

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

FABRICIA BENDA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2008

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

FABRICIA BENDA

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para a
obtenção de título de Mestre em
Engenharia Civil”.

Área de concentração: Geotecnia

Orientadora: Maria da Glória Alves

Co-orientadores: Sérgio Tibana e Doracy Pessoa Ramos

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

47/2008

Benda, Fabricia

Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica / Fabricia Benda. – Campos dos Goytacazes, 2008.

xii, 141f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2008.

Orientador: Maria da Glória Alves.

Co-orientadores: Sérgio Tibana e Doracy Pessoa Ramos.

Área de concentração: Geotecnia

Bibliografia: f. 120-131

1. Sistemas de informação geográfica 2. Geoprocessamento 3. Aterro
4. Análise multicritério I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil II. Título

CDD 628.44098153

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

FABRICIA BENDA

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para a
obtenção de título de Mestre em
Engenharia Civil”.

Área de concentração: Geotecnia

Aprovada em 15 de julho de 2008.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Renata da Silva Schmitt (Pós Doutora, Geologia) - UERJ

Prof^a. Rozanda Guedes da Silva Costa (Doutora, Geologia) – UNIGRANRIO

Prof. Doracy Pessoa Ramos (Doutor, Agronomia) – UENF
Co-orientador

Prof. Sérgio Tibana (Doutor, Engenharia Civil) – UENF
Co-orientador

Prof^a. Maria da Glória Alves (Doutora, Geologia) – UENF
Orientadora

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Luiz Carlos e Devanilda, pelo apoio constante e pelos sacrifícios.

Ao meu companheiro, Carlos Henrique, imprescindível na realização deste trabalho, pela presença em todos os momentos, inclusive na ausência, pelo carinho, incentivo e compreensão.

Pelos momentos de ausência, dedico a vocês, agora, todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Como não existe trabalho solitário, na realização desse trabalho, tive alguns colaboradores e recebi apoios diversos, e é com satisfação que agradeço:

Primeiramente a Deus, amor supremo e infinito, que me proporcionou a vida e o dom do conhecimento.

À UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro) e a FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), pela bolsa de estudos concedida.

Ao Laboratório de Engenharia Civil – LECIV e a Oficina de Geologia e Geoprocessamento - OFIGEO, por terem me oferecido condições para a realização deste trabalho.

À professora Maria da Glória Alves, pela atenção, dedicação, incentivo, confiança, apoio e motivação contagiante, além, da amizade.

Aos professores Sérgio Tibana, Rozanda Guedes da Silva Costa, Renata da Silva Schmitt e Doracy Pessoa Ramos, pelo apoio, comentários e sugestões indispensáveis à elaboração desse trabalho.

Aos funcionários e professores do LECIV pelo incentivo, estímulo e ensinamentos, em especial, ao professor Aldo Duran Farfan, pela amizade e momentos de descontração.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Devanilda, responsáveis por tudo que sou, pelos sacrifícios e pela batalha que foram fundamentais para realização desse sonho. Em especial a minha mãe pelo exemplo de coragem e dedicação, a quem sempre me espelhei para não desanimar diante das dificuldades.

Ao meu companheiro, Carlos Henrique, pelo carinho, amizade, amor, paciência, compreensão e apoio diante das dificuldades e ausência.

À minha irmã, Patrícia e aos meus sobrinhos Lucas, Fillipe e Bianca pelo carinho e amizade.

Aos amigos irmãos, Giselle, Alex e Adilson (Juiz), pelo companheirismo, amizade, carinho, paciência, estímulo, atenção, risos, viradas de noites no LECIV e momentos de descontração, sem os quais minha passagem por Campos se tornaria sem sentido.

À Carol, Camila e Regina por me acolherem com carinho.

À amiga Alessandra Carreiro Baptista pelo apoio prestado.

Aos demais amigos e colegas pela amizade e colaboração que marcaram a minha vida deixando boas lembranças e eterna gratidão, em especial a Isabel, Rosivaldo e José Cláudio.

BIOGRAFIA

Fabricia Benda, filha de Luiz Carlos Benda e Devanilda Bulian Benda, nasceu em 19 de abril de 1978, na cidade de Colatina, Espírito Santo.

Em 1997 concluiu o curso Técnico de Edificações na Escola Técnica Federal do Espírito Santo (ETFES), Unidade de Ensino Descentralizada de Colatina (UnED - Colatina).

Em março de 2000, iniciou o curso de Engenharia de Agrimensura, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em julho de 2005.

Em agosto de 2005, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Em abril de 2007, entrou para o Instituto de Terras do Estado de Minas Gerais – ITER/MG atuando como Analista de Desenvolvimento Rural – Engenheira Agrimensora.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIACÕES.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. JUSTIFICATIVAS	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1. Resíduos sólidos	6
4.1.1. Introdução.....	6
4.1.2. Classificação dos resíduos sólidos	7
4.2. Formas de tratamento e disposição de resíduos sólidos.....	8
4.3. Aterros	9
4.3.1. Histórico.....	9
4.3.2. Tipos de Disposição.....	9
4.4. Os resíduos sólidos e o meio ambiente.....	11
4.5. Os aterros e o meio ambiente	12
4.6. Os Solos	13
4.6.1. Pedologia nos estudos ambientais (solos x contaminantes).....	14
4.6.2. Principais mecanismos de transporte de contaminante em solos.....	16
4.6.3. Caracterização e classificação dos solos.....	17
4.6.3.1. Classificação geológica	18
4.6.3.2. Classificação pedológica	18
4.6.4. Principais características analisadas para classificação dos solos.....	19
4.7. Critérios para a seleção de áreas destinadas à disposição de RSU	25
4.8. Metodologias para avaliação e seleção de áreas.....	28
4.8.1. Introdução.....	28
4.8.2. Principais metodologias para avaliação e seleção de áreas.....	29
4.8.2.1. Mc BEAN et al.	29
4.8.2.2. LIMA	30
4.8.2.3. CONSONI et al.....	30
4.8.2.4. ANDRADE.....	31

4.8.2.5. MASSUNARI et al.	31
4.8.2.6. KATAOKA	32
4.8.2.7. COELHO	32
4.8.2.8. LEITE	32
4.8.2.9. Outras propostas	33
4.9. SIG	34
4.9.1. Análise Multicritério	35
4.9.1.1. Critérios (Fatores e Restrições).....	36
4.9.1.2. Padronização dos critérios	36
4.9.1.3. Avaliação de pesos para os critérios	38
4.9.1.4. Combinação dos critérios	40
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
5.1. Localização e Acesso	44
5.2. Aspectos a serem analisados	45
5.2.1. Pedologia	45
5.2.2. Profundidade do lençol freático	51
5.2.3. Hidrografia	52
5.2.4. Sistema viário	53
5.2.5. Núcleos urbanos	54
5.2.6. Mapa Geológico-geotécnico	55
5.2.7. Geomorfologia	64
5.2.8. Geologia	70
6. MATERIAIS E MÉTODOS	76
6.1. Descrição do Material	76
6.1.1. Materiais Cartográficos Digitais	76
6.1.2. Softwares	76
6.2. Descrição da Metodologia	76
6.3. Estabelecimento dos Critérios	77
6.3.1. Critérios restritivos (restrições)	77
6.3.2. Critérios escalonados (fatores)	77
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
7.1. Descrição e justificativa dos critérios (restrições e fatores)	79
7.2. Ponderação das variáveis	93
7.2.1. Comparação par-a-par.....	93

7.2.2. Justificativa das ponderações adotadas	93
7.3. Cálculo da área mínima.....	96
7.3.1. Seleção das áreas com maior adequabilidade	97
7.4. Combinações dos critérios – Cenários de Avaliação.....	97
7.4.1. Cenário 1	97
7.4.2. Cenário 2	98
7.4.3. Cenário 3	101
7.4.5. Cenário 5	109
7.4.5.1. Fatores e Restrições	109
7.4.5.2. Comparação par-a-par	111
7.4.5.3. Mapa de adequabilidade final.....	112
8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Destinação final do lixo coletado (%) no ano de 2000.	2
Figura 02. Fluxograma representativo das interações técnicas relacionadas aos aterros sanitários e o meio ambiente.	12
Figura 03. Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy: Sigmoidal crescente (03 A), Sigmoidal decrescente (03 B), Sigmoidal crescente-decrescente (03 C) e Linear decrescente (03 D).	38
Figura 04. Espaço estratégico de decisão.	41
Figura 05. Modelo de análise multicritério.	43
Figura 06. Localização do município de Campos dos Goytacazes.	44
Figura 07. Mapa Pedológico.	46
Figura 08. Mapa de profundidade do lençol freático.	52
Figura 09. Hidrografia do município de Campos.	53
Figura 10. Sistema Viário.	54
Figura 11. Mapa de Núcleos urbanos (centro urbano e distritos).	55
Figura 12. Mapa Geológico-geotécnico.	56
Figura 13. Geomorfologia da área de estudo.	65
Figura 14. Domínio Serrano Escarpa da Serra do Imbé.	66
Figura 15. Serra da Pedra Lisa.	66
Figura 16. Colinas Isoladas - Serra do Imbé.	67
Figura 17. Domínio Suave Colinoso.	67
Figura 18. Maciço de Itaóca.	68
Figura 19. Lagoa de Cima	68
Figura 20. Planície Colúvio-Alúvio-Marinha com a cidade ao fundo.	69
Figura 21. Planície Flúvio-Lagunar: áreas freqüentemente inundáveis próximas à Lagoa Feia.	69
Figura 22. Tabuleiro da Formação Barreiras.	69
Figura 23. Mapa Geológico.	70
Figura 24. Visualização 3D da transição entre serra, colina, tabuleiro e baixada campista.	73
Figura 25. Função sigmoidal monotônica crescente.	91
Figura 26. Função J monotônica decrescente.	92
Figura 27. Função Linear monotônica crescente.	92

Figura 28. Imagem de adequabilidade utilizando a normalização do mapa Geológico-geotécnico (Cenário 1).	98
Figura 29. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia, Fator Geológico-geotécnico e Fator Profundidade do lençol freático (Cenário 2).....	99
Figura 30. Macro SITESELECT (Cenário 2).....	100
Figura 31. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (31A); Imagem com adequabilidade (31B) - Cenário 2.....	101
Figura 32. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia, Fator Profundidade do lençol freático e Fator Geomorfologia (Cenário 3).....	102
Figura 33. Macro SITESELECT (Cenário 3).....	103
Figura 34. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (34A); Imagem com adequabilidade (34B) - Cenário 3.....	104
Figura 35. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia e Fator Profundidade do lençol freático (Cenário 4).	106
Figura 36. Macro SITESELECT (Cenário 4).....	107
Figura 37. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (37A); Imagem com adequabilidade (37B) - Cenário 4.....	108
Figura 38. Fator Pedológico (A) e Geológico-geotécnico (B).	109
Figura 39. Fator Geomorfológico (A) e Profundidade do lençol freático (B).	109
Figura 40. Fator Coleção Hídrica (A) e Sistema Viário (B).	110
Figura 41. Fator Núcleos populacionais.	110
Figura 42. Restrição Coleção hídrica (A) e Sistema Viário (B).	111
Figura 43. Restrição Limite do município (A) e Núcleos populacionais (B).	111
Figura 44. Matriz de comparação dos critérios escalonados (fatores).	112
Figura 45. Resultado final dos pesos calculados para os fatores.....	112
Figura 46. Imagem de adequabilidade utilizando MCE - fatores e restrições (Cenário 5).	113
Figura 47. Macro SITESELECT (Cenário 5).....	115
Figura 48. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (48A); Imagem com adequabilidade (48B) - Cenário 5.....	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01. Comparação entre a NBR 10.004 de 1987 e 2004.....	7
Tabela 02. Processos de transporte de contaminantes.....	16
Tabela 03. Frações granulométricas do solo segundo Atterberg e Embrapa.....	21
Tabela 04. Classes de permeabilidade segundo o Serviço de conservação de solos dos Estados Unidos e características dos solos adaptadas para nossas condições.	23
Tabela 05. Descrição das restrições adotadas.....	77
Tabela 06. Fatores, Funções Fuzzy adotadas e seus respectivos pontos de controle.	78
Tabela 07. Normalização das classes pedológicas.....	80
Tabela 08. Normalização das classes geológicas-geotécnicas.....	86
Tabela 09. Normalização das classes geomorfológicas.....	88
Tabela 10. Principais características consideradas na normalização das classes geomorfológicas.....	89
Tabela 11. Normalização das classes de profundidade do lençol freático.....	91
Tabela 12. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 2). ..	101
Tabela 13. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 3). ..	105
Tabela 14. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 4). ..	108
Tabela 15. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 5). ..	116

RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIações

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- AV – Análise do Valor.
- Bi – Horizonte B incipiente.
- Bt – Horizonte B textural.
- Bw – Horizonte B latossólico.
- CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem.
- CIDE – Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro
- CODIN – Companhia de Desenvolvimento Industrial do Estado do Rio de Janeiro.
- CPRM – Companhia de Recursos Minerais.
- DRM – Departamento de Recursos Minerais.
- EIA – Estudo de Impacto Ambiental.
- EPA – Agência de Proteção Ambiental Americana.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo.
- LF – Lógica Fuzzy.
- MCE – Multi-Criteria Evaluation (Análise Multicritério).
- MDE – Modelo Digital de Elevação.
- NBR – Norma Brasileira.
- PMCG – Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes.
- PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.
- RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.
- SIG – Sistema de Informação Geográfica.
- SR – Solo Residual.
- WLC – Weighted Linear Combination (Combinação Linear ponderada).

RESUMO

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada na avaliação e seleção de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil, com o uso de análise multicritério e sistemas de informação geográfica. Fez-se uma comparação utilizando-se diversas combinações de critérios, a fim de observar as mudanças impostas em consequência dos critérios adotados e uma análise final onde utilizou-se todos os critérios. Na análise final foram encontradas 21 áreas maiores que 20ha, que apresentam adequabilidade alta, superior a 220, na escala de 0 a 255. O depósito atual de lixo encontra-se sobre uma área de aptidão nula, distante aproximadamente 1km de regiões que possuem aptidão superior a 220. Os resultados obtidos revelam que o método da análise estratégica de decisão, viabilizada pela potencialidade do SIG, permite a integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas para a implantação de empreendimentos impactantes.

ABSTRACT

This paper presents a methodology used to evaluate and select areas for development of landfills in the city of Campos dos Goytacazes / RJ, Brazil, using multi-criteria analysis and Geographic Information Systems. They did a comparison using the various combinations of criteria with the purpose to observe the changes imposed as a result of the criteria adopted and conclude a final analysis that used up all the criteria. In the final analysis 21 areas larger than 20ha were found, which presented high suitability, greater than 220, in a 0-255 scale. The current landfill is in an area with void aptitude approximately 1km away from areas where aptitudes were over 220. The results show that the Strategic Analysis of Decision's Method, being attained through GIS's potentiality, is a useful and agile tool in integrating spatial information for decision making for selection of suitable areas for potential polluter undertaking plants.

1. INTRODUÇÃO

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

Segundo Kataoka (2000), a revolução industrial trouxe mudanças nos costumes e atividades do homem. A principal mudança foi de produção agrícola e vida no campo para uma vida concentrada nos grandes centros urbanos e a necessidade cada vez maior de produtos industrializados e descartáveis. Como consequência tivemos o aumento de volume e de variedade de resíduos descartados.

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

É necessário que o lixo seja coletado adequadamente e que o mesmo seja depositado em local próprio.

A coleta de lixo se faz necessária, para que o mesmo tenha uma disposição final correta e que não cause danos ao meio ambiente e a população.

Os RSU quando depositados sem qualquer preocupação com as características do meio, levam a freqüentes problemas ambientais, dentre os quais podemos citar: contaminação das águas (superficiais e subterrâneas), aparecimento de focos de doenças, mau cheiro entre outros.

Conforme o IBGE (2007), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) revela uma tendência de melhora da situação de destinação final do lixo coletado no país nos últimos anos. Em 2000, o lixo produzido diariamente no Brasil chegava a 125.281 toneladas, sendo que 47,1% era destinado a aterros sanitários, 22,3% a aterros controlados e apenas 30,5% a lixões, conforme pode-se ver na Figura 01. Ou seja, mais de 69% de todo o lixo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários e/ou controlados. Entretanto, em número de municípios, o resultado não é tão favorável: 63,6% utilizavam lixões e 32,2%, aterros adequados (13,8% aterros sanitários, 18,4% aterros controlados), sendo que 5% não informou para onde vão seus resíduos. Em 1989, a PNSB mostrava que o

percentual de municípios que depositavam seus resíduos de forma adequada era de apenas 10,7%.

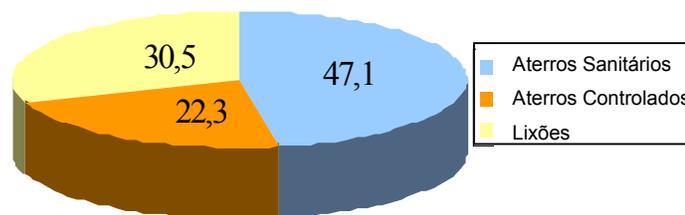


Figura 01. Destinação final do lixo coletado (%) no ano de 2000.
Fonte: Adaptado de IBGE, 2000.

