores de x e y são referentes ao posicionamento geográfico e z é a elevação.

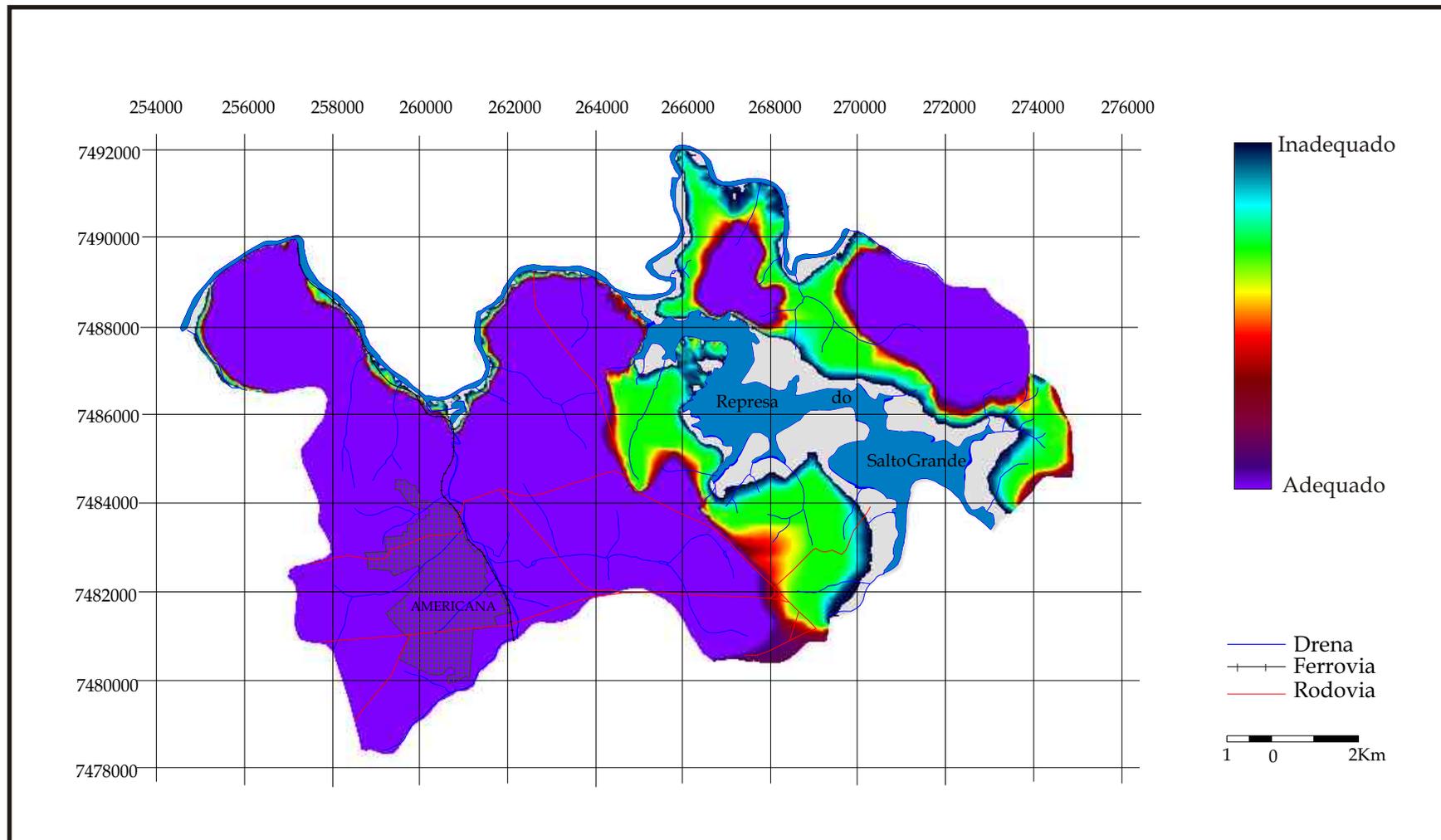


Figura 16: Carta de adequabilidade em relação à espessura do material inconsolidado.

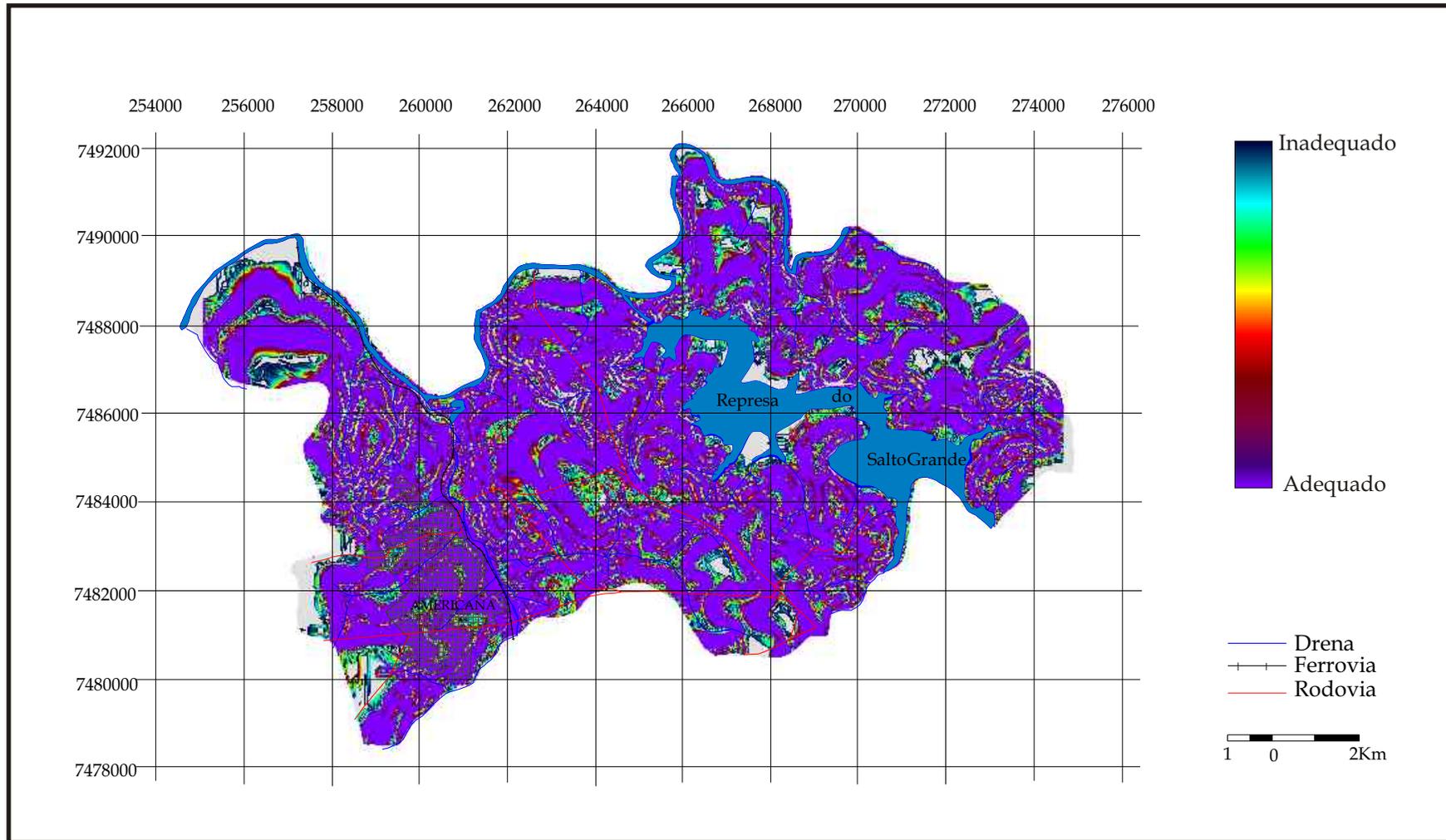


Figura 17: Carta de adequabilidade em relação à declividade

GUERRA (1998) considera este método como uma matriz bidirecional e a declividade é determinada em função da distribuição das curvas de nível. A principal vantagem deste método é a rapidez com que é aplicado, entretanto a maior desvantagem é que as células são geralmente pequenas, o que dificulta o entendimento do produto resultante.

6.7. Distância do perímetro urbano

A distância do perímetro urbano tem influência na seleção da área para disposição de resíduos sólidos. Ela deve ser considerada com critério de seleção, tendo em vista que se necessita de infraestrutura e transporte do material até o local selecionado, assim, a distância não pode ser muito grande, de forma a não encarecer demasiadamente o processo.

Outro fator a ser observado, ainda relacionado à distância do perímetro urbano, é o odor despreendido dos resíduos, que influencia na qualidade de vida da população próxima. Deste modo, a distância do perímetro também não pode ser muito pequena, de modo a interferir na qualidade de vida da população vizinha.

A carta de adequabilidade em relação à distância do perímetro urbano (Figura 18) foi gerada a partir do mapa de uso e ocupação dos solos, através da criação de uma imagem DIST no IDRISI 3.2, que considera a distância de um polígono em relação ao restante da imagem.

6.8. Distância dos mananciais

A distância dos mananciais foi dividida em dois parâmetros de igual importância:

- *A distância das estações de captação de água, que são as fontes de água para o município e;*

- *A distância dos principais corpos d'água, que na área de estudo são o Rio Piracicaba e a Represa Salto Grande*