A pesquisa permitiu, ainda, uma estimativa sobre a quantidade coletada de lixo diariamente: nas cidades com até 200.000 habitantes, são recolhidos de 450 a 700 gramas por habitante; nas cidades com mais de 200 mil habitantes, essa quantidade aumenta para a faixa entre 800 e 1.200 gramas por habitante.

Dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja, 73,1%, têm população até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados. Se tomarmos, como referência, a quantidade de lixo por eles gerada, em relação ao total da produção brasileira, a situação é menos grave, pois em conjunto coletam 12,8% do total brasileiro (20.658 t/dia). Isto é menos do que o gerado pelas 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de 1 milhão de habitantes. Só estas, coletam 31,9% (51.635 t/dia) de todo o lixo urbano brasileiro, e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8% (832 t/dia) é destinado a lixões, o restante sendo depositado em aterros controlados ou sanitários (IBGE, 2007).

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

Existem várias formas de disposição final do lixo no solo, entre elas podemos citar: aterro sanitário, aterro controlado, aterro em valas e lixões.

Conforme Jucá (2003), apesar do esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar o lixo, os aterros ainda representam a principal destinação final dos resíduos sólidos do mundo. E, enquanto novas tecnologias de destino final não surgirem como alternativa viável esta tecnologia é um constituinte essencial de qualquer sistema de manejo de resíduos sólidos.

O recobrimento dos resíduos em um aterro controlado constitui, uma das práticas mais simples e econômicas de disposição final de RSU, sendo que muitas áreas utilizadas para este fim apresentam elevado potencial de contaminação do solo e da água (subterrânea e superficial), pelo fato de não terem sido adotadas as providências adequadas na escolha da área do aterro.

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

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

Segundo Pfeiffer (2001), nos últimos anos, pesquisas relacionadas à questão ambiental vêm utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta nos processos de análise e planejamento ambiental. No caso de localização de aterros, essa ferramenta tem se mostrado bastante útil devido a sua rapidez e integração dos dados. Com a utilização do SIG, é possível combinar informações, aplicar normas e aproximar-se das áreas mais adequadas.

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

O presente trabalho, que envolve um estudo de caso no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, visou avaliar e selecionar áreas mais adequadas para a implantação de aterros controlados, através de uma metodologia inédita, levando-se em consideração aspectos ambientais, principalmente a pedologia local, por se tratar de um indicador importante quando se trata de localização de aterros. Para tal, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para integrar variáveis de diversos tipos.

O município de Campos dos Goytacazes está localizado na região Norte do estado do Rio de Janeiro, aproximadamente a 286 km da capital estadual, Rio de Janeiro, com uma área de 4.031,91 km², sendo o maior município do Estado e possuindo uma estimativa da população em 01 de abril de 2007 de 426.154 (quatrocentos e vinte e seis e cento e cinqüenta e quatro) habitantes (estimativa IBGE, 2007).

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é selecionar áreas favoráveis à implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando SIG e levando-se em consideração, principalmente, os solos da região. Para tal, foram realizadas várias análises multicritério utilizando dados de mapeamentos pedológicos, geomorfológico, profundidade do lençol freático, geológico-geotécnico, hidrografia, sistema viário e núcleos populacionais.

Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, procurou-se atingir os seguintes objetivos específicos durante o estudo:

- Elaboração de banco de dados georreferenciados;
- Análises dos solos da região;
- Elaboração dos mapas temáticos da região;
- Elaboração do mapa de profundidade do lençol freático obtido através de dados de profundidade de poços rasos;
- Cruzamento dos mapas temáticos para escolha de áreas favoráveis a construção de aterro controlado.

3. JUSTIFICATIVAS

Como justificativas citam-se:

- A elaboração do documento referente à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, intitulado Agenda 21, onde se estabeleceu que até 2025 todos os resíduos sólidos devem estar depositados de acordo com as diretrizes nacionais ou internacionais de qualidade ambiental;
- A carência de estudos sobre área sujeita a contaminação e/ou poluição, inseridos em áreas urbanas;
- A avaliação de uma área para implantação de aterro é de fundamental importância para minimizar os impactos ambientais inerentes ao empreendimento;
- Ao abordar aspectos técnicos aliados às técnicas de geoprocessamento, é possível desenvolver uma análise de alternativas locais uma vez que os órgãos ambientais competentes exigem uma escolha criteriosa;
- A falta de estudos neste âmbito para o município de Campos dos Goytacazes, o que viabiliza a utilização da metodologia proposta, metodologia esta que utiliza diversos critérios para a escolha da melhor área para a localização de aterros controlados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Resíduos sólidos

4.1.1. Introdução

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.004/87 (Resíduos Sólidos – Classificação), resíduos sólidos são definidos como: “resíduos no estado sólido ou semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço de varrição. Ficam incluídos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalação de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviáveis o seu lançamento na rede de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas economicamente inviáveis, face à melhor tecnologia disponível”.

Os resíduos são constituídos de materiais das mais diferentes origens e processos, que depois de serem utilizados pelo homem nos diversos processos de consumo são descartados. Por outro lado, os rejeitos, são materiais em estado natural, ou transformados, que por não possuírem valor para o homem, são descartados antes de sua utilização (KATAOKA, 2000).

Por uma questão de praticidade, esses termos, neste trabalho, serão tratados como sinônimos.

Segundo Zuquette (1991), as principais causas da disposição inadequada de resíduos são:

- Falta de conhecimento das características do meio físico e do meio ambiente;
- Não caracterização e separação dos diferentes tipos de resíduos;
- Falta de normas ou descumprimento das existentes no Brasil para a escolha de locais para a implantação de aterros;
- Pouco estudo em aterros existentes ou experimentais;
- Falta de fiscalização pelos órgãos públicos e punição aos responsáveis pela disposição inadequada dos resíduos.

Conforme dados da Síntese de Indicadores Sociais do IBGE (2000), “85% dos 34.870.828 domicílios brasileiros localizados na área urbana foram beneficiados com a coleta realizada por empresa pública ou privada (coleta direta), contra 8,8% cujo lixo foi depositado em caçamba, tanque ou depósito para depois ser removido

(coleta indireta). E em apenas 3,4% do total, o lixo foi queimado ou enterrado na propriedade ou ainda jogado em terreno baldio, rua, rio ou mar. Sinal de que o lixo está sendo destinado ao lugar certo, evitando assim a proliferação de doenças e a poluição do solo e do ar”.

4.1.2. Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com sua origem, os resíduos sólidos podem apresentar volumes e periculosidade bem distintos, com implicações na sua disposição final.

A classificação dos resíduos é um dos principais aspectos a serem abordados quando do planejamento de locais para a disposição final dos resíduos gerados pelas atividades humanas.

No Brasil, a classificação definida pela Norma ABNT – NBR 10.004 (1987/2004) segue os critérios de classificação dos resíduos segundo a periculosidade, desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), com pequenas modificações.

A ABNT classifica os resíduos com base na sua periculosidade, ou seja, nas características apresentadas pelo resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas e infecto-contagiosas, podem apresentar riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente.

Com relação às recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), referentes a resíduos, as normas: NBR 10.004/1987 e NBR 10.004/2004 devem ser destacadas. A Tabela 01 mostra a NBR 10.004/1987 e 2004, fazendo uma comparação entre elas.

Tabela 01. Comparação entre a NBR 10.004 de 1987 e 2004.

NBR 10.004 (ABNT, 1987)	NBR 10.004 (ABNT, 2004)
Resíduos de Classe I – Perigosos.	Resíduos de Classe I – Perigosos.
Resíduos de Classe II – Não Inertes.	Resíduos de Classe II – Não Perigosos.
Resíduos de Classe III – Inerte.	II A – Não Inertes. II B – Inertes.

Onde:

- Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade, isto é, podem colocar em risco a saúde pública e/ou o meio ambiente, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas; ou uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade;

- Resíduos não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos ou inertes. Podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados segundo a norma NBR 10.007 e submetidos a teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, atenderem aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

4.2. Formas de tratamento e disposição de resíduos sólidos

Segundo Hasan (1995) citado por Kataoka (2000), a disposição no solo é a prática mais difundida no mundo, especialmente nos países ou regiões de menor densidade populacional e de baixa renda.

No Brasil, são mais utilizados como sistemas de disposição final do lixo os vazadouros a céu aberto (lixões), vazadouros em áreas alagadas, aterro controlado, aterro sanitário, aterro de resíduos especiais, usina de incineração e usina de compostagem (COSTA, 2003).

A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal e vegetal, por ação de agentes microbianos (IPT, 1995). Prática importante, pois diminui o volume a ser aterrado e pode ser incorporado ao solo como reaproveitamento agrícola da matéria orgânica.

O aterro sanitário e a compostagem, do ponto de vista sanitário e ecológico, constituem as práticas mais adequadas de disposição e tratamento de resíduos sólidos.

Podemos citar ainda o reaproveitamento através da reciclagem, que ajuda a diminuir significativamente o volume de resíduos destinados ao aterro aumentando sua vida útil, além de criar empregos e diminuir o número de catadores presentes nos lixões.

Segundo o IBGE (2000), a coleta seletiva é o primeiro passo para a reciclagem. Ela visa separar e classificar o lixo para que se possa aproveitar tudo o que é reciclável. Separa-se o material inorgânico do orgânico.

4.3. Aterros

4.3.1. Histórico

Aterrar o lixo não é privilégio da civilização moderna. Em 2500 a.C., na Mesopotâmia, já se enterravam os resíduos domésticos e agrícolas em trincheiras escavadas no solo. Depois de algum tempo, quando a matéria orgânica já havia se decomposto, as trincheiras eram abertas e a matéria orgânica removida e utilizada como fertilizante na produção de cereais (LIMA, 1995).

Outros relatos sobre aterro podem ser comprovados em registros históricos em Roma (150 d.C.) e na Europa (Idade Média), devido ao aparecimento de insetos e disseminação de doenças (LIMA, 1995).

Desde então administradores públicos e interessados em saúde pública passaram a defender a necessidade de desenvolver técnicas para o gerenciamento de resíduos.

No Brasil, os aterros de resíduos sólidos, se iniciaram na década de 70 e sempre foram alvo de resistência do meio técnico e da população, devido aos riscos ambientais que podiam representar. Ainda hoje, a maioria das disposições de resíduos no solo é inadequada, constituindo-se em vazadouros a céu aberto e apenas uma pequena parcela está de acordo com as normas vigentes. Logo, as áreas destinadas a receber os resíduos estão expostas a danos e são responsáveis pela degradação ambiental das regiões sob sua influência (MELO, 2001).

4.3.2. Tipos de Disposição

O manual de gerenciamento integrado do lixo municipal, publicado pelo IPT em 1995, define lixão como “uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública”.

As características dos lixões podem ser resumidas em:

- Falta de controle sobre o volume, o tipo e o grau de periculosidade dos resíduos;
- Permanência do lixo a céu aberto;
- Ausência de dispositivo de controle e saída de animais e pessoas.

Segundo IPT (1995), “Aterro Controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua

segurança, minimizando os impactos ambientais que apesar de concentrar o lixo em uma área menor, quando comparado ao lixão, e de utilizar uma cobertura diária de solo, não possui uma impermeabilização de base, o que pode causar contaminação da água subterrânea por lixiviados. Não obedece nenhum critério de engenharia ou controle ambiental”.

Segundo o IBGE (2000), o aterro controlado é um lixão controlado, onde é efetuada a disposição final dos resíduos sólidos, porém, sem a infra-estrutura própria de um aterro sanitário, mas com as condições mínimas para a compactação e cobertura diária dos resíduos.

Vantagens:

- Baixo custo de implantação;
- Baixo custo de operação;
- Pode ocupar áreas já degradadas;
- Flexibilidade de operação.

Desvantagens:

- Longo tempo de imobilização do terreno;
- Necessidade de grandes áreas;
- Necessidade de material de cobertura;
- Os materiais recicláveis não são aproveitados;
- Polui os corpos d'água, o solo e o ar.

Conforme a NBR 8419 da ABNT, “Aterro Sanitário é um método de disposição de resíduos sólidos no solo, sem provocar prejuízos ou ameaças à saúde e à segurança, utilizando-se de princípios de engenharia, de tal modo, a confinar o lixo no menor volume possível, cobrindo-o com uma camada de terra, ao fim do trabalho de cada dia, ou mais freqüentemente, conforme o necessário”.

Para Schalch *et al.* (1992), a disposição do lixo em aterros sanitários tem vantagens e desvantagens conforme se pode ver abaixo.

Vantagens:

- Recepção de qualquer tipo de resíduos sólidos;
- Fácil execução e manutenção;
- Possibilidade de recuperação de áreas topograficamente inutilizadas;
- Controle de proliferação de vetores como ratos e artrópode;
- Possibilidade de disposição de lamas e lodos.

Desvantagens:

- Transporte do lixo por grandes distâncias;
- Produção de líquidos residuais;
- Necessidade de material de cobertura adequado;
- Possibilidade de poluição da água subterrânea;
- Produção de poeira;
- Ruídos durante a operação do aterro.

4.4. Os resíduos sólidos e o meio ambiente

A disposição de resíduos em áreas escolhidas sem qualquer estudo técnico prévio pode acarretar sérios problemas com o meio ambiente, pois esses locais são fontes potenciais de contaminação do meio físico – ar, água e solo.

A escolha do local e os parâmetros utilizados para seleção do mesmo devem ser feitos de forma criteriosa, uma vez que o lixo ficará no local definitivamente. Dessa forma, o lixo se torna um problema futuro e permanente da área (DÖRHÖFER e SIEBERT, 1998).

Zuquette (1999), comenta que a inobservância das limitações do meio físico pode gerar custos elevados para a implantação de projetos e/ou recuperação de áreas degradadas.

Segundo Ellis (1998), no Brasil, as fontes mais comuns de contaminação dos recursos hídricos são principalmente as áreas utilizadas para a disposição de RSU e as lagoas de tratamento de efluentes industriais.

A preocupação com a contaminação desses recursos vem intensificando estudos a respeito dos processos responsáveis pelo transporte e migração dos poluentes no meio físico, tornando-se relevante em projetos de implantação de aterros.

Os resíduos constituem reservatório de contaminantes. O produto da decomposição desses resíduos varia de um aterro para outro, porém a seqüência de degradação é essencialmente a mesma, uma fase aeróbica inicial bastante rápida e várias fases anaeróbicas subseqüentes. A degradação envolve processos físicos, químicos e biológicos e a ação de bactérias e microorganismos é dominante e governa a geração de gases e chorume nos depósitos de lixo (BARBOSA, 1994).

O chorume é produzido pela percolação de água através do aterro e provoca a migração de uma série de compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) através da zona não saturada, podendo atingir a zona saturada e poluir os aquíferos (PRADO FILHO, 1991).

A composição química do chorume é determinada pelo clima (precipitação e temperatura), pela composição e idade do lixo depositado e por fatores que influenciam na infiltração: vegetação, recobrimento, topografia, drenagem (BARBOSA, 1994).

Segundo Pejon e Zuquette (1991), a disposição dos RSU depende do tipo, quantidade e do porte da cidade e tem sido feita de maneira inadequada sem qualquer preocupação com o meio físico.

O Brasil carece de normas específicas a respeito da seleção de áreas para implantação de aterros, Rohde (1989), criticou as normas fixadas pela ABNT, pois não estabelecem critérios nem roteiros imprescindíveis à escolha do local adequado à disposição de resíduos.

Na Figura 02, podemos ver as interações técnicas do aterro com o meio ambiente.

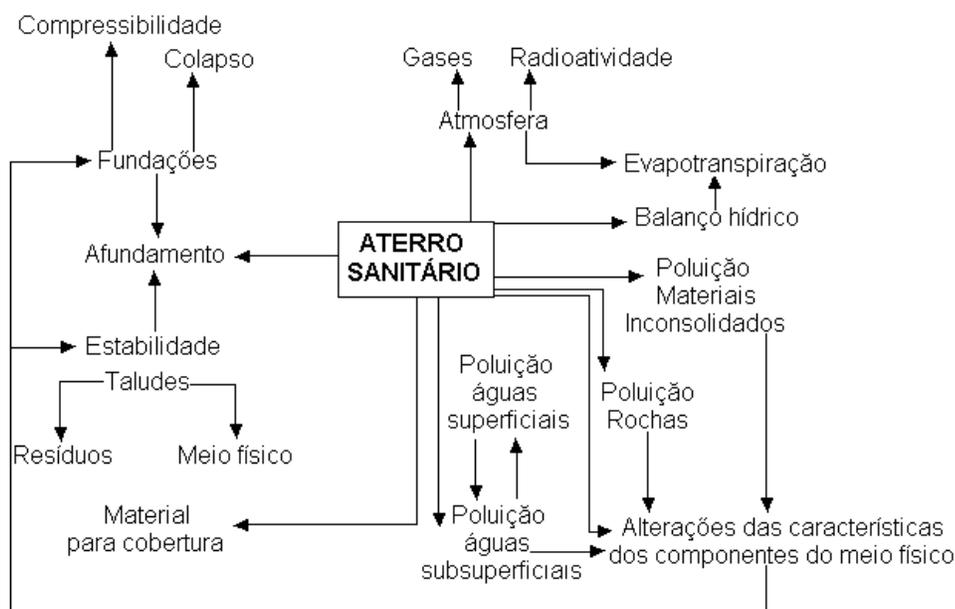


Figura 02. Fluxograma representativo das interações técnicas relacionadas aos aterros sanitários e o meio ambiente.

Fonte: Adaptado de ZUQUETTE *et al.*, 1999.

4.5. Os aterros e o meio ambiente

Historicamente, os aterros sanitários constituem-se no método econômico e ambientalmente mais aceito para a disposição dos RSU, apesar de não refletir a realidade, uma vez que muitos dispositivos encarados como tais não apresentam as condições mínimas exigidas para a disposição segura dos rejeitos e, além disso, estarem em locais impróprios para o mesmo.

Por esse motivo, na seleção de áreas para a implantação de aterros, os critérios de seleção devem ser levados em consideração de forma rigorosa, para que não se prejudique o meio ambiente, levando-se em consideração inclusive uma possível falha no sistema de segurança de um aterro sanitário.

A etapa de seleção de áreas favoráveis à localização de aterros para RSU é de crucial importância. Os objetivos dos estudos para esta seleção devem estar voltados para a localização de sítios onde os resíduos possam ser dispostos economicamente e com o menor impacto ambiental possível (O'LEARY, 1986).

4.6. Os Solos

Para a Geologia, o solo é um produto do intemperismo físico e químico das rochas, juntamente com a Pedogênese e a matéria orgânica. A Engenharia Civil conceitua o solo como um material escavável que perde sua resistência em contato com a água. A Agronomia diz que o solo é uma camada superficial de terra arável, possuidora de vida microbiana (SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

Corpo natural de constituição orgânica e mineral, diferenciado em horizontes de espessuras variáveis, que diferem entre si na morfologia, composições químicas, físicas e biológicas e propriedades (LICHT, 1998).

Estudos demonstram que sua origem e evolução sofrem a influência do clima, dos materiais de origem, organismos, vegetais e animais, relevo e tempo.

Seu desenvolvimento inicia-se com o intemperismo (fenômenos físicos e químicos) formando os resíduos não consolidados sendo submetidos ao longo do tempo aos processos pedogenéticos, podendo permanecer no local (solos residual) ou ser transportados (solo transportado) (SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

Ainda segundo os autores acima citados, os fatores que influenciam as características dos solos são:

- **Rocha:** influencia na característica do solo dela originado, através da sua composição mineralógica e química. O desenvolvimento dos solos está diretamente ligado à circulação interna de água na rocha;
- **Clima:** altera os minerais do substrato. Os principais aspectos climáticos são a temperatura e a precipitação pluviométrica. De acordo com o clima regional e local, existem certas tendências de evolução pedológica: **Podzolização** (clima temperado, acúmulo de matéria orgânica, produção de ácidos húmicos, dispersão de sesquióxidos de Fe e Al e enriquecimento em sílica); **Laterização** (clima tropical e intertropical, lixiviação de bases e sílica

produzidas por hidrólise, acumulação de sesquióxidos de Fe e Al e produção de argilominerais do grupo caolinítico); **Salinização** (clima árido e semi-árido, concentração de bases na forma de sais, que se precipitam nos horizontes superiores); **Gleização ou hidromorfia** (locais saturados em água, cátions metálicos se mantêm na forma reduzida, favorecendo a lixivação);

- **Relevo:** interfere na dinâmica das águas e nos processos de erosão e sedimentação;
- **Organismos:** favorecimento de resíduos orgânicos e elementos minerais, protegendo o solo da erosão;
- **Tempo:** necessário para que o solo atinja determinado estágio evolutivo.

Sob a influência conjunta dos fatores responsáveis pela formação dos solos, determinados fenômenos se manifestam simultaneamente, em diferentes intensidades, são os processos pedogenéticos. Sua formação desenvolve-se a partir do intemperismo físico (atua pela desintegração física e mecânica das rochas) e químico (na presença de água e temperatura favorável ao desenvolvimento de reações, alterando os minerais).

O solo é estudado a partir de seu perfil vertical, com seqüência de horizontes ou camadas, definidas pelas suas características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas.

4.6.1. Pedologia nos estudos ambientais (solos x contaminantes)

O intemperismo geralmente evolui em suas porções superficiais, através de processos pedogenéticos, para então formar o solo, assim o solo é um produto do intemperismo, do remanejamento e organização das camadas superiores da crosta terrestre, sob a ação da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energias envolvidas (TOLEDO, OLIVEIRA e MELFI, 2000).

Os solos, através do intemperismo, podem apresentar anomalias com altos teores de ferro, seja a partir da gênese da rocha ou da ação produtiva do homem. O pH, a textura, a composição do solo, o potencial de oxi-redução, e os íons ligados a mecanismos de trocas catiônicas, adsorção, precipitação e dissolução são fatores fundamentais na retenção e mobilização de elementos metálicos no solo. Alguns materiais como as argilas, os compostos orgânicos do solo (organo-metálicos), ácidos húmicos, compostos fenólicos, etc, tem grande capacidade de troca iônica, o que favorece a mobilidade de metais no solo (TOLENTINO, 1980).

Segundo Costa (2003), a poluição do solo por metais esta ligada a processos de acúmulo e transporte e depende das interações com a fase sólida do sistema. Estas interações são complexas e são caracterizadas por fenômenos como a adsorção, precipitação, dissolução, complexação e oxi-redução, que estão presentes na fase orgânica e inorgânica. O conhecimento dessas interações são fundamentais ao entendimento do controle das concentrações dos metais na solução do solo, bem como as conseqüências que podem causar ao meio, aos aquíferos, etc.

Ainda segundo a autora acima citada, o solo ameniza a maioria dos contaminantes, sendo a zona não saturada mais propícia para a disposição de dejetos humanos e águas residuais. Nesta zona o movimento dos contaminantes é lento e se limita aos poros. Como a condição química é geralmente aeróbica e alcalina, gera-se um potencial para a ação de processos atenuantes, como:

- Interceptação, adsorção, eliminação de bactérias e vírus patogênicos;
- Atenuação de metais pesados e alguns compostos orgânicos, mediante precipitação, adsorção ou troca iônica;
- Absorção e biodegradação de muitos hidrocarbonetos e compostos orgânicos sintéticos.

Na zona saturada esses processos se apresentam com velocidades muito pequenas.

A intensidade de atenuação dos processos varia em função de condições naturais próprias de cada ambiente. Os perfis de solos e as relações e posições da zona saturada e não saturada variam de um local para outro, assim como as características do solo como textura, permeabilidade, aquíferos, etc. Essas condições do meio causam variações na capacidade de atenuação dos contaminantes e confere ao local um grau de vulnerabilidade a contaminação. Outro fator que influencia no grau de atenuação é o tipo de contaminante e os processos de contaminação envolvidos (ELLIS, 1998).

Os resíduos dispostos no solo constituem reservatório de contaminantes. A água que infiltra eleva gradualmente o teor de umidade até que atinja a capacidade de campo, a partir de onde, qualquer infiltração adicional resultará em fluxo desta camada para a seguinte, até que todo aterro esteja na condição de capacidade de campo e produzindo chorume regularmente (BARBOSA, 1994).

Em um mesmo aterro, a composição química do chorume varia com o volume de água, a temperatura, o teor de umidade no lixo e o recobrimento com solo e

influenciam alguns fatores inibidores e aceleradores da degradação e seus efeitos na produção de metano e na composição química dos chorume (BARBOSA, 1994).

4.6.2. Principais mecanismos de transporte de contaminante em solos

São inúmeros os fenômenos que controlam o transporte de contaminantes em meios porosos, onde temos um poluente ou soluto movendo-se em um solvente nos vazios de um meio poroso, no nosso caso, solo, que pode estar saturado ou não (NOBRE, 1987).

Esses fenômenos são influenciados por diversos fatores relacionados ao fluido percolante, às características do solo e as condições ambientais: o tipo de solo, sua mineralogia, a CTC, os tipos de cátions adsorvidos, a velocidade de percolação, o teor de matéria orgânica, a concentração de contaminantes e de outras substâncias presentes na solução, as condições hidrogeológicas, a temperatura e o pH do meio.

Os processos que regem o transporte de poluentes em regime hidrogeológicos foram agrupados em três grandes categorias: física, química e bioquímica, como mostra a Tabela 02.

Tabela 02. Processos de transporte de contaminantes.
Fonte: Adaptado de GILLHAM, citado por GERMANO, 2001.

Física	Química	Bioquímica
Advecção	Sorção	Biodegradação
Dispersão	Decaimento Radioativo	Biotransformação
Difusão Molecular	Precipitação	
Retenção Fluida	Co-precipitação	
Transporte Coloidal	Oxi-redução	
	Complexação	

Os principais processos de transporte de contaminantes no solo são definidos a seguir:

- **Sorção:** refere-se à adesão ou atração de uma ou mais camadas iônicas ou moleculares em uma superfície. É a partição de espécies químicas (sorvido) entre as fases de solução e sorvente (líquida e sólida, respectivamente). Retarda o movimento no perfil do solo (CLEARY, 1991). Inclui os processos de adsorção, absorção, sorção química e troca iônica. A adsorção é fenômeno temporário, de fixação de uma substância dissolvida (adsorvato), a uma superfície sólida ou líquida (adsorvente, solo e/ou água). Pode ocorrer adsorção ou repulsão, dependendo do sentido da força (VIEIRA, 2005); A dessorção: liberação das moléculas anteriormente retidas pelo solo, podendo ser completa ou apenas parte das moléculas dos herbicidas sorvidas são

retornadas à solução do solo (OLIVEIRA, 1998); A absorção acontece no momento em que o soluto sofre difusão no interior das partículas porosas;

- **Advecção:** movimento do soluto com mesma velocidade e direção da água subterrânea. Principal mecanismo de transporte de massa varia muito em função da condutividade hidráulica (CLEARY, 1991);
- **Precipitação:** ligações covalentes de alta força que promovem a junção das moléculas dos pesticidas com as partículas de argilominerais. Separação da fase sólida na superfície de uma partícula sólida do solo (VIEIRA, 2005);
- **Dispersão hidrodinâmica:** espalhamento do material no meio poroso em diferentes direções daquelas atribuídas ao movimento da água subterrânea. É composta por duas parcelas pela dispersão mecânica: causada pela variação da velocidade de percolação média no meio poroso. Em nível microscópico é influenciada pela rugosidade das paredes dos canais formados pela interconexão dos poros no solo, pelas diferenças nos tamanhos dos poros no percurso do fluido e pela tortuosidade dos canais de fluxo que fazem com que as partículas mudem de direção (FREEZE e CHERRY, 1979) e pela difusão molecular: difusão dos íons, átomos ou moléculas por forças de natureza molecular. Ocorre em função do gradiente de concentração das espécies químicas (FETTER, 1993).

4.6.3. Caracterização e classificação dos solos

Segundo Pastore e Fontes (1998), o objetivo de caracterizar e classificar os solos é prever seus comportamentos, conhecer sua formas de ocorrência e sua geometria nos locais em estudo.

A primeira propriedade a ser determinada em um solo é a sua granulometria (CARVALHO, 1997).

Segundo Caputo (1994), as frações dos solos recebem denominações próprias, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT – NBR 7181), que são:

- Pedregulho – conjunto de partículas cujas dimensões estão compreendidas entre 76 e 4,8 mm;
- Areia – entre 4,8 e 0,05 mm;
- Silte – entre 0,05 e 0,005 mm;
- Argila – inferiores a 0,005 mm.

O solo pode ainda ser classificado geneticamente, sendo a classificação mais utilizada a geológica e a pedológica.

4.6.3.1. Classificação geológica

Segundo Pastore e Fontes (1998), a classificação geológica baseia-se na análise tátil-visual, na morfologia e nas relações estratigráficas com outros solos e rochas.

- **Solos in situ ou residuais:** formados a partir da decomposição das rochas pelo intemperismo, permanecendo no local onde foi formado, sem sofrer transporte. Sua composição mineralógica e granulométrica, estrutura e espessura dependem do clima, relevo, tempo e tipo da rocha de origem;
- **Solos transportados:** são os que sofreram transporte por agentes geológicos do local onde se originaram até onde foram depositados, não tendo sofrido consolidação. Pode-se citar:
 - Aluviões: materiais erodidos, retrabalhados e transportados pelos cursos d'água e depositados em seus leitos e margens. Como um todo apresenta-se heterogêneo, mas a camada, pode ser homogênea.
 - Terraços fluviais: são aluviões antigos, depositados quando o nível do curso d'água encontrava-se em posição superior a atual, em geral não saturados e constituído por areia grossa e cascalho.
 - Coluviões: depósitos de materiais inconsolidados, normalmente encobrindo encostas íngremes. Formados pela ação da água e gravidade. Depósitos pouco espesso composto por mistura de solo e blocos de rocha pequenos.
 - Tálus: depósitos formados pela ação da água e da gravidade, composto por blocos de rochas de tamanhos variados. Ocorrem nos sopés das encostas de relevos acidentados. São problemáticos e de difícil contenção quando instáveis.
 - Sedimentos marinhos: produzidos em ambientes de praia e de manguezal.
 - Solos eólicos: são transportados e depositados pela ação do vento e ocorrem junto à costa.

4.6.3.2. Classificação pedológica

Concentra seu interesse na parte mais superficial do perfil do subsolo, diferenciando-o em horizontes denominados A, B e C.

As denominações e características dos horizontes, de acordo com Pastore (1995), são descritas, simplificada, a seguir:

- **Horizonte de solo orgânico:** geralmente com pequena espessura, composto por areia, argila e silte, em diferentes porções, mas com quantidade apreciável de matéria orgânica decomposta. Corresponde ao horizonte A pedológico;
- **Horizonte laterítico:** pode ser formado tanto por solos residuais quanto transportados. Não apresentam estrutura típica da rocha de origem. Corresponde ao horizonte B pedológico, contém quartzo, argilas essencialmente caulínicas e óxidos de ferro e alumínio hidratados, suas cores predominantes são as de tons avermelhados e amarelados;
- **Horizonte de solo saprolítico:** composto por solo residual cuja principal característica é apresentar a estrutura reliquiar da rocha de origem. Têm espessura e composição granulométrica muito variáveis. Os minerais mais facilmente encontrados são o quartzo, a caulinita e a mica. Apresenta cor branca, creme, roxo e amarelo-claro;
- **Horizonte de rocha muito alterada:** topo do maciço rochoso. Minerais com adiantado estado de alteração, sem brilho e com resistência reduzida quando comparado à rocha sã;
- **Horizonte de rocha alterada:** apresenta minerais descoloridos e sua resistência é bem maior que a do horizonte de rocha muito alterada;
- **Horizonte de rocha sã:** rocha predominantemente sã, cujos minerais apresentam-se com brilho, sem sinais evidentes de alteração.

4.6.4. Principais características analisadas para classificação dos solos

- **Material orgânico x Material mineral**

Segundo Oliveira (2005), um material é dito orgânico, quando é formado por compostos orgânicos, podendo essa composição conter porções variáveis de material mineral, desde que a proporção de material orgânico satisfaça os seguintes teores de carbono orgânico (expresso em peso):

- 12% ou mais se a fração mineral contiver 60% ou mais de argila determinada após a eliminação da matéria orgânica;
- 8% se a fração mineral não contiver argila;

- e valores intermediários proporcionais a teores intermediários de argila (até 60%) segundo a fórmula: % de C $\geq 8 + (0,067 \times \% \text{ de argila})$

Conseqüentemente, material mineral é todo aquele que não preenche os requisitos de material orgânico, formado, predominantemente, por compostos inorgânicos, em vários estágios de intemperismo (EMBRAPA, 2006).

Todos os solos são constituídos por certa porção de material orgânico e mineral e as condições de pedogênese determinam que alguns solos são mais ricos em um ou outro desses materiais.

O acúmulo de material orgânico acontece em ambientes mal drenados, redutores, onde a decomposição dos vegetais se dá em ambiente palustre e em ambientes de drenagem livre, porém com condições climáticas (temperatura e regime hídrico) que favoreçam o acúmulo desse material.

O teor de matéria orgânica afeta significativamente a densidade do solo, a qual decresce exponencialmente com seu aumento (KÄMPF e SCHNEIDER, 1989). Quanto mais elevado o estágio de decomposição do material orgânico mais elevada é a densidade do solo e menor a capacidade de reter água e a taxa de subsidência (capacidade de diminuir de volume com a perda de água – depende da profundidade do lençol freático, quanto mais alto o lençol, menor a perda e menor a subsidência).

Material orgânico apresenta porosidade total elevada e quanto menos decomposto maior a predominância de macroporos. Quanto maior o estágio de decomposição, mais elevada à força com que a água é retida, devido à diminuição do diâmetro dos vazios.

A condutividade hidráulica nos solos orgânicos, diferentemente dos minerais, sofre sensível diminuição à medida que se tornam mais drenados.

Materiais orgânicos apresentam elevada capacidade de troca de cátions (300-450 $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ a pH 7,0).