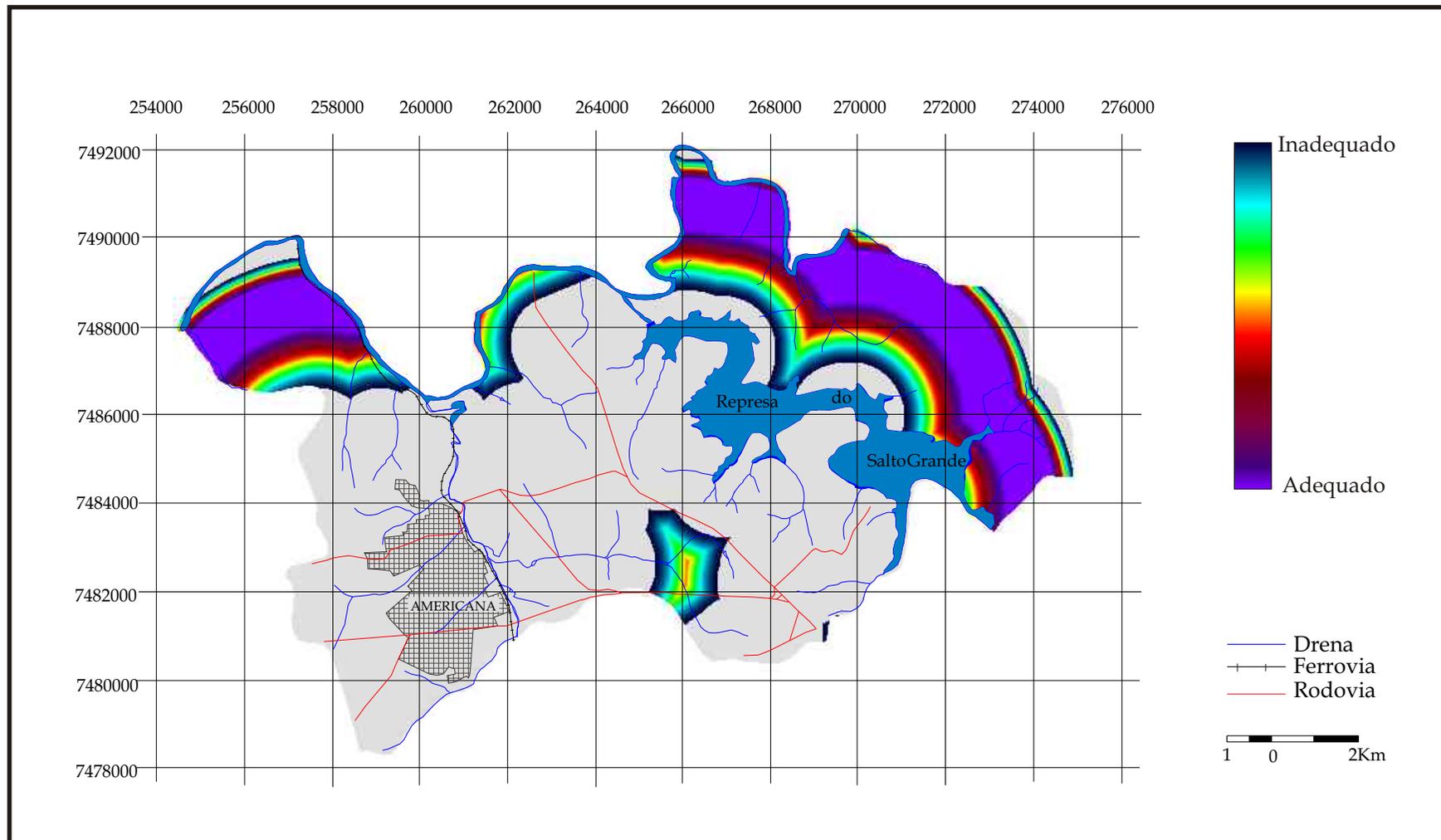


Figura 18: Carta de adequabilidade em relação à distância da área urbana.

O estudo da distância da área para disposição de resíduos sólidos em relação aos corpos d'água e aos pontos de captação de água deve ser elaborado a fim de evitar que poluentes na forma sólida e líquida entrem em contato direto com a água a ser utilizada pelos munícipes, assim a adequação de um local para disposição de resíduos será melhor quanto maior for a distância deste com relação aos mananciais da região.

As cartas de adequabilidade em relação à distância das estações de captação de água (figura 19) e dos principais corpos de água da região (figura 20) foram geradas empregando imagens DIST do IDRISI 3.2.

6.9. Áreas de proteção ambiental

A área para disposição de resíduos não pode ser situada dentro de áreas de proteção ambiental, assim é melhor que esteja em locais mais distantes.

No município de Americana, existem algumas áreas de proteção ambiental, principalmente em torno da represa do Salto Grande e do Rio Piracicaba.

A carta de adequabilidade em relação à distância das áreas de proteção ambiental (figura 21) foi gerada a partir de uma imagem DIST do IDRISI 3.2.

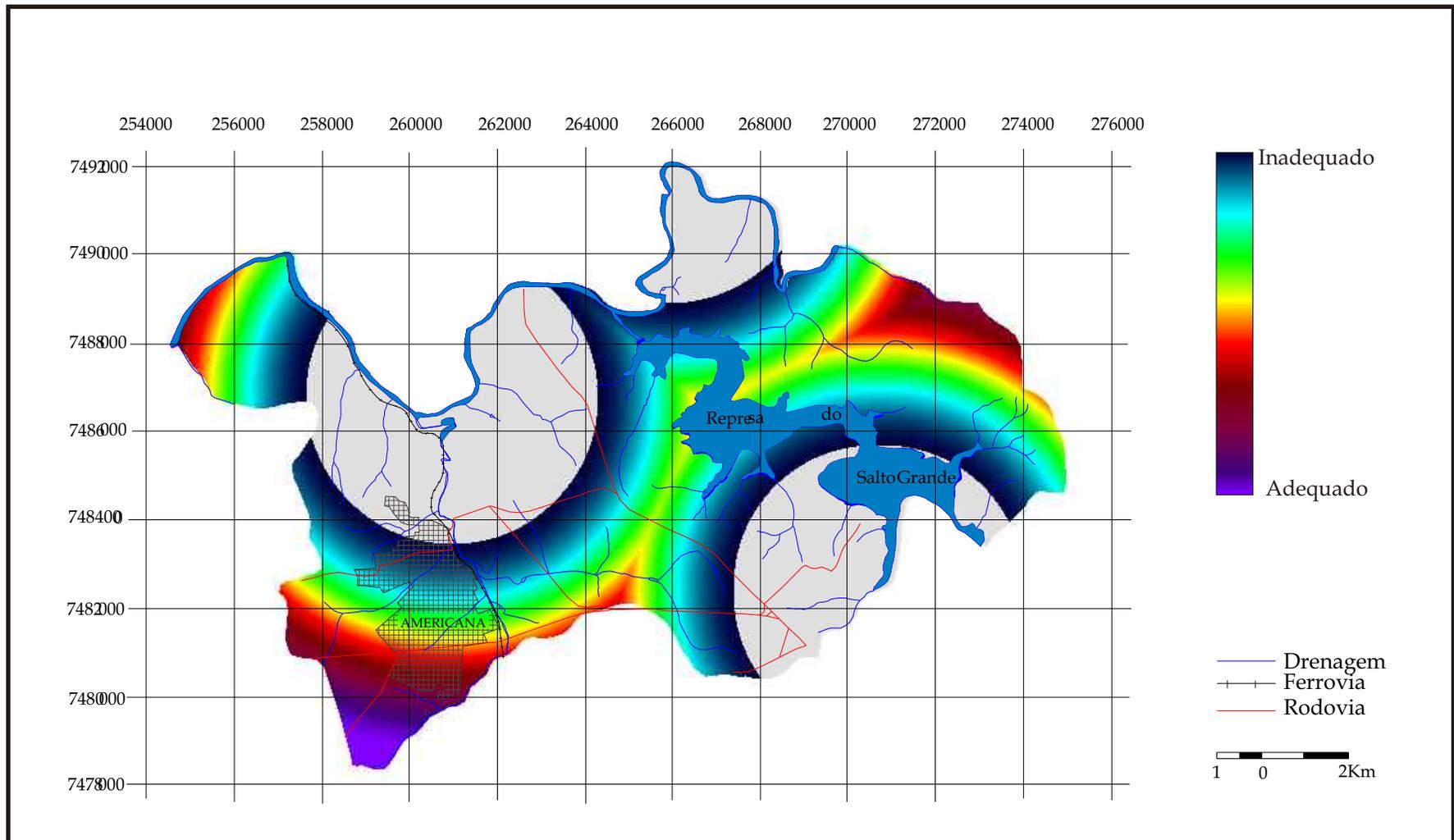


FIGURA 19: Carta de adequabilidade em relação à distância das estações de captação de água

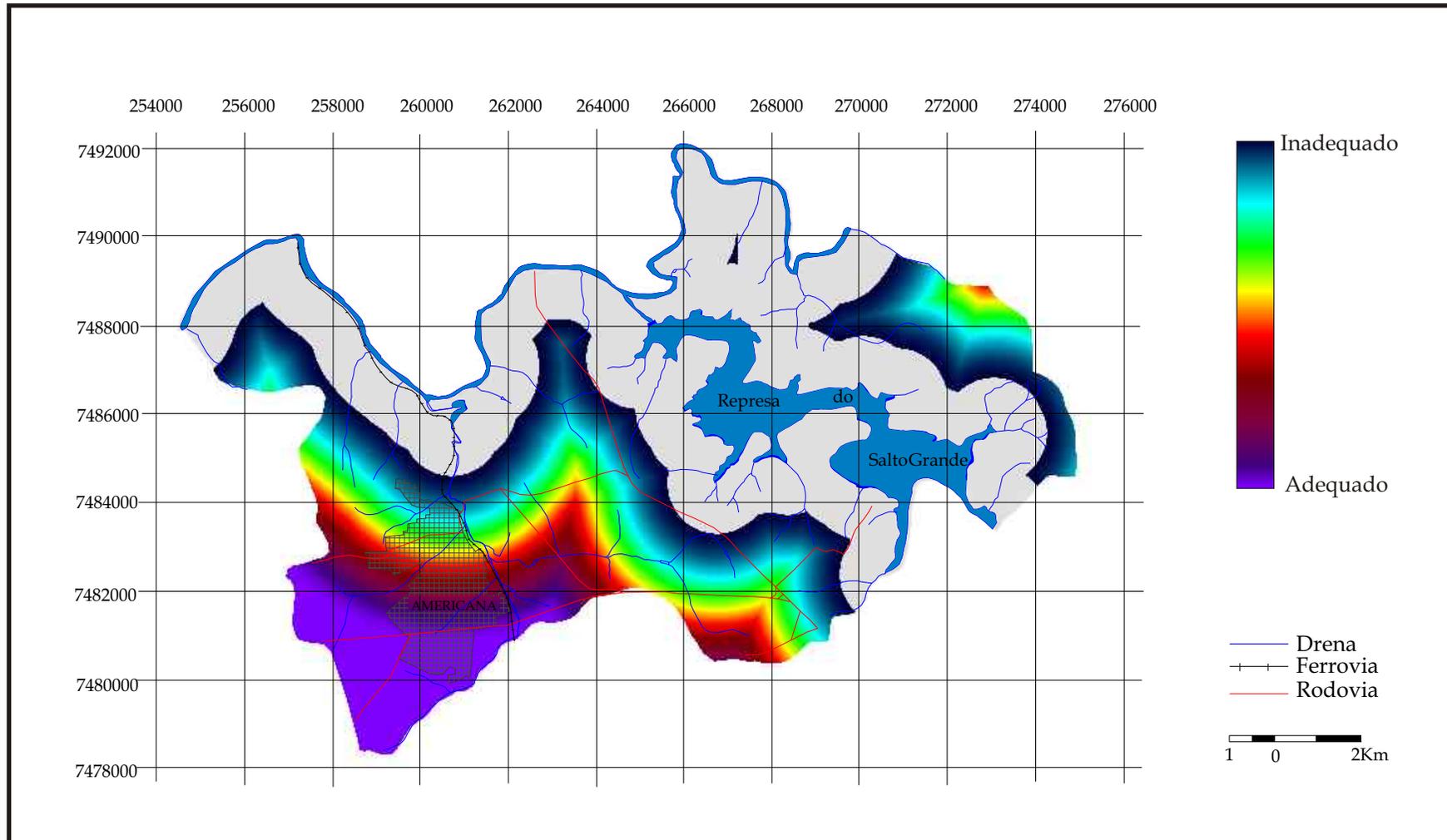


Figura 20: Carta de adequabilidade em relação à distância dos principais corpos de água.

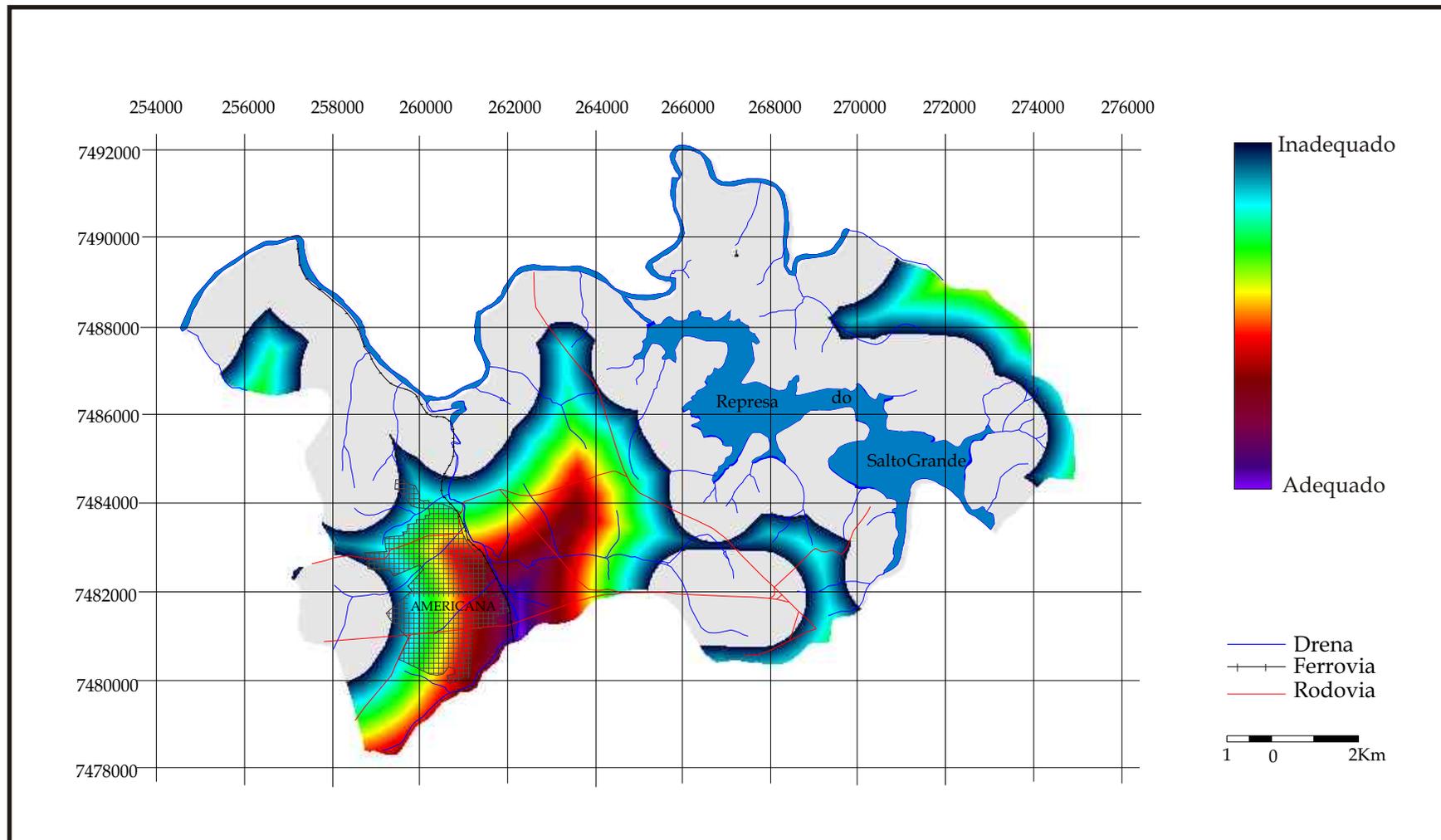


Figura 21: Carta de adequabilidade em relação à distância das áreas de proteção ambiental

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui encontrados através da aplicação de métodos de lógica difusa serão comparados aos encontrados por ARAÚJO (1999), a fim de realçar o emprego desta técnica.

ARAÚJO (1999) apresenta as cartas de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos encontradas a partir dos métodos de Lógica Booleana e Multicriterial Ponderado, observados nas figuras 22 e 23 respectivamente.

Na carta de adequabilidade, gerada a partir dos métodos de lógica Booleana, a área considerada adequada é de aproximadamente 5,70% da área do município de Americana, o que corresponde a cerca de 10Km², localizada na porção nordeste da área de estudo. São áreas que apresentam permeabilidade relativa baixa a média, alta capacidade de troca catiônica (acima de 6meq/100g), potencial hidrogênico acima de 4, espessura do material inconsolidado acima de 2m, profundidade do nível estático acima de 20m, declividade abaixo de 20%, a no mínimo 3 km das áreas urbanas, dos principais corpos de água da região e das estações de captação de água, e não pertencentes as zonas de proteção ambiental.

Na carta de adequabilidade, elaborada segundo o método multicriterial ponderado, as áreas são distribuídas em áreas com média, baixa, muito baixa adequabilidade e inadequada à disposição de resíduos sólidos, apresentando 5,97%, 48,56%, 39,03% e 7,15% respectivamente. As áreas com média adequabilidade localizam-se em pequenas extensões na porção sudeste, uma extensão maior na porção nordeste e outra pequena extensão na porção sudoeste da área de estudo.

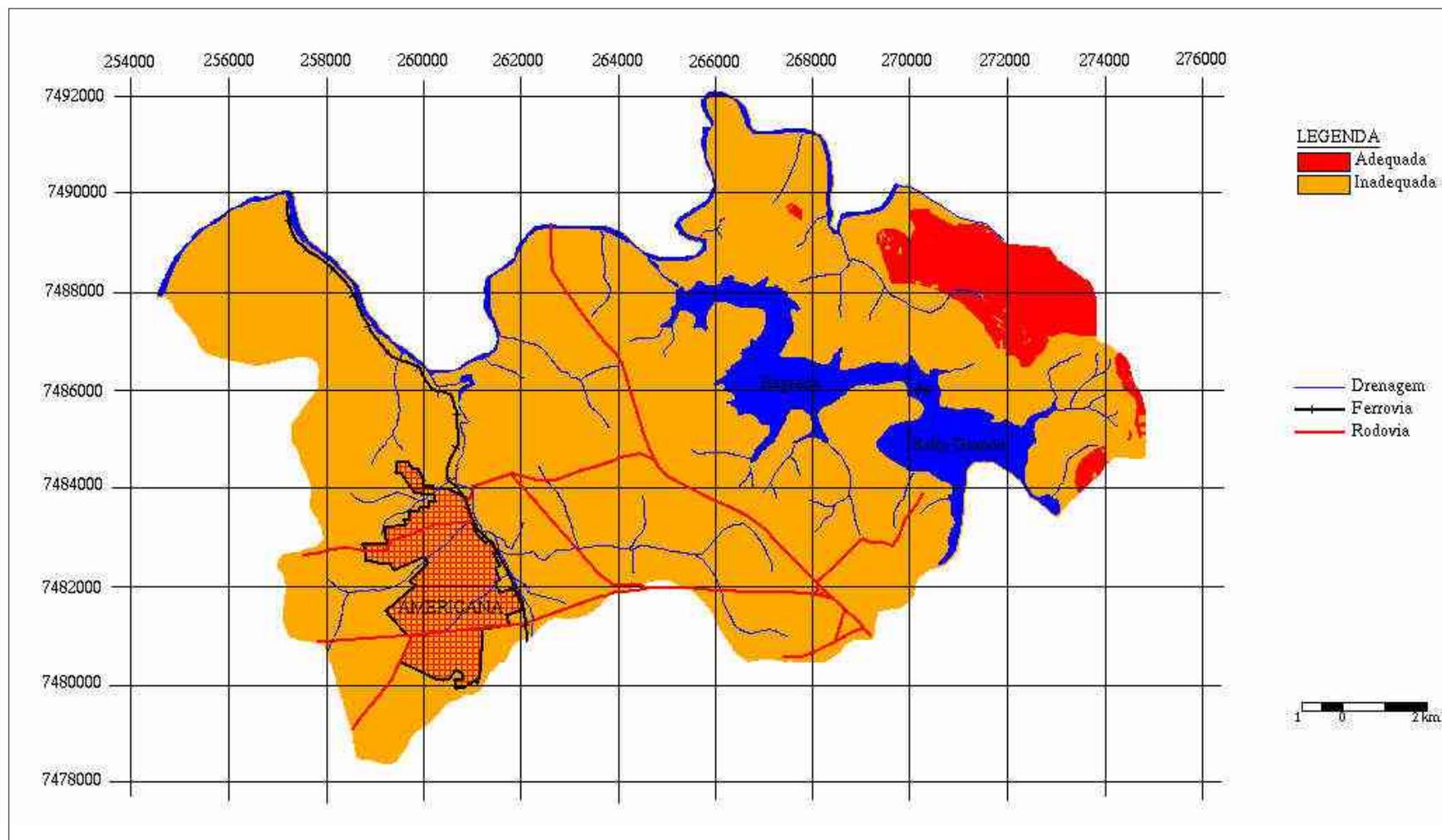


Figura 22: Carta de Adequabilidade à Disposição de Resíduos pelo modelo Booleano (Fonte: ARAÚJO, 1999)