- **Textura (Composição granulométrica)**

Tamanho das partículas do solo.

Influenciam na retenção de umidade, retenção de cátions, erodibilidade, permeabilidade, retenção de fosfatos, lixiviação de nitratos, formação de selo superficial, coesão e adesão, entre outras propriedades dos solos.

Composição granulométrica referencia o conjunto de todas as partículas do solo enquanto que textura designa o conjunto das frações contidas na terra fina seca ao ar, ou seja, de diâmetro inferior a 2mm.

Na Tabela 03 estão as classes de frações granulométricas segundo Atterberg e Embrapa.

Tabela 03. Frações granulométricas do solo segundo Atterberg e Embrapa.
Fonte: Modificado de OLIVEIRA, 2005.

Atterberg	Embrapa
Frações grosseiras (cm)	
Matacão > 20	
Calhaus 20-2	Calhaus 20-2
Cascalho 2-0,2	Cascalho 2-0,2
Frações finas (terra fina seca ao ar) (mm)	
Areia grossa 2-0,2	Areia grossa 2-0,2
Areia fina 0,2-0,02	Areia fina 0,2-0,05
Silte 0,02-0,002	Silte 0,05-0,002
Argila <0,002	Argila <0,002

- **Atividade da argila**

Refere-se à capacidade de troca de cátions (CTC) correspondente à fração argila, calculada pela expressão:

$$CTC \times 100\% \text{ de argila} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

CTC \geq 27 cmol_c/kg de argila – alta atividade (Ta);

CTC < 27 cmol_c/kg de argila – baixa atividade (Tb).

A atividade dos solos está praticamente concentrada em suas frações mais finas, especialmente na fração argila (diâmetro < 0,0002mm), por serem elas as que apresentam as condições físico-químicas mais adequadas para que ocorram os fenômenos de retenção de cátions e ânions.

As partículas de argila adquirem carga negativa, devido às substituições isomórficas com elementos de valências diferentes e a quebra da continuidade das estruturas. Para balancear essas cargas negativas, as partículas de argila atraem íons carregados, positivamente, advindos de sais dissolvidos na água existente no solo.

Determina-se a quantidade de íons positivos necessários para neutralizar as cargas negativas de determinada quantidade de material a pH 7,0.

Os íons da solução adjacentes à superfície da partícula neutralizam os íons de carga negativa ou positiva que estejam em excesso dentro do cristal dos minerais de argila.

Os fatores determinantes na CTC são: a constituição mineralógica, o conteúdo de matéria orgânica e o pH do meio.

Tem grande importância nos minerais de argila do tipo 2:1. As esmectitas (2:1) possuem elevada carga líquida negativa; as caulinitas (1:1) baixa carga líquida negativa e os solos argilosos, muito intemperizados, ricos em óxidos de ferro e de alumínio, carga líquida positiva.

A fração argila e outras frações como o silte, em menor quantidade, podem apresentar cargas negativas e positivas, geralmente, os solos, possuem maior número de cargas negativas. Essas cargas, que estão na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica, são capazes de adsorver íons com cargas opostas; Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , etc. Esses cátions adsorvidos podem ser substituídos.

A idade do solo está relacionada à magnitude de cargas, assim quanto maior a idade do solo, maior a magnitude das cargas positivas e menor a das cargas negativas, razão pela qual, latossolos possuem maior quantidade de cargas positivas.

- **Permeabilidade**

O dicionário define que permeabilidade é “a qualidade do que é permeável”. E permeável é “o que pode ser repassado ou transpassado; diz-se do terreno que absorve facilmente as águas”. Sabe-se, entretanto, que todos os solos, por serem meios porosos, são permeáveis, uns mais, outros menos. E a determinação dessa velocidade de percolação é importante de ser determinada, pois ela é importante para diversos fatores, entre eles podemos citar: a verificação da eficiência de barreiras de contaminantes, cálculo do balanço hídrico e da quantidade de água necessária para irrigação e para o estudo de inúmeros problemas geotécnicos como, por exemplo, a localização de aterros, pois a permeabilidade influencia na percolação de líquidos provenientes do aterro, e funciona como uma barreira, determinando quanto de percolados passará através dela, podendo contaminar ou não as águas subterrâneas.

Carvalho (1997), diz que o solo permite que a água percole através dos seus vazios os quais, por estarem conectados, formam um “espaço contínuo”, este espaço permite o fluxo de um ponto de maior energia para um de menor energia e essa propriedade dos solos é denominada de permeabilidade. O fluxo depende do tipo de solo, forma e tamanho das partículas e da temperatura da água.

Permeabilidade é a propriedade do solo de permitir o escoamento através de seus vazios e o grau de permeabilidade é expresso pelo coeficiente de permeabilidade (CAPUTO, 1994).

A composição mineralógica, o tamanho e a distribuição das partículas do solo, os vazios do solo e as características dos fluidos percolantes são fatores que influenciam a condutividade hidráulica do solo, ou permeabilidade. Outro fator importante de influência na velocidade de percolação dos fluidos no solo é a presença de matéria orgânica, a qual pode diminuir a permeabilidade do solo quando encontrada em quantidades menores e totalmente decomposta, ou pode aumentar a permeabilidade quando encontrada em grande quantidade no solo e pouco decomposta.

Na Tabela 04, podemos ver alguns exemplos de classes de permeabilidade de acordo com as características dos solos.

Tabela 04. Classes de permeabilidade segundo o Serviço de conservação de solos dos Estados Unidos e características dos solos adaptadas para nossas condições.
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2005.

Classe	Fluxo (cm/h)	Características do solo
Moderada	1,5 – 5,0	Solos argilosos, porosos. CTC baixa.
Moderadamente rápida	5,0 – 15,0	Latossolos e Argissolos. Solos com textura média (> 20% de argila).
Rápida	15,0 – 50,0	Latossolos, Cambissolos e Argissolos. Solos com textura média (< 20% de argila), arenosos (areia fina).
Muito rápida	> 50,0	Latossolos e Neossolos flúvicos. Solos arenosos (areia grossa), cascalhentos. Neossolos flúvicos.

- **Horizonte diagnóstico**

Oliveira (2005), define horizonte diagnóstico como: “Seção do solo que apresenta determinados atributos selecionados cuja amplitude de manifestação é determinada arbitrariamente, havendo, por isso, sensíveis diferenças de critério entre os vários sistemas de classificação existentes”.

Devido à ação antrópica ser menos acentuada em profundidade do que na superfície do terreno, é utilizada, preferencialmente, em alto nível hierárquico, os horizontes diagnósticos de subsuperfície, que são: B textural, B latossólico, B incipiente, B espódico, B plânico, B nítico, plíntico, litoplíntico, petroplíntico, glei, E alábico, cálcico, petrocálcico, sulfúrico, vértico, fragipã e duripã.

Abaixo, serão definidos simplificadaamente alguns desses horizontes diagnósticos, que aparecem na classificação pedológica do município de Campos dos Goytacazes, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

- **Horizonte B:** horizonte subjacente ao horizonte A, E, ou H, comparativamente bastante afetado por transformações pedogenéticas, onde resta pouco ou nada da rocha original e, mesmo que remanescentes sejam evidentes, prevalece à expressão de alteração do material parental com conseqüente neoformação de argilas silicatadas e produção de óxidos; desenvolvimento de novas cores; formação de estrutura em conjugação ou não com acumulação iluvial de argila silicatada, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de alumínio e ferro, matéria orgânica, de per si ou em combinações. Podem ser classificados em:

- **B Textural (Bt):** horizonte mineral subsuperficial com textura franco-arenosa ou mais fina (mais de 15% de argila), onde houve incremento de argila (fração < 0,002mm), orientada ou não, desde que não exclusivamente por descontinuidade, resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação, e/ou formação in situ e/ou herdada do material de origem, e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica, e/ou destruição de argila no horizonte A, e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B é maior do que o do horizonte A e pode ou não ser maior do que o do horizonte C.

Tem como principal característica a diferença textural com o horizonte suprajacente, A ou E.

- **B Incipiente (Bi):** horizonte subsuperficial que sofreu alteração química e física em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura, e no qual mais da metade do volume de todos os seus sub-horizontes não deve consistir de material com estrutura da rocha original preservada. Possui CTC igual ou maior que 17 $\text{cmol}_c(+)/\text{kg}$ de argila, ou seja, em geral, apresenta CTC relativamente elevada. De maneira geral, predominam as texturas média e argilosa, sendo a muito argilosa pouco comum. Não apresenta acréscimo significativo de argila em relação ao horizonte A que lhe antecede.

- **B espódico:** horizonte subsuperficial que apresenta acumulação iluvial de matéria orgânica e compostos de alumínio, com presença ou não de ferro iluvial. Horizonte iluvial resultante de processos pedogenéticos, entre os quais é predominante o de podzolização. Na maioria das vezes, desenvolve-se sobre material bastante arenoso e muito pobre quimicamente. Sua textura é predominantemente grosseira, sendo a arenosa muito mais freqüente que a média. Ocorrem predominantemente na região litorânea. Horizonte, e conseqüentemente

solos formados por ele, são pobres quimicamente, ácidos e com baixíssimos teores de bases trocáveis. Apresentam elevada condutividade hidráulica e baixa capacidade de retenção de umidade.

A conjugação de elevada permeabilidade, de lençol freático a pouca profundidade e baixíssima capacidade de adsorção exclui seu uso para aterros.

- **B latossólico (Bw)**: horizonte subsuperficial situado imediatamente abaixo de qualquer horizonte A e que não apresenta características diagnósticas de horizonte glei, B textural, B nítrico e plíntico. Possui textura franco-arenosa ou mais fina e CTC menor que 17 $\text{cmol}_c(+)/\text{kg}$ de argila. Material com avançado estágio de intemperismo. A porosidade total e a adequada quantidade de macroporos determinam boas condições de permeabilidade neste horizonte.

Apresenta espessa zona de aeração, o que qualifica os solos onde ele ocorre como adequados para aterro.

- **Outros Horizontes**

- **Horizonte Glei**: horizonte mineral subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15cm ou mais, com qualquer classe textural. Formado em ambiente palustre (solo se mantém em condições de umidade excessiva, por período prolongado e sem renovação da água). Decorrente essencialmente da presença de lençol freático.

São inadequadas para aterros, pois o lençol freático, situado a pouca profundidade, está muito sujeito à contaminação e a inundações.

- **Horizonte A proeminente**: devido a sua cor escura, se destaca do horizonte que lhe segue. Possui saturação por bases inferior a 65%, em geral, pouco providos de bases trocáveis (distróficos).

- **Horizonte A húmico**: horizonte superficial de cor escura e saturação por bases inferior a 65%. Maior capacidade de troca catiônica se comparado ao A proeminente, resultante do teor mais elevado de matéria orgânica. Apresenta em geral boa permeabilidade.

4.7. Critérios para a seleção de áreas destinadas à disposição de RSU

Para escolha de áreas para implantação de aterros para disposição de resíduos sólidos devemos tomar determinados cuidados essenciais. Segundo LEE e JONES-LEE (1998), em aterros de resíduos sólidos convencionais (cuja restrição à entrada de umidade é a cobertura), a produção de percolado (mistura de líquido proveniente

da degradação da matéria orgânica - chorume com a chuva) pode durar mil anos ou mais.

Assim, os aterros devem se localizar em áreas onde existam fatores naturais favoráveis, para que no caso de falha ou desgaste do sistema de proteção, possam atenuar os efeitos nocivos ao meio ambiente (PFEIFFER, 2001).

Segundo Mandelli (1991), a escolha da área deve ser precedida por um rigoroso estudo do meio físico, em geral, devido à falta de áreas adequadas próximas às áreas urbanas e a falta de habilidade dos que participam do processo de seleção, essa etapa pode ser a mais complexa na implantação de um aterro, exigindo atenção especial.

Leite (1995), comenta que áreas de disposição, em aterros sanitários, irão depender de vários fatores analisados e que interferem na sua escolha. Discute ainda que os mapas (topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos) e dados (fotografias aéreas, análise de campo, perfis de sondagem, e levantamento de poços) obtidos devem ser criteriosamente analisados.

Conforme descrito por IPT/CEMPRE (2000), uma área adequada à destinação de resíduos sólidos urbanos não é somente àquela que oferece menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública, mas, significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro.

De acordo com Pfeiffer (2001), o processo de seleção de áreas constitui uma das fases mais importantes e tem por objetivo identificar e agrupar os elementos de avaliação. A abordagem multicritério considera que a observação de diversos elementos de avaliação influencia no processo de tomada de decisão, mas, é preciso identificar quais são os elementos fundamentais envolvidos que permitem a tomada de decisão.

Já a norma NBR 13.896/1997, que trata dos critérios para projeto de aterros de resíduos não perigosos - implantação e operação, estabelece as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, e determina que na avaliação das áreas para esse tipo de empreendimento, as seguintes considerações devem ser feitas:

- **Topografia:** fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. São recomendados locais com declividades entre 1% e 30%;

- **Geologia e tipos de solos existentes:** são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficientes de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;
- **Recursos hídricos:** deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água;
- **Vegetação:** o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;
- **Acessos:** fator importante em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda sua operação;
- **Tamanho disponível e vida útil:** são fatores inter-relacionados. Recomenda-se uma vida útil mínima de 10 anos;
- **Custos:** variam conforme o tamanho do aterro e o método construtivo. É necessária a elaboração de um cronograma físico-financeiro para que a análise de viabilidade financeira seja possível;
- **Distância mínima a núcleos populacionais:** deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.

A citada norma estabelece, ainda, os critérios que obrigatoriamente devem ser observados:

- O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, com períodos de recorrência inferiores há 100 anos;
- Existência de uma camada natural de espessura mínima de 1,50m de solo insaturado entre a superfície inferior do aterro e o nível máximo do lençol freático, medido durante o período de maior precipitação pluviométrica da região;
- O aterro deve ser executado em locais onde haja predominância, no subsolo, de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-5} cm/s;

- Os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

O anexo I mostra alguns autores e os critérios utilizados por eles para localização de áreas para disposição de resíduos sólidos.

4.8. Metodologias para avaliação e seleção de áreas

4.8.1. Introdução

Antigamente, para escolha de locais para disposição de resíduos, considerava-se o subsolo de alta permeabilidade (arenito ou solos porosos) como ideal, pois se acreditava que a água do lençol freático iria diluir e dispersar ou atenuar o chorume. Estima-se, que devido a esse fato, 75% dos depósitos de lixo dos EUA provocaram poluição do lençol freático (BOSCOV, citado por Lima, 1999), pois a maioria dessas áreas se localizava em regiões de recarga de aquíferos provenientes de águas pluviais (Mc BEAN *et al.*, 1995).

Os depósitos de resíduos evoluíram para aterros, pois eram identificados problemas e precisavam propor soluções para os mesmos, então, por exemplo: fumaças e odores – levaram a parada de queimadas nos locais dos aterros; insetos, roedores e estética – conduziram para o uso de cobertura de solo diariamente; aumento de volume – passou-se a utilizar a compactação dos resíduos; poluição das águas e do ar – levou as operações de camadas impermeáveis e sistema de coleta de chorume e gás (Mc BEAN *et al.*, 1995).

O resultado dessa mudança é a evolução na prática de disposição final de resíduos sólidos e a preocupação cada vez maior com o meio ambiente e com a saúde pública.

Apesar dessa evolução na instalação de aterros e da consciência da população da necessidade de implantação de aterros de resíduos, ainda existe preconceito quanto à localização das áreas de disposição próximas de residências ou de áreas comerciais, pois os vizinhos de aterros sofrem com os ruídos, poeira, odores e presença de pássaros. Esta oposição se dá não somente pela localização, mas também se refere a segurança no tráfego de veículos, na cobertura do lixo e na contaminação das águas subterrâneas. À priori, os governantes precisam saber que devido ao exposto anteriormente, local ideal não existe (MELO, 2001).

4.8.2. Principais metodologias para avaliação e seleção de áreas

Metodologia – conjunto de conceitos, postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigações e computacionais utilizados para desenvolver um estudo e que deve estar relacionado às condições sócio-econômicas vigentes, às características dos técnicos da região ou país e à densidade de informações existentes (ZUQUETTE, 1993).

Segundo Mc Bean *et al.* (1995), a metodologia para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários busca áreas mais favoráveis e, o estudo, deve ser capaz de ordenar e aplicar os fatores de seleção de área de maneira lógica e defensiva.

Existem diversas propostas metodológicas que estabelecem critérios e procedimentos buscando sistematizar o processo de seleção de áreas e algumas delas serão expostas a seguir.

4.8.2.1. Mc BEAN *et al.*

Mc Bean *et al.* (1995), apresentam várias metodologias para análise e seleção de áreas para implantação de aterros. O método a ser usado depende da situação da área e dos dados disponíveis. Dentre os métodos destacam-se: método do fim específico (Ad Hoc method), método da lista de conferência (Checklist method), método econômico, método cartográfico, método da comparação conjunta (Pairwise comparison method) e método da matriz.

O método Ad Hoc baseia-se em julgamento profissional e na descrição dos impactos, sem explicitar o critério adotado. Utiliza-se de especialistas em diversas áreas para a tomada de decisão.