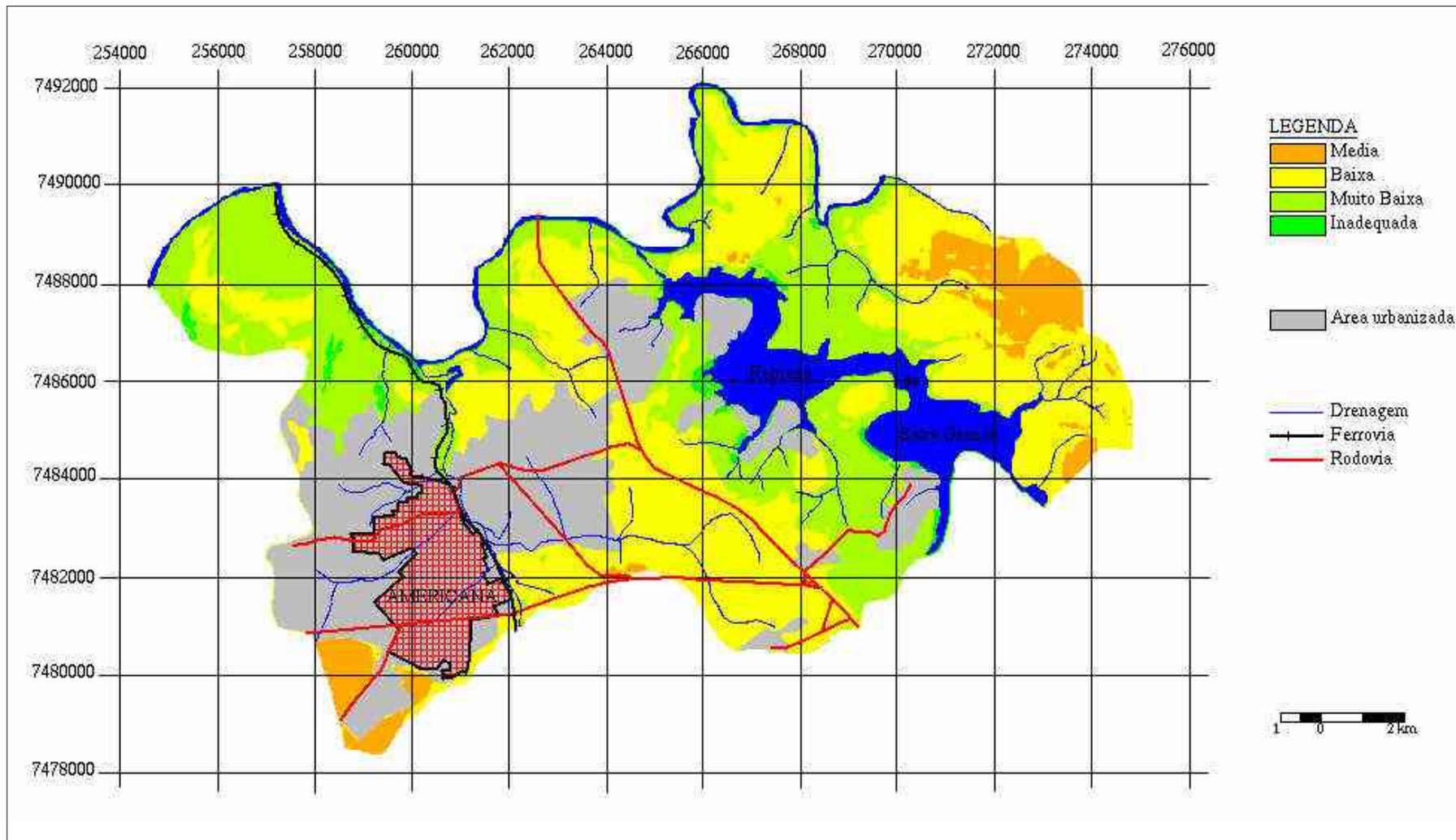


Figura 23: Carta de adequabilidade à Disposição de Resíduos pelo modelo Multicriterial Ponderado (Fonte: ARAÚJO, 1999)

Os parâmetros para distinguir as classes deste método estão dispostos na tabela 8:

Tabela 8: Parâmetros para as diversas classes atribuídas ao método Multicriterial Ponderado (ARAÚJO, 1999)

Parâmetro	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Espessura dos inconsolidados	>10m	5 a 10m	<5m	<5m	<2m
Capacidade de troca catiônica	>7meq/100g	5,5 a 7,7 meq/100g	<5,5 meq/100g	<3,8 meq/100g	<3,5 meq/100g
Potencial hidrogeniônico	>6,5	>5,5	5 a 5,5	<4,8	<4,8
Permeabilidade relativa	baixa	Média a baixa	Média	Média a alta	Alta
Estação de captação	>12Km	9 a 12Km	6 a 9Km	3 a 6Km	<3Km
Mananciais	>7Km	5 a 7Km	3 a 5Km	1 a 3Km	<1Km
Áreas urbanas	>4km	2 a 3Km	>2Km	>2Km	<2Km
Zonas de proteção ambiental	>4Km	2 a 3Km	>2Km	>2Km	<2Km
Declividade	2 a 5%	5 a 10%	0 a 2%	10 a 20%	>20%
Profundidade do nível estático	>60m	40 a 60m	20 a 40m	<20m	<20m

As áreas inadequadas correspondem aos leitos dos rios, à represa Salto Grande e a área do município.

7.1. Mínimo Difuso

A carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos encontrada a partir do Operador Difuso Mínimo (figura 24) apresenta cerca de 1,54% da área do município de Americana e corresponde a cerca de 2,9km² com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos. A áreas encontradas situam-se, em sua maioria, na região nordeste da área de estudo, contudo ainda exhibe pequenas porções na região sul e noroeste da área.

As áreas que exibem maior adequabilidade estão em áreas onde litologia predominante são lamitos, com pouca permeabilidade relativa, e situadas em ambiente de colinas amplas em relação à geomorfologia, com declividade baixa, o que de certa forma dificulta a infiltração dos líquidos poluentes desprendidos dos resíduos.

Este é um operador bastante restritivo, uma vez que assume o menor valor encontrado em todos os planos de informações (mapas temáticos) que foram utilizados para a análise. Assim, é bastante rigoroso na seleção de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos.

7.2. Máximo Difuso

A carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos, encontrada com a aplicação do operador difuso Máximo (figura 25), apresenta cerca de 5,05% da área do município de Americana, o que corresponde à cerca de 9,5km² com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos.

As áreas favoráveis estão distribuídas por toda extensão leste do município e também em porções a sul e a noroeste da área de estudos. São regiões de litologia lamítica, assim como no caso anterior, contudo abrangem porções de cobertura arenosa, embora a maior parte possua baixa a média permeabilidade relativa, dificultando a percolação de líquidos poluentes. São

situadas em ambiente de colinas amplas a médias que possuem baixa declividade.

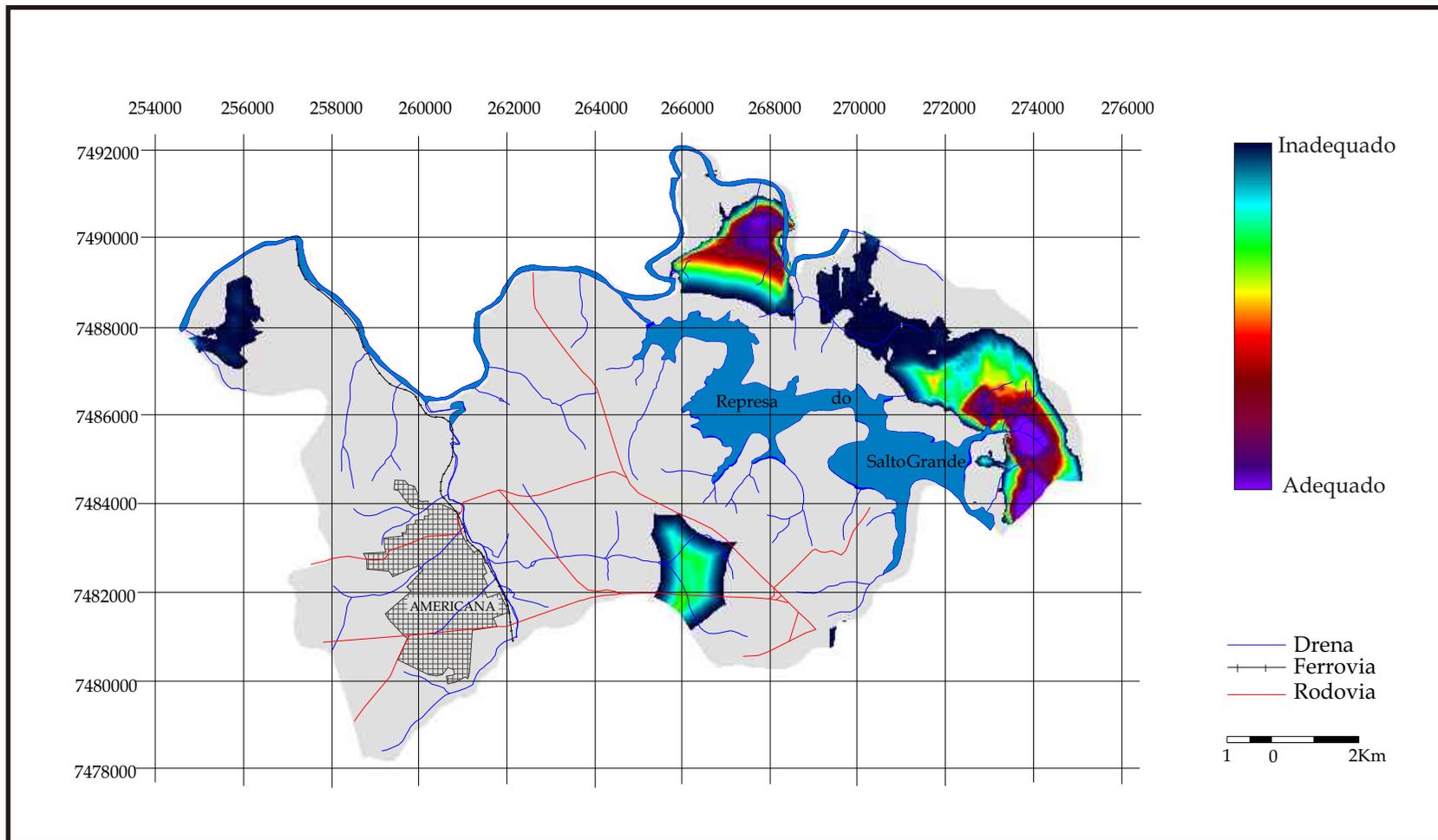


Figura 24: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Difuso Mínimo

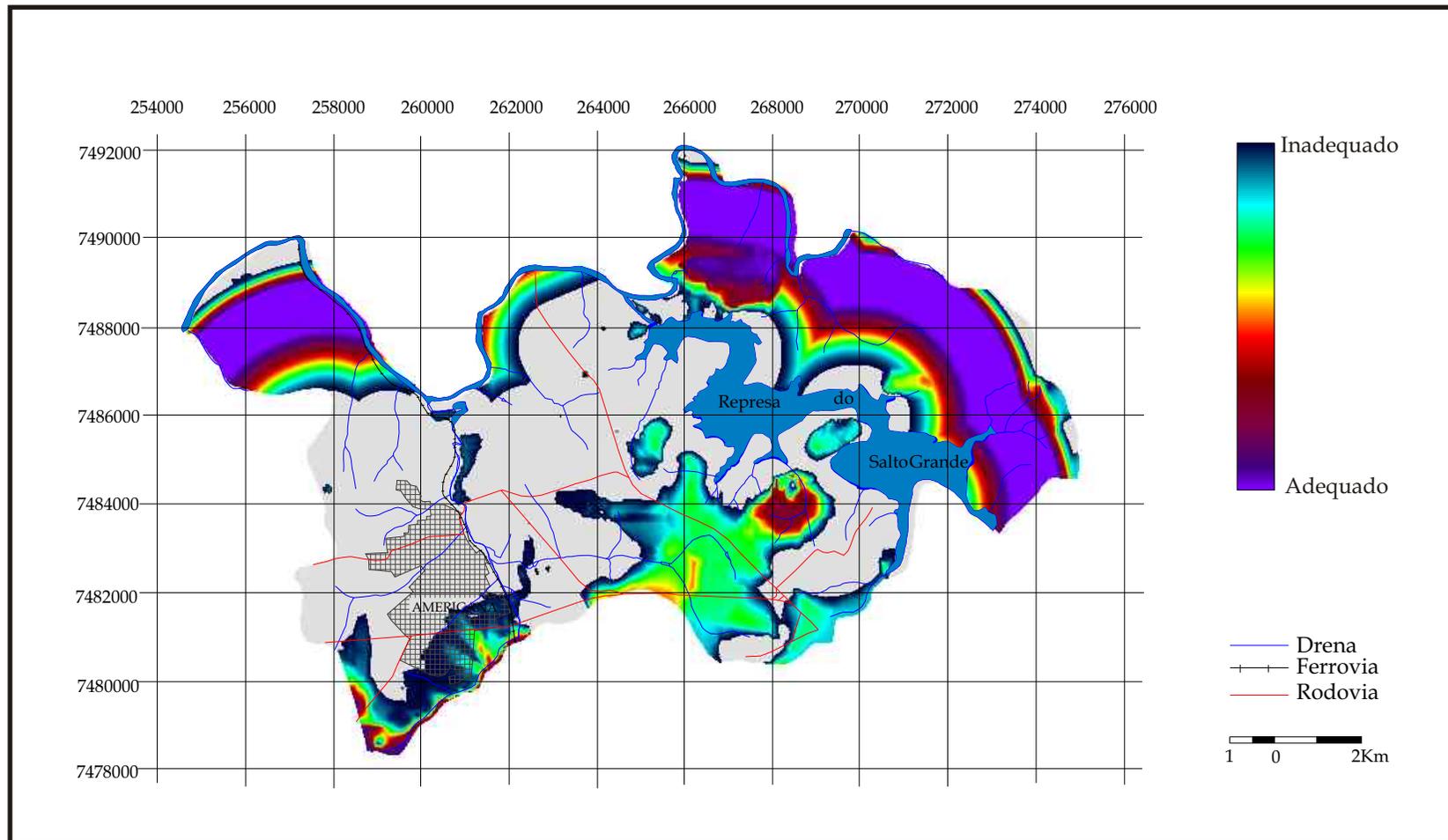


Figura 25: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Difuso Máximo

Este operador é o mais otimista dentre os operadores dos métodos de lógica difusa, uma vez que assume os maiores valores encontrados dentro dos planos de informação ou diferentes mapas temáticos envolvidos na análise, portanto muito pouco restritivo e pouco rigoroso em relação à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

7.3. Produto Difuso

A carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos, obtida a partir deste operador, apresenta cerca de 0,20% da área do município de Americana, o que corresponde a aproximadamente 0,4Km² com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos (figura 26).

São pequenas manchas situadas à leste na área de estudo, e não exibem porções de total adequabilidade. São porções situadas sobre litologia lamítica, com permeabilidade relativa entre média e baixa. Estão em ambiente de baixa declividade, correspondente às colinas amplas.

Este operador é extremamente restritivo, uma vez que é a interseção, realizada através da multiplicação, entre todos os planos de informação ou mapas temáticos estudados, assim determina poucas áreas muito propícias à disposição de resíduos sólidos.

7.4. Soma Difusa

A carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos, obtida a partir da Soma Difusa (figura 27), apresenta cerca de 0,15% da área do município de Americana e corresponde a pouco mais de 0,28Km² com adequabilidade crescente à disposição de resíduos sólidos.

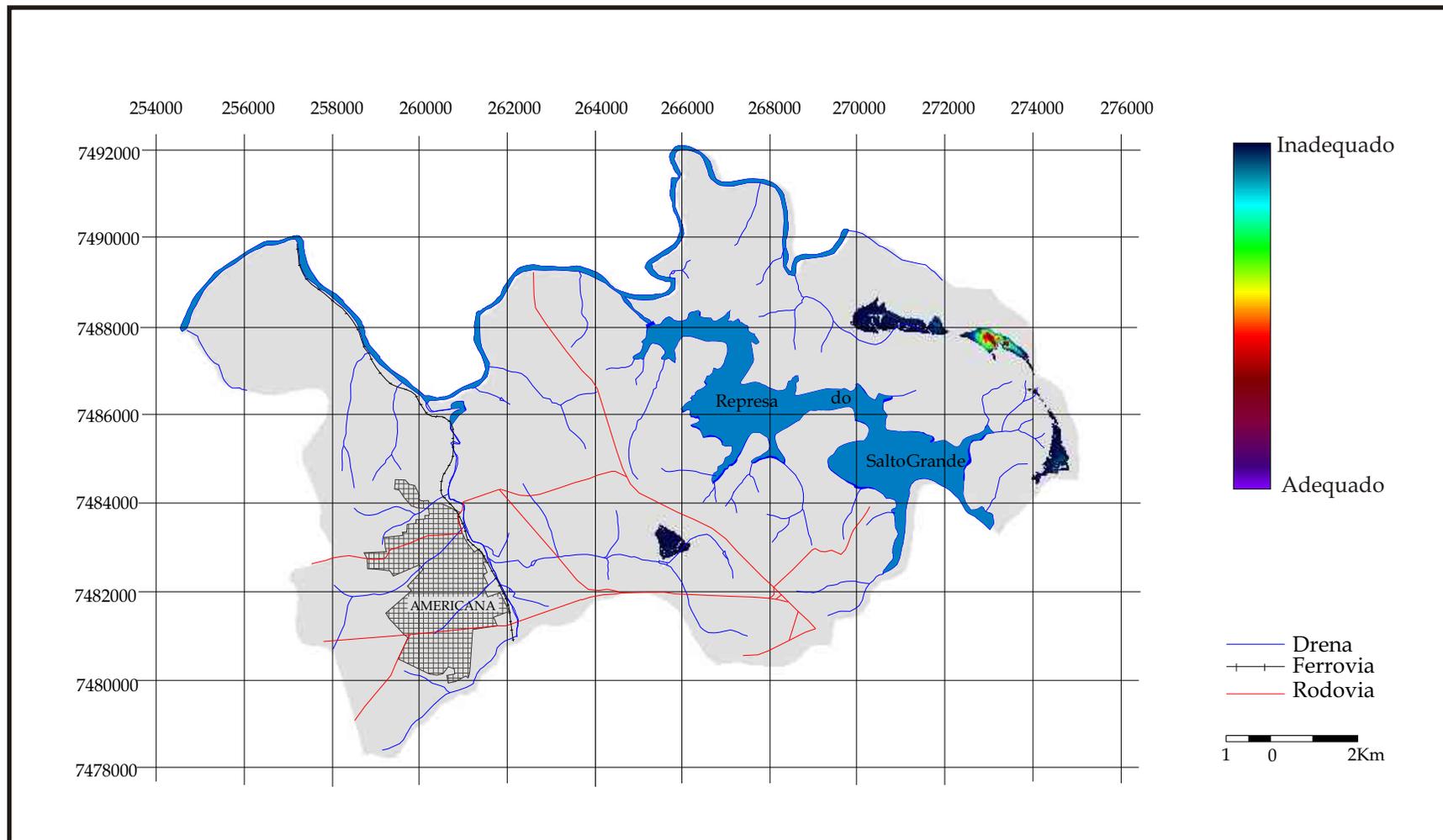


Figura 26: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Produto Difuso

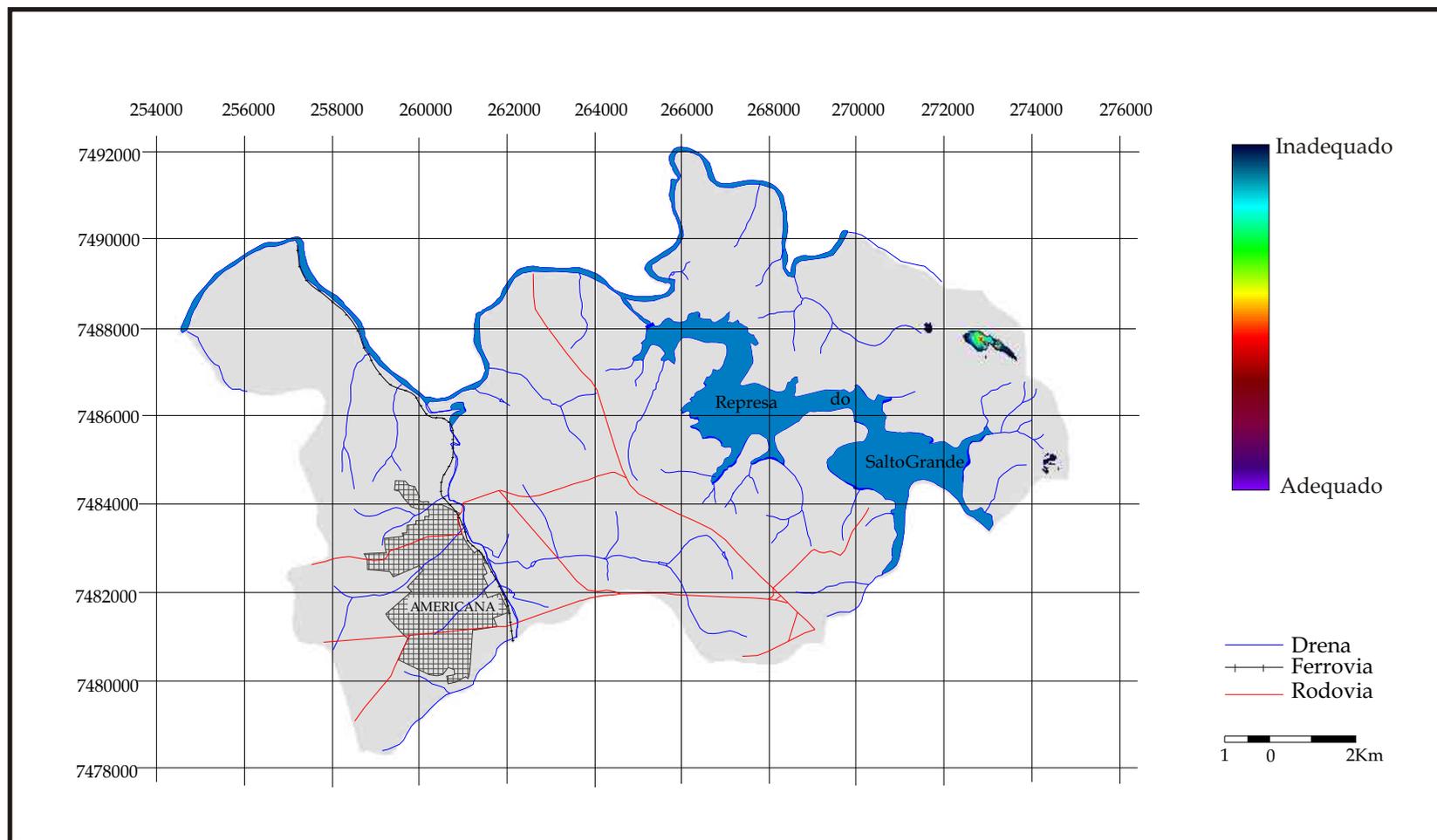


Figura 27: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Soma Difusa.