O método Checklist compara alternativas em um conjunto de critério sem regras de compensação. Os resultados são respostas simples sim/não.

No método econômico, representam-se todos os aspectos econômicos em termos monetários.

O método cartográfico compara e avalia alternativas com a utilização de mapas, é utilizado nas fases de identificação de locais.

No método Pairwise comparison, compara-se às alternativas duas a duas com o objetivo de ordenamento de preferências.

O método da matriz compara e avalia os critério e alternativas através de uma matriz. Extensão do método Ad Hoc.

4.8.2.2. LIMA

Lima (1999) propõe uma metodologia de avaliação e hierarquização de um universo pré-definido de objetos. De aplicação universal e baseia-se em conceitos da “análise do valor – AV”, que é orientada para análise e solução de problemas e da “lógica fuzzy – LF”, extensão da lógica convencional booleana onde cada atributo é relacionado a um termo lingüístico, dentro de um conjunto referencial (escala de peso) e são associados a uma função de pertinência.

Apresenta três fases:

- 1 – Fase Preparatória: identifica o objeto a ser estudado (Implantação de um aterro). O objetivo a ser atendido (Disposição adequada dos RSU). Interessados (População, governo, o responsável pela operação);
- 2 – Fase Informativa ou analítica: identificação, descrição, custo e análise das funções do objetivo estudado. As funções podem ser básicas ou principais e secundárias ou auxiliares. No nosso caso, a função básica é a de assegurar salubridade e minimizar impactos;
- 3 – Fase conclusiva: escolha, implantação e acompanhamento do projeto.

4.8.2.3. CONSONI *et al*

Consoni *et al* (1995), sugerem uma integração de vários fatores, buscando o equilíbrio. Parte-se de um estudo geral, identificando várias áreas aptas, sendo priorizada as mais promissoras para detalhar.

A ponderação de diversos dados considerados e a análise integrada destes, permite a identificação das zonas mais favoráveis, que através de vistoria de campo passarão a candidatas à instalação do aterro.

O processo subdivide-se em três etapas:

- 1 – Levantamento de dados gerais: toma-se às informações existentes na prefeitura e em outros órgãos;
- 2 – Pré-seleção de áreas: através de estudos do meio físico e sócio econômico, são pré-selecionadas áreas aptas para a instalação do aterro. Devem-se analisar prioritariamente as áreas recomendadas pela prefeitura, e, se elas não forem aptas, busca-se outros locais;
- 3 – Estudos para a viabilização de áreas pré-selecionada: escolhem-se três áreas das pré-selecionadas para fazer um levantamento detalhado de caráter local, do meio físico, com investigações de superfície e de subsuperfície.

A análise e interpretação determinarão qual área é a mais indicada, considerando fatores ambientais, sociais e financeiros.

4.8.2.4. ANDRADE

Andrade (1999), apresenta uma metodologia computacional abrangendo aspectos relacionados aos SIG. Para o diagnóstico são consideradas as características do meio físico, social, econômico, a legislação ambiental brasileira e normas técnicas.

Na fase de produção cartográfica e definição dos critérios, Andrade (1999), utiliza mapas de uso do Solo, Modelo Digital de Elevação (MDE), declividade, vulnerabilidade geotécnica, lineamento estrutural, hidrogeológico, unidade de conservação, entre outros.

Emprega-se, então, a sobreposição topológica (computa a interseção geométrica de dois mapas que tenham feições poligonais e cria um novo, preservando as características e atributos dos originais) e reclassificação em todos os mapas, combinando-os de dois a dois, dando como resposta as categorias “apropriado” e “não apropriado”.

4.8.2.5. MASSUNARI *et al.*

Massunari *et al.* (2000), propõem procedimentos específicos para a pesquisa de áreas para a implantação de aterro sanitário e para hierarquização destas áreas contemplam aspectos técnicos, ambientais, econômicos e operacionais.

Na primeira fase, com o objetivo de identificar restrições existentes para a implantação do aterro, procede-se o levantamento e análise da legislação, projetos, áreas de proteção, áreas de preservação, etc, e procedem-se o mapeamento e delimitações dessas restrições.

Analisa-se, então, as áreas remanescentes, identificando as regiões mais favoráveis.

Os autores orientam que a partir dessas regiões mais favoráveis, efetue-se pesquisa de campo para localizar os sítios mais adequados e verificar possíveis interferências. Após a pesquisa de campo, procede-se a pré-seleção para identificar os locais que reúnam requisitos mínimos necessários, que serão submetidas ao processo de hierarquização, para a escolha de três alternativas.

Selecionam indicadores técnicos ambientais que recebem pontuações que variam de 1 a 10, em que quanto maior a pontuação mais favorável à área será.

Definem também a aplicação de um coeficiente de ponderação que varia de 1 a 5, onde o maior valor indica maior importância.

Com a soma da pontuação define-se a área, ou seja, a maior pontuação, será considerada apta.

4.8.2.6. KATAOKA

Kataoka (2000), apresenta uma metodologia baseada em preenchimento de planilhas para gerenciamento ambiental, onde se atribui pontuação (1, 2 ou 3) para cada item (3 indica estudos fundamentais; 1 e 2 importância secundária). Tem como objetivo uniformizar os critérios de análise dos EIA/RIMA e foi desenvolvida para avaliação de áreas para implantação de aterros industriais. Com uma comparação dos dados numa visão técnica, considerando o meio físico, biológico e sócio-econômico.

A resposta será dada pela pontuação total em três faixas de pontuação: “< 51 pontos – análise inadequada”; “51 a 80 pontos – análise regular” e “> 80 pontos – análise adequada”.

4.8.2.7. COELHO

A metodologia proposta por Coelho (2000), processa-se por fases, de uma escala regional (1:100.000 a 1:50.000) para uma escala local (1:25.000 a 1:10.000), de forma que se passa de uma grande área para pequenas áreas com maiores adequabilidades a locais aptos e que são avaliados de forma mais precisa.

A metodologia envolve três fases que dão origem a relatórios com objetivos diferentes: seleção preliminar (indica uma série de locais e sua classificação), seleção definitiva (indica no máximo três áreas escolhidas entre as anteriores e segue-se um estudo pormenor dos locais selecionados através de prospecção geofísica e mecânica e ensaios in situ) e demonstração da viabilidade do local escolhido (viabilidade financeira e condições geotécnicas e hidrogeológicas).

4.8.2.8. LEITE

Segundo Leite (1995), para que uma área seja utilizada para disposição de RSU, é necessário que se satisfaça às condições a seguir:

- Seja minimizado o risco de contaminação ambiental;
- Seja preservado ao máximo o equilíbrio ecológico da região;
- A comunidade esteja de acordo com a instalação do aterro;

- Satisfazer as exigências quanto ao uso e ocupação da terra;
- Ter a maior vida útil possível e que necessite o mínimo de obras para sua instalação;
- Não esteja localizada em áreas de recarga de aquíferos;

Outras informações que segundo o autor citado acima devem ser levadas em consideração:

- Informações Básicas – localização de poços tubulares, localização das fontes contaminantes e existência de aeroportos;
- Informações do meio físico – bacias hidrográficas, declividade, precipitação e evapotranspiração;
- Informações do substrato rochoso;
- Informações de materiais inconsolidados;
- Informações da geomorfologia;
- Informações da dinâmica da água – ocorrência, tipo e litologia do aquífero, áreas de recarga, profundidade do nível d'água, flutuações do nível d'água, direção e sentido do fluxo de água de superfície, características químicas;
- Informações das águas superficiais;
- Informações geotécnicas – alterabilidade dos materiais geológicos, ensaios de campo para determinação de índice de vazios, massa específica seca e massa específica dos sólidos, características de compactação, permeabilidade, compressibilidade, colapsibilidade, capacidade de retenção de contaminantes, capacidade de suporte, movimentos de massa e erodibilidade e potencial hidrogeniônico.

4.8.2.9. Outras propostas

Aller *et al.*, citado por Lima (1999), apresentam o método DRASTIC desenvolvido por US EPA (United States Environmental Protection Agency). Este método compara diferentes alternativas de locais com base na poluição de águas subterrâneas, através de informações de profundidade da água subterrânea, declividade, condutividade hidráulica do aquífero entre outras.

Cunha e Parzanese, citado por Lima (1999), propõem uma metodologia baseada em critérios fundamentados em dados bibliográficos e levantamentos de campos,

como: dados de uso e ocupação do solo, sociais e do meio físico. Classifica as áreas em adequada, possível ou inviável.

Galvez *et al.*, citado por Lima (1999), propõe uma metodologia que se baseia na função de utilidade de multi-atributos. Caracteriza cada área pré-selecionada a partir de um conjunto de objetivos. Não estabelece a importância relativa entre objetivos.

Zuquette *et al.*, citado por Lima (1999), propõem uma metodologia que considera 32 atributos que são associados à escolha de áreas para disposição de aterros de RSU. Classifica os atributos em favorável, moderado, severo ou restritivo.

Valentini, citado por Lima (1999), propõe um sistema multicritério que possui uma matriz com categorias ambientais organizadas por prioridades e indicadores de impacto classificados de acordo com a severidade. O desenvolvimento resulta num valor, cujo maior será o local mais impactante, ou seja, menos apropriado.

Vale ressaltar, que todas as metodologias, indicam áreas favoráveis, mas em nenhuma existe um local ideal, e sim áreas adequadas e inadequadas, e através de análises em uma escala maior podemos chegar a áreas potencialmente mais adequadas.

4.9. SIG

O SIG é uma forma particular de Sistema de Informação aplicado a dados geográficos. É uma ferramenta que possibilita armazenar, recuperar, manipular, analisar e manejar dados espaciais georeferenciados, para gerenciamento de uso do solo, de recursos hídricos, de ecossistemas aquáticos e terrestres, ou de qualquer dado espacialmente distribuído, com o objetivo de auxiliar nas tomadas de decisões (CALIJURI e LORENTZ, 2003).

O surgimento dos SIG permitiu a interligação de diversas ciências e tecnologias e modificou completamente a forma de análise, monitoramento e gerenciamento de recursos naturais (ALVES, 2000).

A utilização de um SIG possibilita a análise integrada de um conjunto de dados, proporcionando vantagens do ponto de vista qualitativo e quantitativo.

Segundo Burrough (1993), a principal característica de um SIG é a capacidade de transformar e combinar dados espaciais e não espaciais gerando respostas a necessidades do planejamento.

Para maiores aprofundamentos consultar: Burrough (1993), que fala sobre entrada e estrutura de dados; Aronoff (1989) que conceitua análise dos dados e modelagem espacial.

4.9.1. Análise Multicritério

Na análise multicritério trabalha-se com estratégia de decisão que combina critérios úteis, objetivando proceder a uma determinada avaliação escolhendo entre as possíveis alternativas.

As decisões são tomadas com base em critérios, que são variáveis possíveis de serem medidas e avaliadas. Os critérios podem ser: fatores e restrições. Um fator é um critério que realça ou diminui a adequabilidade de uma alternativa específica, para uma atividade ou objetivo. As restrições são limitadores das alternativas em consideração.

O procedimento e a forma para a escolha dos critérios e a metodologia para combiná-los são denominados regras de decisão, que são os procedimentos para combinar graus de adequabilidade de múltiplos critérios para determinado objetivo (EASTMAN, 1997).

Uma questão fundamental está em estabelecer como determinado atributo interfere no processo, definindo um critério pelo qual ele limitará a resolução do problema. Esse conjunto com características bem definidas é chamado de conjunto fuzzy, isto é, a transição entre membros ou não membros de uma localização. Essa pertinência se dá por uma transição gradual variando de 0 a 255, indicando um aumento contínuo de não membro a membro completo. Ao contrário da lógica booleana onde a condição de pertinência ou não pertinência é abrupta, havendo apenas duas possibilidades bem definidas, 0 ou 1 (CALIJURI e LORENTZ, 2003).

Segundo Eastman *et al.* (1995), na Lógica fuzzy multiplicam-se os mapas de adequabilidade referentes a cada fator por um peso específico e faz-se o somatório de todos esses fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Quando se utilizam mapas de restrições (booleanos), multiplica-se a adequabilidade calculada por meio da combinação de fatores pelo produto das restrições.

Eastman (1997), afirma que a imprecisão está associada à praticamente todos os processos de tomadas de decisões e estas podem ter origem nos dados e nas incertezas das regras de decisão. Incertezas incluem qualquer erro, ambigüidades ou variações na base de dados e nas regras de decisão.

Será utilizado o conceito fuzzy para dar a todas as localizações um valor que represente seu grau de adequabilidade. As restrições manterão um caráter booleano rígido. O método utilizado foi a Combinação Linear Ponderada – WLC (Weighted

Linear Combination), que permite a compensação entre os fatores, isto é, nem aversão extrema ao risco nem risco extremo (CALIJURI e LORENTZ, 2003).

4.9.1.1. Critérios (Fatores e Restrições)

Os critérios podem ser restrições ou fatores e servem de normas para decidir onde serão os melhores locais para a localização do aterro.

As restrições são rígidas e utilizam a lógica booleana (método baseado na lógica binária – base matemática dos SIG convencionais), limitam a análise a regiões geográficas específicas, pois diferenciam áreas aptas de não aptas. Os fatores são critérios que identificam algum grau de aptidão para todas as regiões geográficas (CALIJURI, 2000).

A seleção de áreas implica em uma decisão entre várias alternativas possíveis baseadas nos critérios e as restrições diferenciam opções de áreas aptas ou não aptas para destinação dos resíduos sólidos, enquanto que os fatores definem áreas em termos de uma medida contínua de aptidão.

A regra de decisão é o procedimento de combinação dos critérios (restrições e fatores) com o objetivo de determinar a avaliação.

4.9.1.2. Padronização dos critérios

É um processo de conversão dos valores dos dados originais a fim de compatibilizá-los entre si, ou seja, padronizá-los para uma mesma escala de valores.

Conforme Eastman (1997), na maioria dos processos de padronização utiliza-se os valores máximo e mínimo para definição da escala, a forma mais simples é uma variação linear definida da seguinte forma:

$$X_i = \frac{(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} * (\text{Intervalo Normalizado}) \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

R_i = valor a ser normalizado;

R_{\min} = valor mínimo;

R_{\max} = valor máximo.

O processo de normalização é, idêntico ao processo introduzido pela Lógica Fuzzy, onde um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável.

Segundo Zadeh (1965), “a teoria do conjunto fuzzy é, em suma, o passo seguinte de aproximação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real”.

Nos SIG esta lógica pode ser implementada através de rotinas computacionais chamadas de objetos fuzzy, alguns sistemas já possuem módulos fuzzy, entre eles o GIS Idrisi32, 132.2, utilizados neste trabalho.

Assim como Ribeiro (1996), quando estamos aplicando modelos fuzzy a análises ambientais, as seguintes regras devem ser observadas:

- Alternativas: conjunto de atributos, produtos ou ações que ajudem na elaboração de estratégias para determinada tarefa;
- Atributos: conjunto de características que compõem as alternativas;
- Objetivos: os atributos selecionados devem ser classificados de acordo com os objetivos principais;
- Preferências: relativa importância de cada atributo dentro dos objetivos de acordo com um grau de importância.

No âmbito da Geotecnia Ambiental a lógica fuzzy tem sido empregada para diversas finalidades, entre elas, a escolha de áreas para implantação de aterros, e tem-se observado que a lógica booleana apresenta uma falha de 35% quando comparada às análises realizadas utilizando lógica fuzzy (CHARNPRATHEEP e GANER, 1996).

Para a normalização dos critérios várias funções fuzzy podem ser utilizadas, entre elas, as mais utilizadas são: Sigmoidal, J-Shaped, Linear e Definida pelo usuário (ZADEH, 1965; EASTMAN, 1997; CALIJURI, 2000; RAMOS e MENDES, 2001). Algumas dessas funções são mostradas na Figuras 03 abaixo.

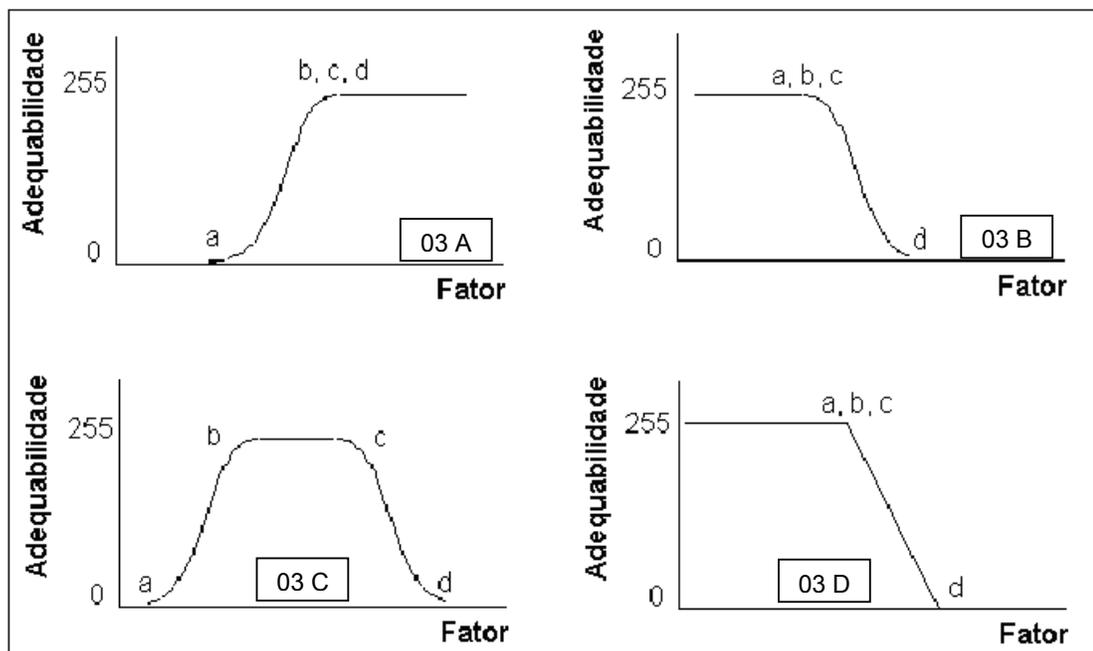


Figura 03. Funções de pertinência dos conjuntos fuzzy: Sigmoidal crescente (03 A), Sigmoidal decrescente (03 B), Sigmoidal crescente-decrescente (03 C) e Linear decrescente (03 D).