Assim como nos resultados encontrados pelo Produto Difuso, as áreas obtidas por este operador situam-se na porção leste da área de estudo em locais de litologia lamítica, com permeabilidade de média a baixa, e em ambientes de colinas amplas, com baixa declividade.

É um operador também bastante restritivo, pois todos os valores combinados interferem no resultado, e indica áreas com maior adequabilidade à disposição de resíduos.

7.5. Gama Difuso

Com o emprego deste operador foram geradas três diferentes cartas de adequabilidade, uma enfatizando a soma difusa (figura 28), que recebeu o maior peso na operação, onde a área com adequabilidade crescente representa 0,02% da área do município, cerca de 0,04Km²; outra com ênfase no produto difuso (figura 29), que recebeu, desta forma, o maior peso na operação, o que gerou uma área de alta adequabilidade correspondente a 0,04% da área de estudo, cerca de 0,08Km²; e uma terceira, gerada com a atribuição dos mesmos pesos para as duas cartas (figura 30) e cuja área de maior adequabilidade encontrada apresenta 0,03% da área total do município, o que corresponde a cerca de 0,06Km².

As áreas encontradas nestes três casos são situadas nas mesmas regiões da área de estudo, no seu setor leste. Estas áreas estão localizadas sobre litologia lamítica, com permeabilidade de baixa a média e estão em ambiente de colinas amplas, de baixa declividade.

Este operador é extremamente restritivo e contrabalança os valores entre o Produto Difuso e a Soma Difusa, encontrando valores intermediários entre estes dois.

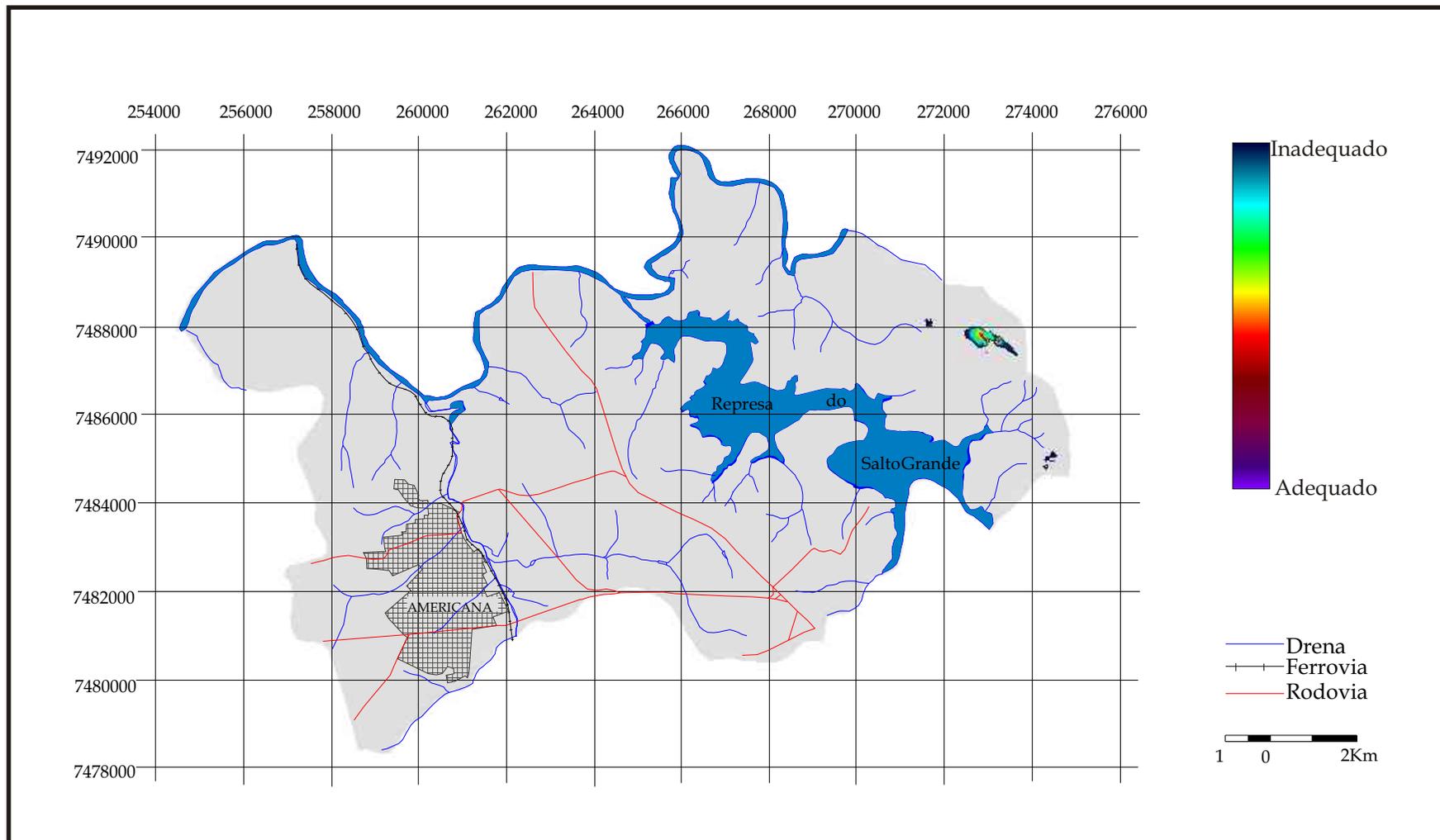


Figura 28: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Difuso Gama, com ênfase a Soma Difusa.

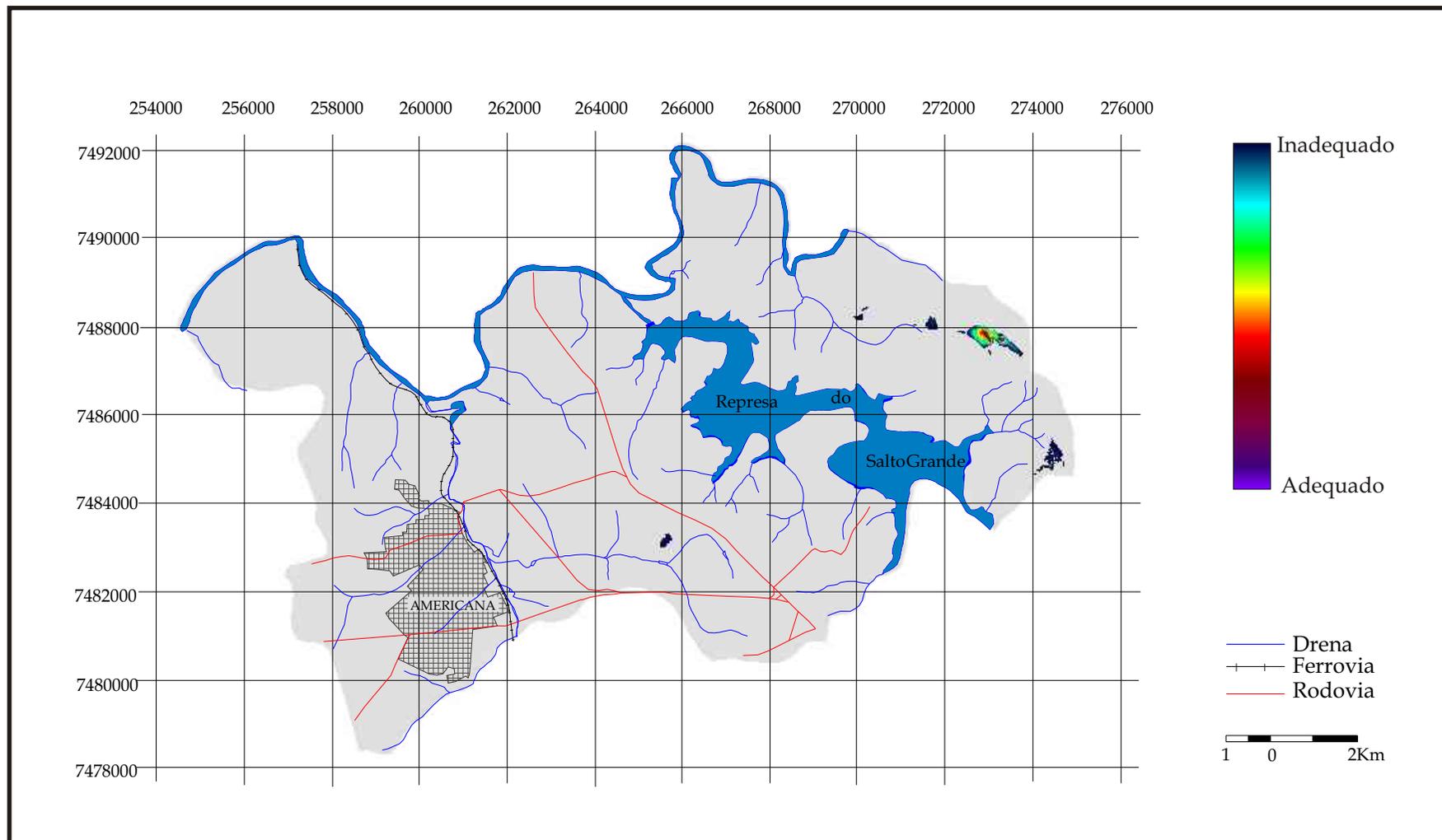


Figura 29: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Difuso Gama, com ênfase no Produto Difuso.

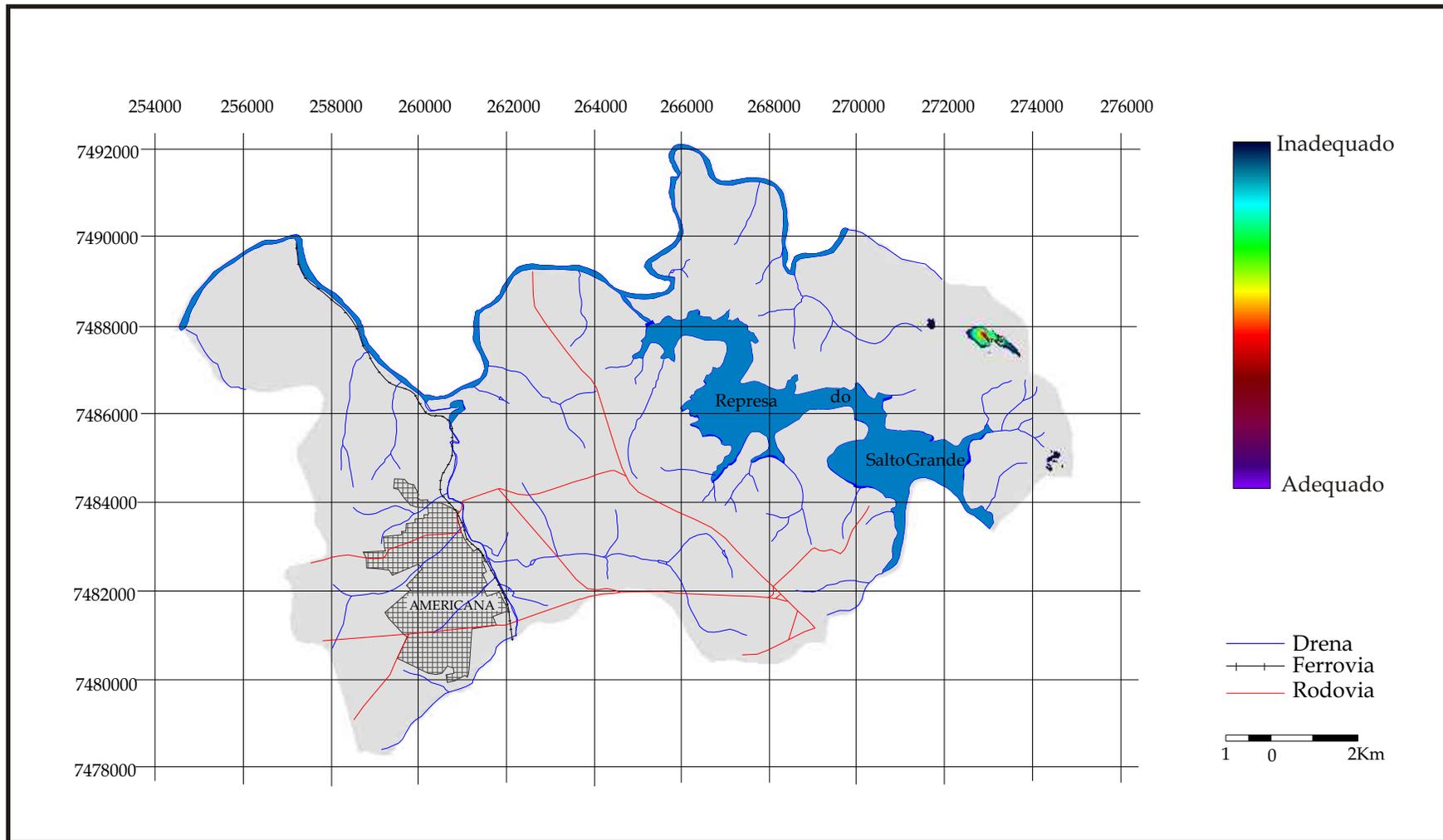


Figura 30: Carta de adequabilidade à disposição de resíduos sólidos gerada através do operador Difuso Gama, com igual distribuição de pesos para o Produto Difuso e a Soma Difusa.

Dentre os resultados obtidos com os operadores difusos, pode-se dizer que os mais otimistas são os produzidos pelos operadores difusos Máximo e Mínimo, enquanto que os que mais restritivos foram os obtidos pelo operador Difuso Gama .

Em todos os casos, as áreas mais favoráveis encontram-se na porção leste da área de estudo, contudo os resultados apresentados pelo operador difuso Máximo apresenta áreas que se localizam sobre o perímetro urbano ou estão muito próximas às margens da represa Salto Grande.

Com a análise dos resultados obtidos por ARAÚJO (1999), observa-se que as áreas encontradas pelo método Booleano estão situadas na porção leste da área de estudo, mesma área que as encontradas pelos operadores mais restritivos, como o Produto Difuso, Soma Difusa e Gama Difuso, As áreas com maior adequabilidade, encontradas pelo método Multicriterial Ponderado, situam-se na mesma porção leste da área, contudo também aparecem em uma porção da região sudoeste da área de estudo, assim como nos resultados apresentados pelo Operador Difuso Máximo.

Quanto aos totais das áreas encontradas, constatou-se que os obtidos por ARAÚJO (1999) possuem extensões territoriais maiores que os encontrados através dos operadores difusos, contudo não existe uma discrepância entre os locais em que se situam, ou seja, apresentam as mesmas características geológico-geotécnicas em todos os casos. Concordância esta também derivada do fato de terem sido utilizados os mesmos critérios para os dois trabalhos. Contudo, um fato que pode ser observado é que os operadores difusos produzem áreas territorialmente mais restritas do que as obtidas pelos métodos aplicados por ARAÚJO (1999).

SOUZA (1998) obteve bons resultados quanto ao estudo para a disposição de resíduos, utilizando a lógica difusa, entretanto utiliza uma combinação lógica entre os operadores até encontrar a área mais adequada, e não simplesmente a combinação entre todos os planos de informação com o mesmo operador.

Entretanto, pode-se observar que a disponibilidade de novas áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos, assim como neste trabalho, é extremamente restrita.

Deste modo, fica aberta a possibilidade de inclusão de novos fatores que influenciem na seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos, como o estudo das principais direções dos ventos, uma vez que os resíduos liberam odores e prejudicam a qualidade de vida ao redor destes depósitos; outro fator a ser considerado é a localização das estradas em relação às áreas pré-selecionadas, tendo em vista que o custo de implantação de obras rodoviárias ou de transporte utilizado para longas distâncias pode influenciar também nesta seleção; a vizinhança do município, e as relações entre os municípios vizinhos podem ser relacionadas também, uma vez que um local selecionado para o município de Americana pode ser desfavorável para Santa Bárbara, por exemplo, ou para outro município que apresente seu perímetro urbano, ou áreas de restrição legal muito próximos aos locais selecionados. Cabe salientar, porém, que a inclusão destes outros fatores pode ainda diminuir a disponibilidade de locais para a disposição de resíduos, dentro de um universo já bastante restrito, como constatado neste trabalho.

Quanto aos parâmetros utilizados para transformação dos dados em mapa temático, em relação às funções difusas pode-se dizer que a função linear é bem aplicada quando relacionada a distâncias para áreas urbanas, ou estradas, ou zonas de proteção ambiental, enquanto que para as relacionadas com a água, como distâncias das estações de captação de água e dos principais corpos de água da região, a mais adequada é a função sigmoideal, uma vez que o comportamento da água dentro do solo não é considerado linear. Esta função também é bem aplicada nos demais critérios empregados, tendo em vista que os comportamentos geológicos e geotécnicos dos solos, rochas e materiais inconsolidados não podem ser considerados retilíneos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego dos métodos de lógica difusas, para seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos permite concluir que as técnicas de análise e integração de dados espaciais são ferramentas de grande poder para modelamentos que visem a obtenção de locais adequados à disposição de resíduos sólidos, contudo a concepção deste modelo depende do conhecimento dos critérios limitantes que a área em estudo apresenta, tanto em termos geológico-geotécnicos, como em relação às restrições legais.

Os estudos para seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos envolvem muitos outros fatores além do conhecimento geológico-geotécnico da área de estudo, tais como os aspectos sócio-econômicos do município envolvido, a infraestrutura rodoviária para receber um novo depósito de resíduos, entre outros.

Dividir em etapas o trabalho é um modo de facilitar e otimizar os estudos: as etapas principais quanto à fase de modelagem digital seriam: a busca do conhecimento das características gerais da área a ser estudada; determinação de quais e como os parâmetros influenciam na seleção das áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos e verificar qual comportamento destes no meio natural; modelagem dos planos de informações a partir dos diversos operadores difusos e assim determinar as prováveis áreas adequadas.

Quanto aos métodos de lógica difusa empregados neste trabalho, pode-se dizer que são muito úteis na seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos, à medida em que são processos que envolvem faixas de gradação contínua e crescente em relação à adequabilidade. Apesar de produzirem mapas com porções restritas, são as que possuem melhor adequabilidade perante os parâmetros selecionados.

Em relação aos métodos mais tradicionais de inferência espacial, os métodos empregados apresentam um melhor desempenho no que diz respeito à

vantagem de aplicação, pois apresentam faixas contínuas e crescentes de adequabilidade, contudo geram áreas de extensão territorial menor.

Dentre os operadores difusos, pode-se dizer que o melhor desempenho quanto à seleção de áreas foi apresentado pelo Gama Difusos, entretanto gera porções muito restritas territorialmente, em contrapartida o Operador Difuso Máximo, que produz áreas com maior extensão territorial, porém com menor seleção dos critérios envolvidos. Deste modo, o mapa obtido a partir do Operador Difuso Mínimo apresenta um grande potencial a ser utilizado em estudos pré-implantação de depósitos de resíduo sólidos, uma vez que não apresenta um caráter tão restritivo como os Soma Difusa, Produto Difuso e Gama Difuso, nem um caráter pouco seletivo como o Operador Difuso Máximo, e gera áreas com considerável extensão territorial, em comparação com os demais.

Outros fatores que podem influenciar na seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos são anteriores aos passos de modelagem e entendimento dos critérios envolvidos, como a entrada de dados no SIG, ou mesmo a geração dos próprios dados (informações reais ou inferidas no mapa temático). Deve-se observar também a geração de superfícies contínuas para aplicação das funções difusas e verificar se estas não sofrem demasiada distorção com relação aos dados originais.

Convém salientar que uma das etapas mais importantes deste trabalho é a elaboração do modelo para disposição de resíduos sólidos, e é justo enaltecer a facilidade encontrada perante aos métodos de lógica difusa, com relação às mudanças e remodelagem espacial dos dados, em função da velocidade e aplicação dos operadores.

Finalmente, é bom observar que seria interessante realizar outros estudos empregando outros modelos, com outras combinações entre operadores difusos, para obtenção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D.S., 1990, Sistemas de Informação Geográfica. In:**SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO**. Anais...São Paulo, EPUSP, p66-98.

ARANIBAR, A.V., 1994, GIS em Hidrogeologia, **Temas Actuales de la Hidrologia Subterránea**, Mar del Plata, 409p.