A função mais usada na teoria dos conjuntos fuzzy é a sigmoidal e é descrita por uma função cosseno. Requer as posições, ao longo do eixo X, de quatro pontos que indiquem a forma da curva. Os pontos **a**, **b**, **c** e **d** (mostrados nos gráficos da Figura 03) representam os pontos de controle da curva.

As funções definidas pelo usuário são utilizadas quando a função fuzzy não se relaciona com nenhuma função das citadas anteriormente, tem-se então, uma função linearmente interpolada entre dois pontos de controle.

Nesta etapa, utilizou-se do conceito de lógica fuzzy, no módulo fuzzy do Idrisi32, 132.2, dando a todas as localizações um valor representando seu grau de adequabilidade. As restrições mantiveram seu caráter booleano rígido. Os fatores foram padronizados de forma não booleana, onde foram padronizados numa escala contínua de adequabilidade byte de 0 (menos adequada) a 255 (mais adequada). A escala de [0-255] foi utilizada com o objetivo de melhor definição dos valores, quando comparada à escala de [0-1].

4.9.1.3. Avaliação de pesos para os critérios

Uma das grandes dificuldades encontradas num processo de decisão que envolve múltiplos critérios é a forma como se deve quantificar a importância relativa entre cada um deles. Assim, se faz necessário atribuir grau de importância relativa de cada critério no processo de decisão, o que é feito atribuindo-se pesos a cada um

deles. A correta atribuição dos pesos é importante para que sejam mantidas as preferências do decisor.

Esta análise tem suas limitações, que dependem do grau de certeza do especialista, pois o “ajuste” é humano, dependendo, portanto, de sua experiência (COSTA *et al.*, 2005).

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

Embora não se possa afirmar que exista um método consensual para a definição dos pesos, encontram-se na literatura várias propostas de procedimentos para este efeito (VOOGD, 1983; WINTERFELDT e EDWARDS, 1986; MALCZEWSKI, 1999). Alguns desses métodos são apresentados em RAMOS (2000), tais como: métodos baseados em ordenamentos de critérios; métodos baseados em escalas de pontos; métodos baseados em distribuição de pontos, método baseado na comparação de critérios par-a-par.

Os fatores foram comparados, em termos de sua importância relativa. Depois de todas as possíveis combinações entre os fatores, o módulo calcula um conjunto de pesos e uma razão de consistência. A razão indica qualquer inconsistência que tenha ocorrido durante o processo de comparação.

Além dos fatores envolvidos na análise multicritério, pode-se incluir critérios booleanos, com limites abruptos de restrição, que também contribuem para a redução do risco (COSTA *et al.*, 2005).

O módulo WEIGHT permite ajustes repetidos à comparação e relaciona os novos pesos e razão de consistência para cada interação.

Neste trabalho, foram desenvolvidas uma correlação e uma ponderação envolvendo rotinas de apoio à decisão em um SIG utilizando Idrisi32, e foi proposta uma relação de importância entre os fatores envolvidos no processo. Optou-se por trabalhar com o método baseado na comparação par-a-par, presente no algoritmo do programa utilizado nas análises. O módulo WEIGHT, do Idrisi32, que utiliza esta técnica de comparação de pares para desenvolver um conjunto de pesos cujo somatório é a unidade.

4.9.1.4. Combinação dos critérios

Existem diversos métodos de combinação de critérios, para uma descrição mais detalhada ver MALCZEWSKI (1999). Na seção seguinte apresentam-se os procedimentos que, no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial, objetivo geral do trabalho aqui proposto, é mais relevante: WLC – Weighted Linear Combination - Combinação Linear Ponderada.

Depois de normalizados os critérios de acordo com um intervalo fixado, no nosso caso [0-255] estes podem ser agrupados de acordo com a regra de decisão.

Identificando-se a relação de importância entre os fatores, procedeu-se à agregação, utilizando-se o módulo MCE-WLC de apoio à tomada de decisão do idrisi32, 132.2. O resultado do procedimento acima descrito resultará em uma imagem de adequabilidade caracterizada pelos critérios apresentados e, principalmente pela técnica de agregação utilizada.

A) Combinação Linear Ponderada - WLC

Para obtenção dos mapas finais de adequabilidade, os valores de adequabilidade de cada fator foram combinados pelo procedimento linear ponderado. Neste procedimento multiplicam-se os mapas de adequabilidade referentes a cada fator por um peso específico e em seguida faz-se o somatório de todos estes fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Como se utilizou mapas de restrições, ou seja, mapas booleanos, juntamente com mapas de fatores, o procedimento foi modificado multiplicando-se a adequabilidade calculada por meio da combinação dos fatores pelo produto das restrições (EASTMAN *et al.*, 1995).

O procedimento WLC (VOOGD, 1983) combina os fatores através de uma média ponderada, dada pela equação:

$$S = \sum_i W_i * X_i \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

S = valor final;

W_i = peso do fator i ;

X_i = valor normalizado para o mesmo fator.

Sendo que o somatório dos pesos é igual à unidade, o valor final vem calculado na mesma escala dos valores normalizados.

A técnica de agregação WLC permite a compensação total entre os fatores através da aplicação de pesos ponderados, também chamados de pesos dos fatores. O risco assumido na análise é médio, exatamente entre o AND (mínimo) e o OR (máximo) da Análise Booleana. Com o WLC, os fatores são combinados aplicando um peso para cada um deles, seguido pela adição dos resultados para produzir um mapa final de adequabilidade. Sua mais importante característica é o fato de permitir a compensação entre fatores (trade-off), o que significa que uma baixa adequabilidade em um dado fator pode ser compensada por um conjunto de boas adequabilidades de outros.

Nos casos em que além de fatores têm-se também restrições, o processo pode ser alterado multiplicando o valor calculado com base nos fatores pelo produto das restrições:

$$S = \sum_i W_i * X_i * \prod_j c_j \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

C_j = é o valor 0/1 da restrição j.

A Figura 04 mostra o espectro de decisão onde o WLC está exatamente no risco médio.

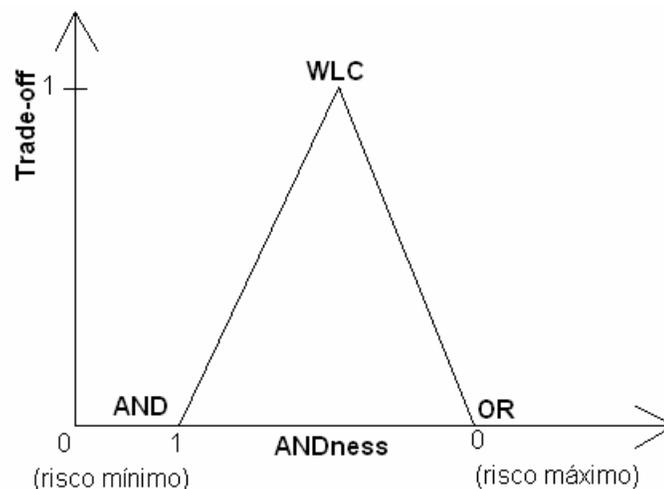


Figura 04. Espaço estratégico de decisão.

B) Implementação da Avaliação Multicritério em ambiente SIG

Os SIG são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georeferenciada. Nele é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática e apresentando os resultados em cartas ou tabelas.

A análise multicritério pode ser implementada em um SIG através da sobreposição booleana, no qual todos os critérios são classificados de forma binária e então combinados por meio de operadores lógicos ou através da combinação de critérios contínuos (fatores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias ponderadas. Por razões de facilidade, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações de SIG vetoriais, enquanto que a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG raster (RAMOS e MENDES, 2001). Esses procedimentos ampliam a potencialidade das análises espaciais quando comparado às análises booleanas, uma vez que permitem inserir a variável risco e compensação entre os fatores.

Neste trabalho optou-se por um SIG raster no qual as restrições são processadas através de operações booleanas e os fatores são processados por operadores matemáticos, recorrendo à álgebra de mapas.

Como resultado será gerada uma imagem onde cada pixel tem uma aptidão para a localização do aterro, o qual é submetido a uma análise multicritério que determina a sua adequabilidade final.

C) Estrutura do modelo de análise multicritério

O modelo é estruturado por níveis hierárquicos de análise. Estes grupos são processados de acordo com as etapas: padronização (ou normalização) dos fatores, comparação par-a-par (ou identificação de pesos) e combinação (WLC). A Figura 05 ilustra o procedimento.

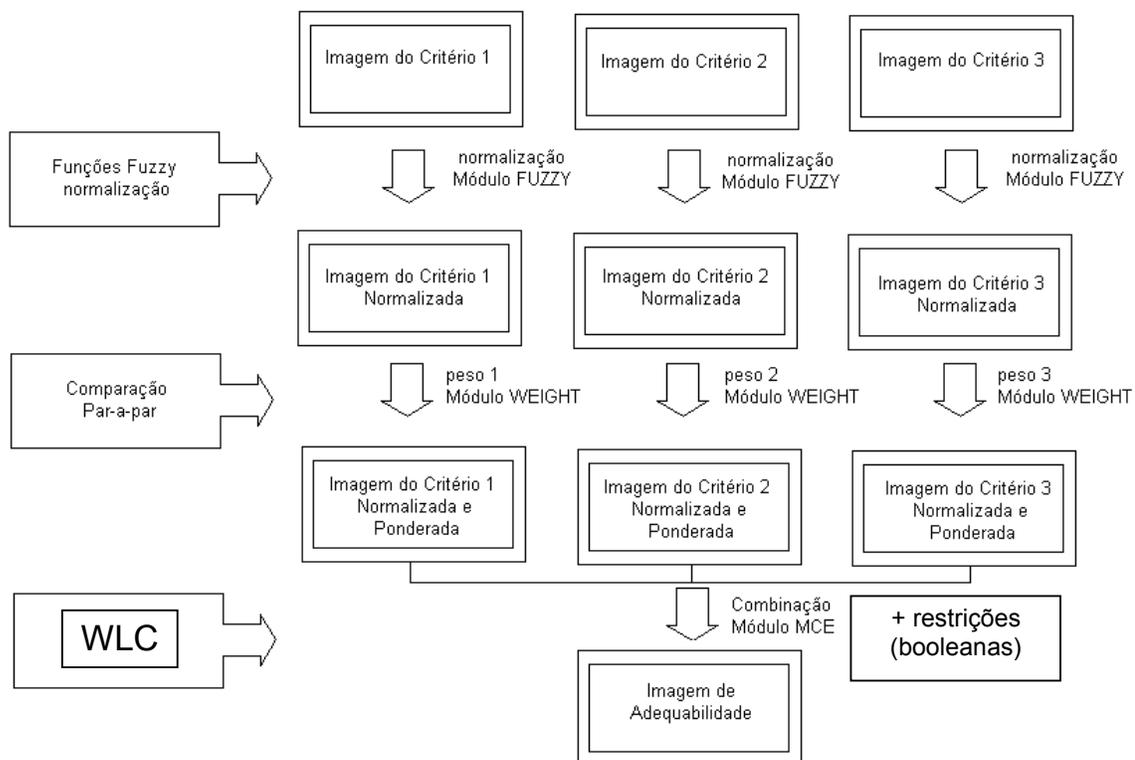


Figura 05. Modelo de análise multicritério.
Fonte: Adaptado de MELO, 2001.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. Localização e Acesso

O município de Campos dos Goytacazes (Figura 06) está localizado na região Norte Fluminense/Baixada litorânea, aproximadamente a 286 km da capital estadual, com uma área de 4.031,91km², sendo o maior município do estado e possuindo uma população de 426.154 (quatrocentos e vinte e seis mil e cento e cinquenta e quatro) habitantes (estimativa IBGE, 2007), tendo densidade demográfica de 106,6hab/km².

A sede apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 21° 45' 14" de latitude Sul e 41° 19' 26" de longitude Oeste.

O principal acesso à cidade é através da BR-101, que liga Vitória/ES ao Rio de Janeiro/RJ, possuindo ainda outros acessos como a BR-356 que liga a cidade a Minas Gerais e a São João da Barra e a RJ-216, na direção do litoral, que é fundamental ao apoio das atividades de exploração de petróleo na plataforma continental.

Os principais acidentes geográficos que condicionam a ocupação urbana são o Rio Paraíba do Sul, que secciona a cidade, e a Lagoa do Vigário, em torno da qual foram implantados inúmeros loteamentos. A passagem do Rio Paraíba pela estrutura urbana interrompe a continuidade da malha viária, que se transforma em dois conjuntos ligados por pontes.

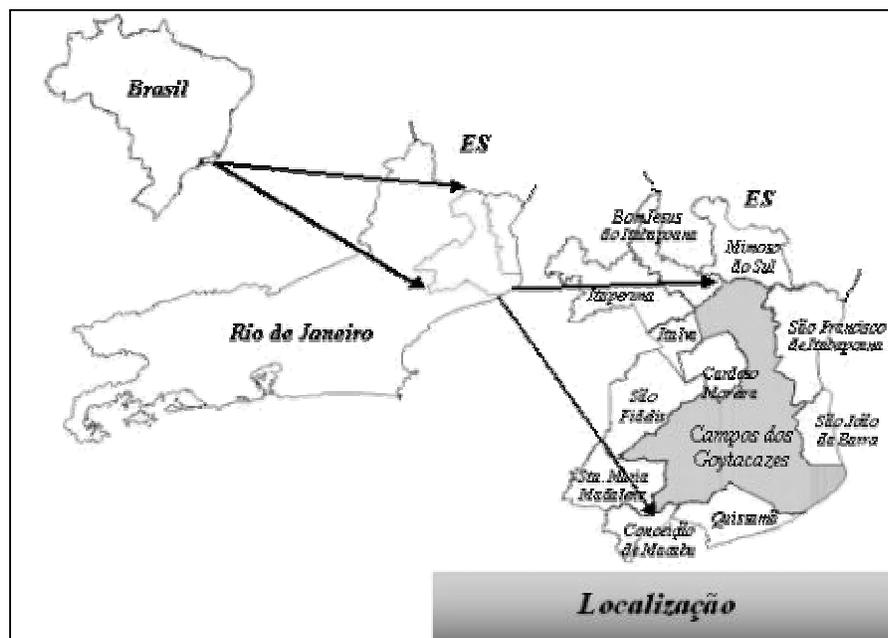


Figura 06. Localização do município de Campos dos Goytacazes.

Fonte: Modificado de CORIDOLA, 2006.

Fazem limites com a cidade os seguintes municípios: São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Quissamã, Conceição de Macabu, Santa Maria Madalena, São Fidélis, Cardoso Moreira, Italva, Bom Jesus do Itabapoana e Mimoso do Sul (ES).

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

Segundo dados do SNIU, 2000, Campos dos Goytacazes tem 87,2% dos domicílios com coleta regular de lixo, outros 1,4% têm seu lixo jogado em terreno baldio ou logradouro, e 10,6% o queimam. O total de resíduos sólidos coletados somava 278 toneladas por dia, cujo destino era 12 vazadouros a céu aberto (lixões), 12 aterros controlados e 1 aterro de resíduos especiais.

5.2. Aspectos a serem analisados

5.2.1. Pedologia

A região em estudo conta com o mapa pedológico na escala de 1:650.000 como parte dos trabalhos de Costa (2005) que foi modificado de CPRM/RJ, 2001.

Costa (2005), utilizou o levantamento de solos realizado pela EMBRAPA SOLO, partindo do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro produzido pelo Projeto Rio de Janeiro (CPRM/RJ, 2001), compilando as diferentes unidades pedológicas do Município, baseadas na classificação atual de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa, 1999.

A pedologia existente é constituída por Neossolo Litólico (antigo Solo Litólico), presentes nos locais de relevo mais elevado. Logo abaixo dos Litólicos, são encontrados os Argissolos Vermelho-Escuros (antigo Podzólico Vermelho-Escuro) e Cambissolos Álicos, que constituem em sua maioria, os solos de encostas. Nas regiões onduladas, de domínio colinoso, foram identificados o Argissolo Vermelho-Amarelo (antigo Podzólico Vermelho-Amarelo) e o Latossolo Vermelho-Amarelo. Já nas regiões planas e faixa litorânea, foram identificadas áreas de Gleissolo, Espodossolo (antigo Podzol), Organossolo (antigo Solo Orgânico), Neossolo Flúvico (antigo Solo Aluvial) e Cambissolo Eutrófico. Os Gleys compõem as regiões sujeitas a alagamentos e que apresentam maiores problemas a prática da Engenharia, devido à alta compressibilidade já na superfície do terreno. Os Organossolos também são muito mal drenados e ficam saturados com poucos dias de chuva. Por

fim, na área de tabuleiros da Formação Barreiras, foram identificadas áreas de Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo (Figura 07).

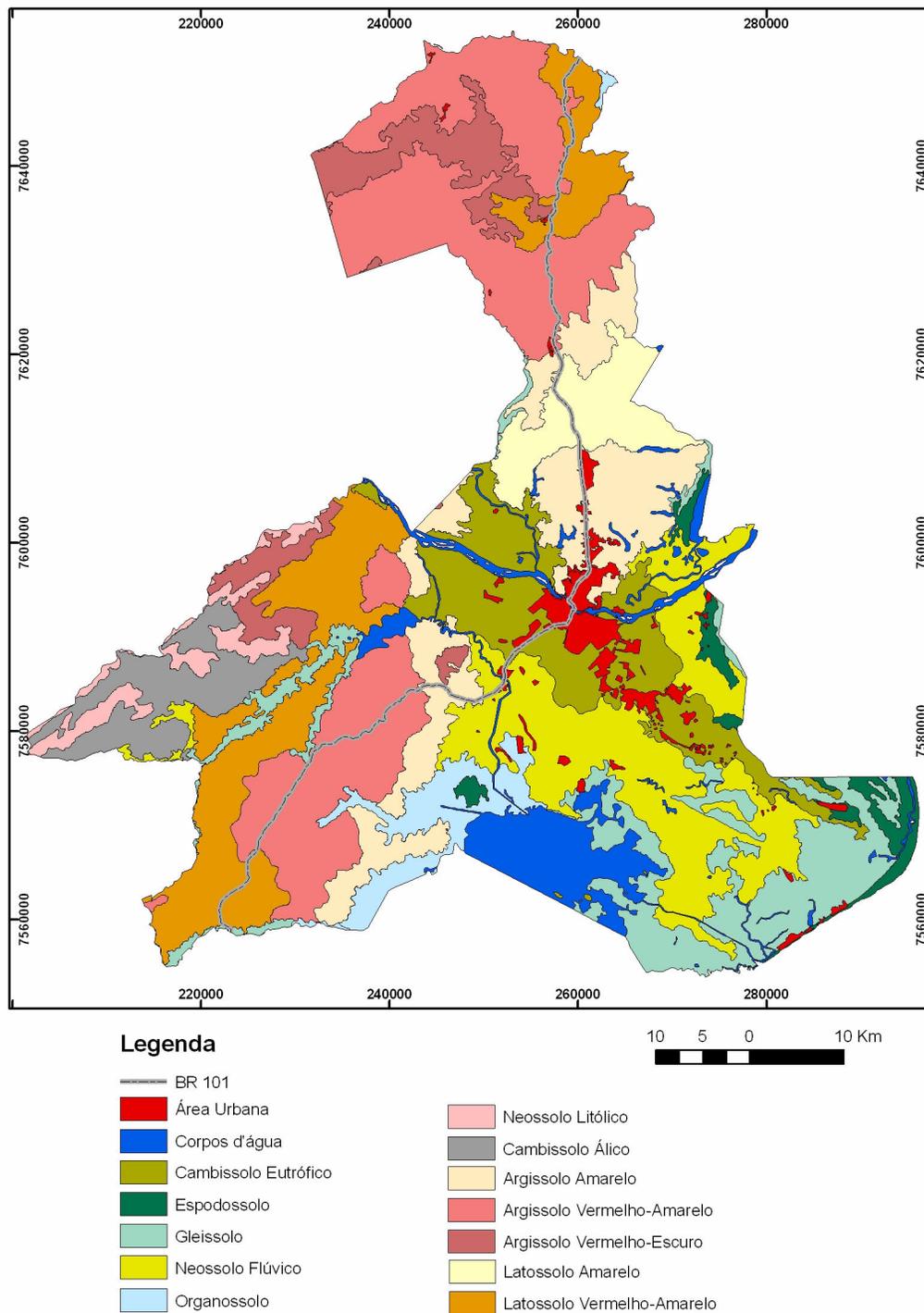


Figura 07. Mapa Pedológico.
Fonte: Adaptado de CPRM, 2001 por COSTA, 2005.

As principais classes de solos do município de Campos dos Goytacazes são definidas a seguir, em função das descrições morfológicas, análises físicas, químicas e mineralógicas de seus perfis representativos.

A) Argissolo

Compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural (Bt) de coloração que varia de vermelha a amarela e teores de Fe^{2+}O^3 inferiores a 150g/kg. São solos em geral profundos e bem drenados, com seqüência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, podendo o horizonte A ser de qualquer tipo, exceto chernozêmico, caso o horizonte Bt contenha argila de atividade alta (Ta), e húmico, quando além de Ta o solo seja álico. De um modo geral, os Argissolos diferenciam-se dos Latossolos por apresentarem alto gradiente textural, tendo, portanto, o horizonte A bem mais arenoso que o horizonte B, subjacente. São subdivididos em função de diferenças de cor e teor de ferro, conforme descrito a seguir para as classes de ocorrência mais expressiva no município de Campos dos Goytacazes: Argissolo Vermelho-Escuro, o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Argissolo Amarelo.

- **Argissolo Vermelho-Escuro:** essa classe compreende solos com horizonte B textural de coloração avermelhada. São os solos presentes nas áreas de relevo montanhoso e forte ondulado da região, correspondentes às serras e bordas de superfícies elevadas. Encontram-se em geral associados a Argissolos Vermelho-Amarelos. Apesar da boa fertilidade natural que apresentam, são muito pouco utilizados com agricultura, sendo o uso com pastagem generalizado;
- **Argissolo Vermelho-Amarelo:** os solos dessa classe distinguem-se dos Argissolos Vermelho-Escuros pela coloração mais amarelada do horizonte Bt. Apresentam grande expressão espacial na área, em relevo que varia de suave ondulado a montanhoso. É comum a presença de solos com características intermediárias com Latossolos, com os quais se encontram freqüentemente associados. São solos geralmente bem drenados, de textura média/argilosa ou média/muito argilosa;
- **Argissolo Amarelo:** essa classe é constituída por solos com horizonte B textural de coloração amarelada. São em geral profundos e bem drenados. Esses solos estão também relacionados aos sedimentos do Grupo Barreiras e congêneres. Em geral, ocorrem em relevo suave, com rampas longas e são por isso bastante utilizados com cana-de-açúcar e pastagens.

B) Latossolo

Sob essa denominação, estão compreendidos solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. São solos em avançado estágio de intemperização; muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. São normalmente muito profundos, de elevada permeabilidade e comumente bem acentuadamente drenados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bw-C, com reduzido incremento de argila em profundidade. Diferenciam-se em função das características de cor, teor de ferro e, em alguns casos, pelos valores do índice Ki do horizonte B.

- **Latossolo Amarelo:** compreende solos com horizonte B de cores brunadas e amareladas, em matiz 7,5YR ou mais amarelo, associadas a teores muito baixos de Fe_2O_3 , normalmente inferiores a 70g/kg, e constituição mineralógica essencialmente caulínica, com índice Ki superior a 1,7 (CAMARGO *et al.*, 1987; EMBRAPA, 1988). É comum apresentarem também alguma coesão no topo do horizonte B. Em geral, esses solos estão relacionados aos sedimentos terciários do Grupo Barreiras e congêneres; são, portanto, encontrados preferencialmente na faixa litorânea. Tendem a ocorrer nas partes mais altas e aplainadas dos Tabuleiros, sendo utilizados em grandes extensões com a cultura da cana-de-açúcar, além de outras lavouras, como abacaxi e maracujá;
- **Latossolo Vermelho-Amarelo:** apresentam horizonte Bw, virtualmente sem atração magnética, com cores no matiz 4YR ou mais amarelas, associadas a teores de Fe_2O_3 relativamente baixos, normalmente entre 70 e 110g/kg, e índice Ki inferior a 1,5 (CAMARGO *et al.*, 1987; EMBRAPA, 1988). De grande expressão geográfica. A influência dessas condições ambientais diversas é também verificada nas próprias características pedológicas. A presença de horizonte superficial mais desenvolvido e rico em matéria orgânica, do tipo A proeminente ou mesmo húmico, é também típica dessas áreas. Devido ao relevo em geral movimentado em que ocorrem e à baixa fertilidade, a pastagem é o uso dominante nesses solos.

C) Neossolo

Compreende solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos, rasos, constituídos por um horizonte A assente diretamente sobre a rocha, ou sobre um horizonte C ou B incipiente pouco espesso.

- **Neossolo Flúvico:** desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes, referidos ao Quaternário. Caracterizam-se por apresentarem estratificação de camadas, sem relação genética entre si. Tem seqüência de horizontes do tipo A-C, eventualmente com evidências de gleização em sub superfície. As áreas de ocorrência mais expressiva desses solos são observadas no baixo curso do rio Paraíba do Sul, onde às vezes apresentam caráter solódico e mais raramente sódico ou salino, em geral associados a Gleissolos;
- **Neossolo Litólico:** devido à pequena espessura, é comum possuírem elevados teores de minerais primários menos resistentes ao intemperismo, assim como cascalhos e calhaus de rocha semi-intemperizada na massa do solo. São bastante comuns na região serrana da área de estudo e de um modo geral associados com Cambissolos. Possuem reação moderadamente ácida ou próxima de neutra, com drenagem variando de moderados a excetualmente drenados.

D) Cambissolo

Essa classe compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente (Bi) subjacente a horizonte A de qualquer tipo, excluído o chernozêmico quando a argila do horizonte Bi for de atividade alta. São solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bi-C, com modesta diferenciação entre eles. Devido a seu desenvolvimento ainda incipiente, as características desses solos são em geral bastante influenciadas pelo material de origem. Na área de estudo diferencia-se o Cambissolo Eutrófico e o Cambissolo Álico. Variam de bem a moderadamente drenados. Quanto às suas características químicas, têm reações praticamente neutras a levemente alcalinas, não apresentam saturação por alumínio e têm altos teores de soma e saturação por bases.

- **Cambissolo Álico:** é o solo dominante na região serrana. Em geral, ocorre associado aos Latossolos Vermelho-Amarelos, do qual se diferencia basicamente pela pouca espessura do horizonte B dos Cambissolos, em relevo montanhoso e forte ondulado; ou ainda associados a Solos Litólicos nas áreas de relevo mais acidentado das escarpas serranas;
- **Cambissolo Eutrófico:** em situação completamente diversa, algumas baixadas fluviais, de relevo aplainado, são também ocupadas por Cambissolos.

Destaca-se dentre essas baixadas, a do baixo curso do rio Paraíba do Sul. Em sua porção central, nas proximidades da cidade de Campos dos Goytacazes, os sedimentos argilosos depositados pelo rio são mais espessos, propiciando o desenvolvimento dos Cambissolos Eutróficos da região estudada. Esses solos são constituídos por elevadas quantidades de argila e silte. Encontram-se hoje quase destituídos de sua vegetação original, sendo utilizados principalmente com plantios de cana-de-açúcar.

E) Espodossolo

Essa classe compreende solos minerais, hidromórficos, em geral de textura arenosa, ao longo de todo o perfil, com horizonte B espódico precedido por horizonte E alábico, ou raramente A (CAMARGO *et al.*, 1987). São solos com nítida diferenciação de horizontes com seqüência do tipo A-E-Bh-C (pode ocorrer também horizonte Bhs ou Bs). Estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos dispostos em faixas sub paralelas ao longo da costa, cuja ocorrência na área de estudo acontece numa pequena gleba nas proximidades da Lagoa Feia, da Lagoa do Campelo, no distrito de São Sebastião e na faixa litorânea. Em sua maior parte, são recobertos por vegetação de restinga do tipo campestre ou arbóreo-arbustiva. São utilizados, em geral, com pastagem natural de baixa qualidade, além de pequenos plantios de coco.

F) Gleissolo

Compreende solos minerais, hidromórficos, com horizonte A ou H seguido de horizonte glei, desde que não simultâneo com B textural, B nátrico ou plíntico, excluídos também aqueles com caráter vértico ou com textura arenosa, e ausência de horizonte E. São solos relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos de idade quaternária, apresentando, portanto, grande variabilidade espacial. São solos em geral mal ou muito mal drenados e com lençol freático elevado na maior parte do ano. Ocorrem em áreas de várzea. Originalmente, esses solos encontravam-se recobertos por vegetação de campo ou floresta de várzea, sendo hoje preservados apenas em poucos locais. Atualmente, são utilizados principalmente com pastagens e alguma olericultura em áreas menores.

G) Organossolo

Correspondem solos hidromórficos, formados em ambientes palustres, que apresentam camadas de constituição orgânica pelo menos nos primeiros 40cm superficiais.

Ocorrem em locais deprimidos da planície, em geral nos baixos cursos dos rios, originados de acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviais ou fluvio-marinhos, de idade quaternária. São solos muito mal drenados, sob vegetação de campo tropical hidrófilo de várzea, com lençol freático aflorante, desde que não drenados artificialmente. Em geral, são bastante ácidos, sendo comum, nas áreas mais próximas ao litoral apresentarem caráter tiomórfico.

5.2.2. Profundidade do lençol freático

O mapa de profundidade do lençol freático foi gerado a partir de dados de profundidades de poços rasos coletados por (COSTA, 2005), (ROCHA, 2004), (ROSA *et al.*, 2004) e (PROJIR, 1984).

As características naturais do meio físico em relação às águas subterrâneas da área de estudo configuram uma condição de significativa suscetibilidade à contaminação, devido à pequena profundidade em que se encontra o lençol freático.

Após espacializar os dados dos poços no software ARCVIEW, utilizou-se o módulo Surface – Interpolate grid, para a interpolação dos dados gerando o mapa de profundidade nos intervalos abaixo:

- 0 – 3,0 metros;
- 3,1 – 4,5 metros;
- 4,6 – 6,0 metros;
- 6,1 – 7,5 metros;
- 7,6 – 10,0 metros;
- 10,1 – 23,0 metros.

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

Na Figura 08 tem-se o mapa de profundidade do lençol freático.

Mapa de profundidade do lençol freático

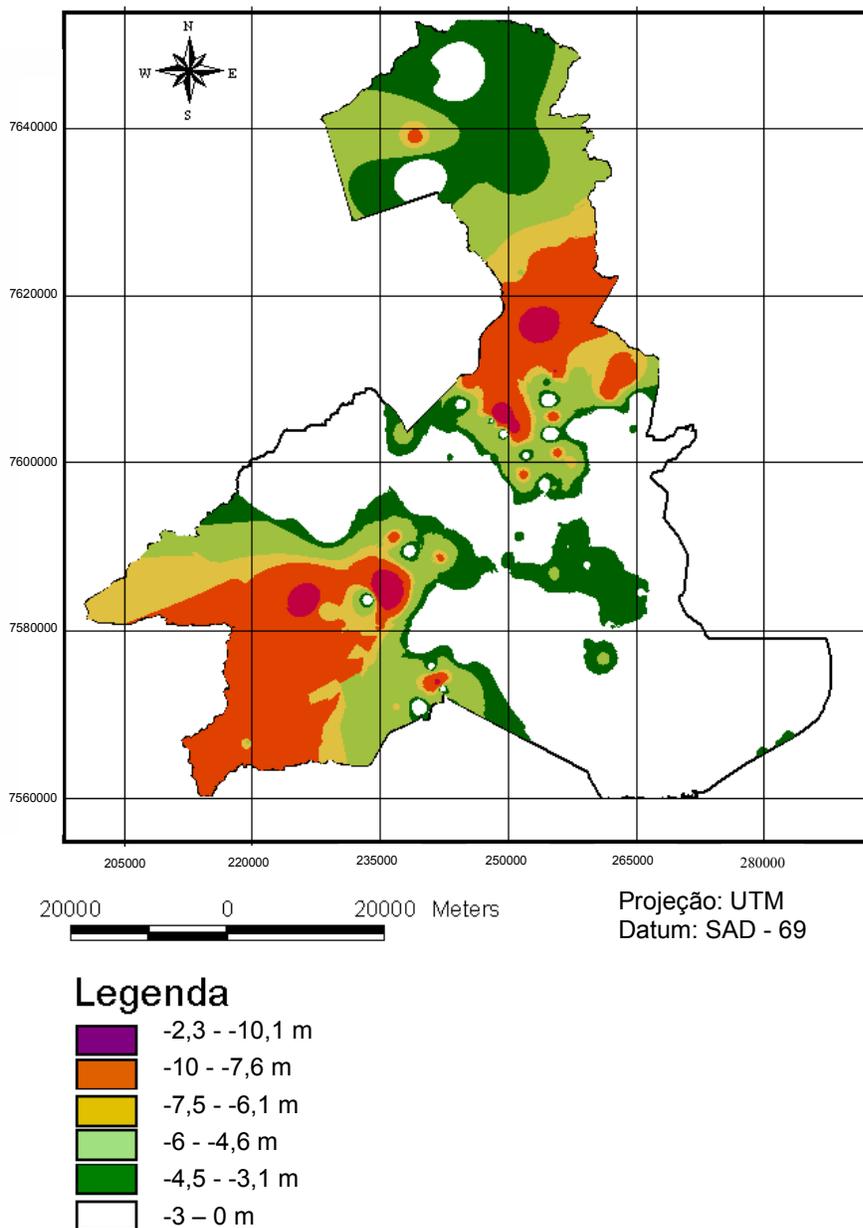


Figura 08. Mapa de profundidade do lençol freático.