ARAÚJO, P.C., 1999, **Aplicação de Sistema de Informação Geográfica na Escolha de Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos no Município de Americana – SP**, Rio Claro: UNESP, 1999, 91p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Universidade Estadual Paulista.

ARAÚJO, P.C.; RIEDEL, P.S.; BROLLO, M.J.; VEDOVELLO, R., 1999, Aplicação DO Método Multicritério em Sistemas de Informação Geográfica na Escolha de Locais para a Disposição de Resíduos Sólidos no Município de Americana – SP In: **9º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA**, São Pedro – SP, 1999, ABGE, p.50.

ARONOFF, S., 1989, **Geographic Information System: A management perspective**, Ottawa: WDL publications.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X., 1965, Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil, **Boletim Paranaense de Geografia**, v16/17, p. 117-152.

BJORNBERG, S.J.S.; LANDIM, P.M.B., 1966, Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neo-Cenozóico), São Paulo, **Boletim da Sociedade Brasileira de Geografia**, v15, n.4, p.43-67.

BONHAM-CARTER, G. F., 1994, **GEOPGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR GEOSCIENTISTS: Modelling with GIS**, Pergamon/Elsevier Science Publications, New York, Computer methods in teh geociences, Vol. 13, 398p.

BURROUGH, P. A ., 1989a, Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation, **Journal of Soil Science**, 40, 477-492.

BURROUGH, P. A ., 1989b, **Principles of geographical information system for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1989 (Monographs on soil and resources survey, n12)

BURROUGH, P.A.; McDONELL, R.A., 1998, **Principles of geographical information systems**. New York, Oxford Universty Press. 333p.

BURROUGH, P.A., van GAANS, P.F.M., HOOSTMANS, R., 1997, Continous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries, **Geoderma**, 77, 115-135.

BURROUGH, P.A, van GAANS, P.F.M.; MacMILLAN, R.A, 2000, High-resolution landform classification using fuzzy *k*-means, **Fuzzy Sets ans Systems**, 113, 35-52.

CARDOSO, A.B.F.,1993, **Mapeamento Geotécnico do Município de Limeira-SP: Subsídio para o Planejamento Regional**. São Carlos: USP, 1993, 2v,

Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

COELHO. M. P. Análise do Processo de Assoreamento do Reservatório de Americana –SP.Rio Claro: Unesp,1993.Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente).Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.1993.

COMPANHIA ESTADUAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB),1986, **Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE.

COTTAS, L.R.; FIORI, A.P.; LANDIM, P.M.B., 1981, Divisão faciológica do Subgrupo Itararé e da Formação Aquidauana no nordeste do Estado de São Paulo, In: **SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA**, 3, Curitiba, Atas...São Paulo: SBG, 1981, 2v, p. 103-115.

DALE, P.F.; McLAUGHLIN, J.,1989, **Land Information Management. An Introduction With Spatial Reference to Cadastral Problems in Third World Countries**. Claredon Press, London, 266p.

DEFONTAINES, P.,1935, Regiões e Paisagens do Estado de São Paulo: Primeiro Esboço da Divisão Regional. **Geografia**, São Paulo, AG-São Paulo 1(2), p. 11-169.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSO MINERAIS (DNPM-CPRM) ,1977, **Carta geológica do projeto Sapucaí. Folha Campinas**. Mapa Geológico na escala 1:250.000.

EASTMAN, J. R., 1999, **IDRISI 32 Guide to GIS and Image Processin**, Clark University, vol2, 169p.

EASTMAN. J.R.; JIN, W.; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J.,1995, Raster procedures form multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v61,n5, may, p. 539-547.

FANG,J.H. Fuzzy Logic & Geology. **Geotimes : News and Trends in Geoscience**, v. 42, n. 10, p.23-26, October,1997.

FERNANDES, A.J., FERREIRA, C. 1994, Faciologia do Subgrupo Itararé e dos depósitos cenozóicos entre Jaguariúna e Americana. In **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 38, v1, *Anais* Camburiú SBG, 1994.

FREITAS, A M. e MENDES, C. A. B. 1998, DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO EM AQUÍFEROS FRATURADOS ATRAVÉS DE MODELAGEM DE MAPAS COM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS, **X Congresso Brasileiro de Água Subterrânea**.

FÚLFARO, V.J.,BJORNBERG, A.J.S., 1993, **Geologia: Solos do Interior de São Paulo**. São Paulo: USP/EESC/ARMS, 1993 p 1-42.

GUERRA,S.M.S. Cartografia Geológico-Geotécnica de Áreas Costeiras: O Exemplo de Suape-PE. Rio Claro: Unesp, 1998.187p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.1998.

INSTITUTO GEOLÓGICO - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (IG-SMA),
1995, **Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da bacia do Rio Piracicaba, SP.** São Paulo 4v. Relatório técnico.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT),1981, **Mapa Morfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, Escala 1:500.000, 130p. 2v. (IPT – Publicação, 1183 – Monografia, 5).

KLIR, G.J., YUAN, B., 1995, **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

KOMAC,M. , ŠAJN,R. 2001, Polluted or Nonpolluted – A Fuzzy Logic Approach Determing Soil Pollution, IAMG 2001, Cancun.

LEITE,J.,ZUQUETTE,L.V. Atributos Fundamentais à Elaboração da Carta de Susceptibilidade a Contaminação e Poluição das Águas Subsuperficiais. In.: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia,8, *Anais...*vol 2, p.647-654. Rio de Janeiro, 1996.

LIMA, R.H.C.,1997, **Configuração geológico-geotécnica da região de Americana-SP, utilizando sondagens a percussão de simples reconhecimento.** Rio Claro: UNESP, 1997, 115p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Universidade Estadual Paulista.

MARBLE D.F.,1990 Geographic Information System: Na Overview In PEUQUET,

D.J. et.al, 1990, **Introductory reading in Geographic Information System.**

Philadelphia. Taylor and Francis, p. 8-17.

MONTEIRO, C.A.F.,1995, **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São**

Paulo: Estudo geográfico sob forma de Atlas. São Paulo. IG. USP.

MOREIRA, F. R. de S.,2001, **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e**

Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto

de Poços de Caldas. São José dos Campos: INPE, 2001, 160p. Dissertação

(Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto de Pesquisas Espaciais.

ORTH, M. H. de A.,1999, Planos Diretores de Resíduos Sólidos no Estado de São

Paulo. In: **RESID'99 SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS**, São

Paulo, 1999, ABGE, p.27-34.

PENDOCK, N.; NEDELEKOVIC, V.,1996, Integrating geophysical data sets

using probabilistics methods. Thematic Conference and Workshop on

Applied Geologic Remote Sensing 11º, Las Vegas, 1996, **Proceedings**,

Nevada, v.2, p.621-628.

PENTEADO, M.M.,1975, **Geomorfologia no Setor Centro Ocidental da**

Depressão Periférica Paulista. São Paulo, Instituto de Geociências,

Universidade de São Paulo (Teses e Monografias), p.22-69.

PHILIPPI JUNIOR, A.,1999, Agenda 21 e Resíduos Sólidos. In: **RESID'99**

SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, São Paulo, 1999, ABGE, p.15-

26

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M;

PRANDINI, F.L.,1981. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**, São Paulo: 2v.

QUINTANILHA,J.A.1995. **Entrada e Conversão de Dados: Processo de Construção de Bases Digitais de Dados Espaciais**. Anais III, Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento,1995.

RIDENTE JUNIOR, J.L.; ARAÚJO, C.C. de; KORMAN, V.; MACED, A.B.; MARTINS, J.F., 1997, Risco Potencial de Erosão em uma Área Piloto no Município de São José do Rio Preto/SP Definido por Sistema de Informação Geográfica (SIG). In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 7, 1997, Rio Claro: **Boletim...** Rio Claro: IGCE/UNESP p. 136-138.

RIEDEL, P.S.,1997, Elaboração de Mapas de Susceptibilidade e Rupturas Planares em Taludes de Saprolitos – Utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS7, 1997, Rio Claro: **Boletim...** Rio Claro: IGCE/UNESP p. 139-141.

ROCHA,W. de J.S. da F.,2001, **Modelagem Metalogenética na Bacia do Irecê (BA) Por Meio de Sistema de Informação Geográfica** .Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente).Universidade Federal da Bahia,2001.

SOUZA FILHO, E.E.,1986, **Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas (SP)**. São Paulo: USP, 109p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1986.

SOUZA, N. M. - 1998 - Uso de Lógica Difusa em Cartografia Geotécnica - **3º**

Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica - Florianópolis.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A.J.,1998, Disposição de Resíduos In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A., 1998, **GEOLOGIA DE ENGENHARIA**. São Paulo, ABGE, p.343-360.

TOMLINSON, R.F.,CALKINS,H.W., MARBLE,D.F.,1976, **Computer Handling of Geographical Data**. Paris: The UNESCO Press(Natural Resources Research Series, XIII).

VEDOVELLO, R.;BROLLO, M.J.; HOLL, M.C.; MAFFRA, C.Q.T.,1999, Sistemas Gerenciadores de Informações Geoambientais como um Produto da Cartografia geotécnica. Exemplo Voltado à Disposição de Resíduos. In: **9º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA**, São Pedro – SP, 1999, ABGE, p.49.

ZADEH, L. A., 1965, Fuzzy sets. **Information and Control**, 8, 338-358.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BREGT, A K., BOUMA, J. e JELLINEK, M., 1987, Comparison so Thematic Maps Derived from a Soil Map and from Krigig of Point Data, **Geoderma**, 39, 281-291.

BURROUGH, P.A, MacMILLAN, R.A e van DEURSEN, 1992, Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography, **Journal of Soil Science**, 43, 193-210.

LAGACHERIE, P., CAZEMIER, D.R., van GAANS e BURROUGH, P.A, 1997, Fuzzy *k*-means clustering of fields in na elementary catchment and extrapolation to a larger area, **Geoderma**, 77, 197-216

McBRATNEY, A B. e GRUIJTER, J.J., 1992, A continuum approach to soil classification by modified fuzzy *k*-means with extragrades, **Journal of Soil Science**, 42, 159-175.

van den BERG, BURROUGH, P.A, e DRIESSEN, P.M., 2000, Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences form simulated sugarcane yield potential in São Paulo State, Brazil, **Agriculture, Ecosystems and Envairoment**, 81, 43-55.

van der PERK, M., LEV, T., GILLET, A G., ABSALOM, J.P., BURROUGH, P.A , CROUT, N.M.J., GARGER. E.K., SEMIOCHKINA, N., STEPHANISHIN, Y.V., e VOIGT, G., 2000, Spatial modellig of transfer of long-lived radionuclides from soil to agricultural products in the Chernigov region, Ukraine, **Ecological modelling**, 128, 35-50.