5.2.3. Hidrografia

A hidrografia do município de Campos dos Goytacazes (Figura 09) é bastante densa, sendo formada por rios e córregos em toda sua extensão, além de canais de drenagem. A cidade é dividida praticamente ao meio pelo rio Paraíba do Sul.

Devido a recentes acidentes ambientais e à poluição devido à urbanização, o rio Paraíba do Sul vem passando por um processo gradativo de poluição, havendo já uma descaracterização da fauna e da flora.

Mapa de Hidrografia

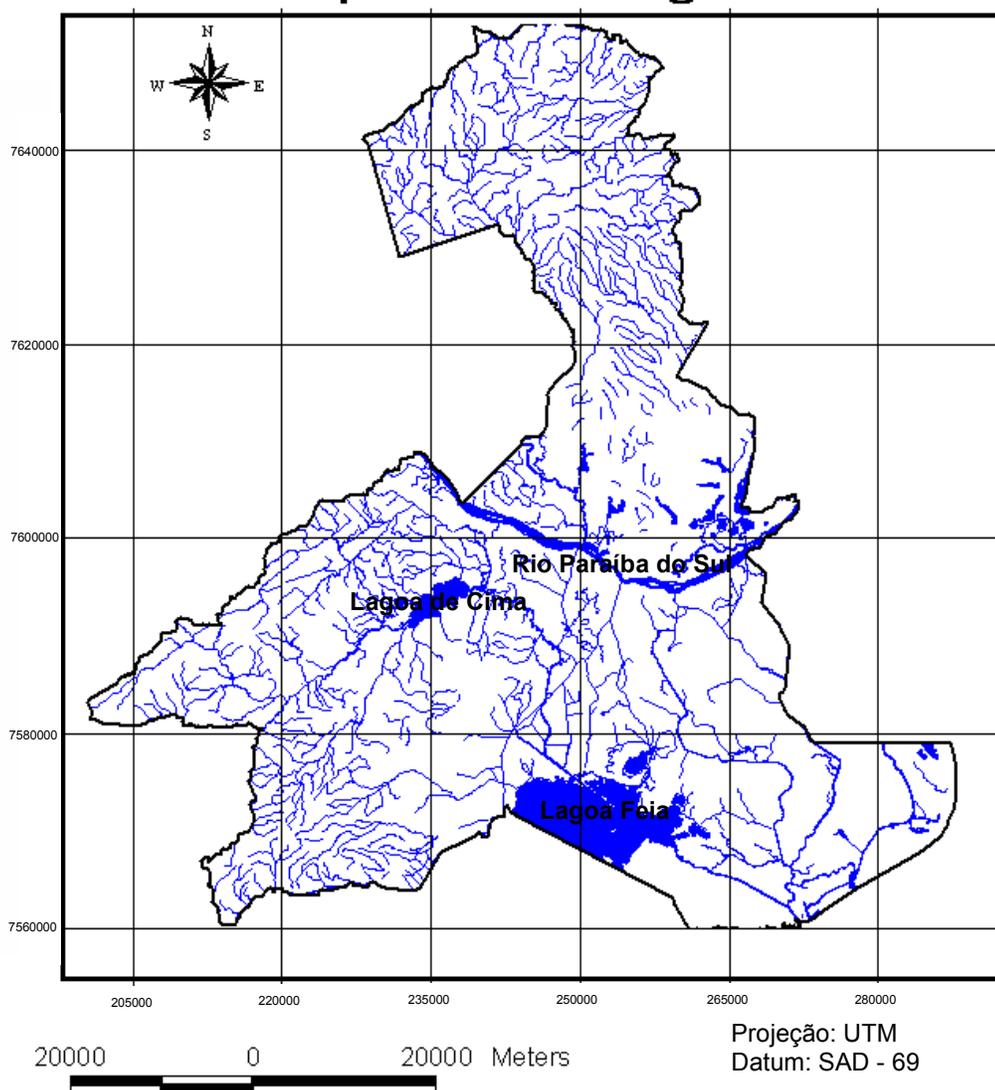


Figura 09. Hidrografia do município de Campos.
Fonte: Ribeiro, 2006.

5.2.4. Sistema viário

O mapa viário foi modificado de CIDE, por COSTA, 2005 e consta das principais rodovias e estradas que cortam a cidade de Campos dos Goytacazes (Figura 10).

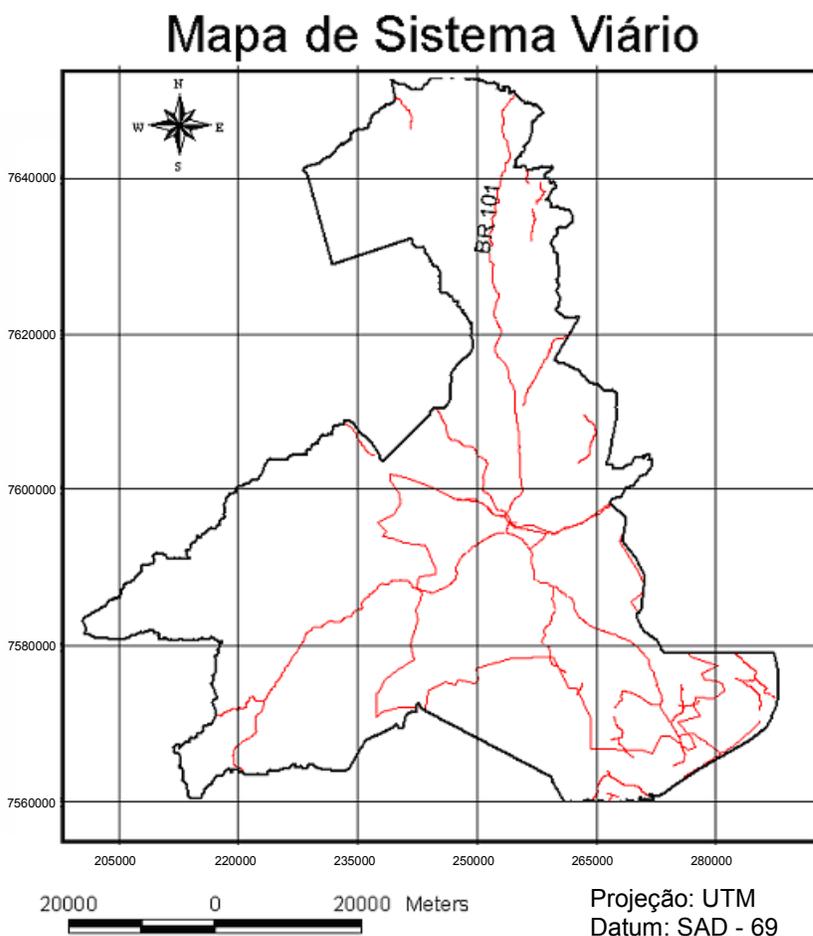


Figura 10. Sistema Viário.
Fonte: Modificado de CIDE, por COSTA 2005.

5.2.5. Núcleos urbanos

Consideraram-se núcleos urbanos, áreas com povoados e o centro urbano do município.

O mapa de núcleos urbanos (Figura 11) foi modificado de IBGE e PMCG, por COSTA, 2005 e consideraram-se as áreas povoadas.

Mapa de Núcleos Urbanos

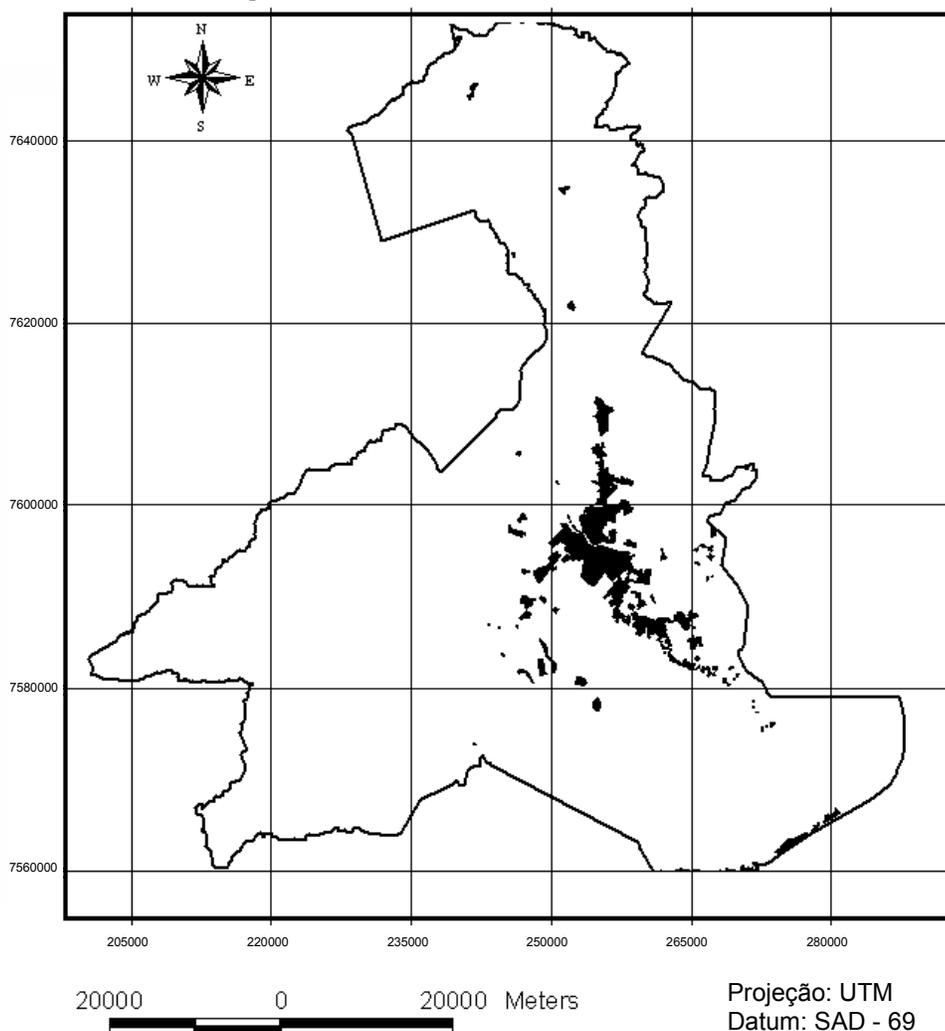
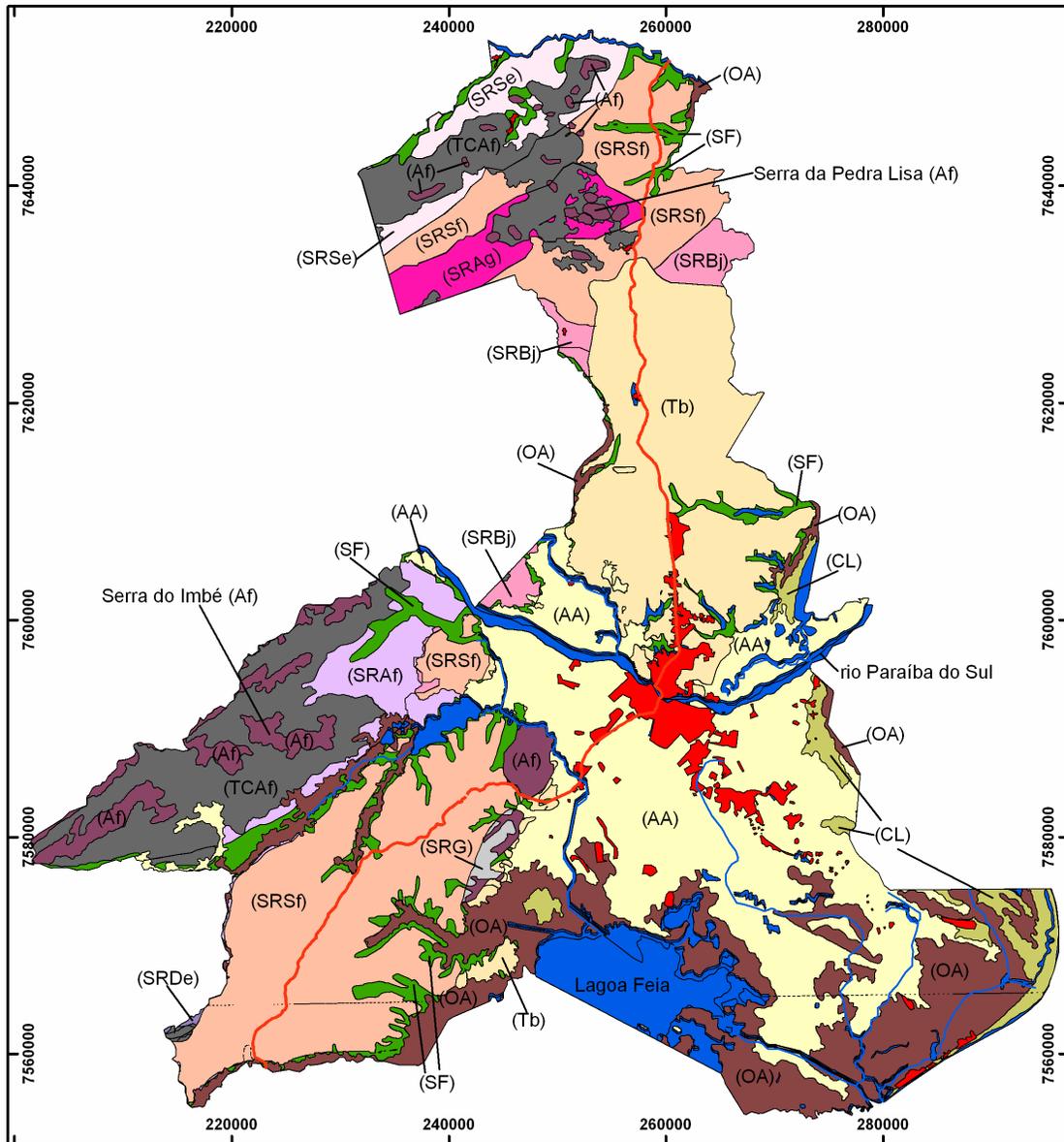


Figura 11. Mapa de Núcleos urbanos (centro urbano e distritos).
Fonte: Modificado de COSTA, 2005.

5.2.6. Mapa Geológico-geotécnico

O mapa geológico-geotécnico utilizado neste trabalho foi gerado por COSTA (2008) e traz informações de caráter geral para subsidiar estudos de planejamentos e uso do meio físico, conforme pode-se ver na Figura 12. Para sua elaboração foram abordados componentes básicos do ambiente geológico, geomorfológico e pedológico das áreas elevadas e de baixadas.



Legenda

BR 101 Área Urbana
 Corpos d' Água

Escala da Figura - 1:500.000

10 5 0 10 Km

* Escala do Trabalho - 1:100.000

Projeção UTM

Unidades de Baixada	relevo plano	Solos Areno-Argilosos e Argilo-Arenosos sobre substrato aluvial e marinho (AA) Associação de Solos Orgânicos e Argilosos sobre substrato fluvio-lagunar (OA) Cordões Litorâneos - Solos arenosos sobre substrato marinho (CL) Solos originados por Sed. Fluviais - granulometria variável, sujeitos a inundações periódicas (SF)	
	relevo suave ondulado	Dep. Formação Barreiras - Solos argilosos e argilo-arenosos sobre substrato fluvial (Tb)	
Unidades Elevadas	relevo forte	Afloramento de Rocha (Af) Tálus/Colúvio/Afloramento - depositado nas encostas ou sopés das princ. elevações (TCAf)	sobre subst. cristalino
	relevo suave a ondulado	Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Granito (SRG)	
		Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR/Blocos/Afloramento (SRAf)	
		Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Un. Angelim (SRAg)	
		Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Un. Bela Joana (SRBj)	
		Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Un. Desengano (SRDe)	
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Un. São Fidélis (SRSf)			
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Un. Sto Eduardo (SRSe)			

Figura 12. Mapa Geológico-geotécnico.
 Fonte: COSTA, 2008.

As classes geológicas-geotécnicas são descritas a seguir de acordo com COSTA, 2008.

A) Unidades de Baixada

As unidades de baixada estão confinadas entre o oceano e os domínios colinosos, entrecortadas por depósitos isolados da Formação Barreiras e o corpo granítico do Itaóca. São encontradas as unidades de solos areno-argilosos e argilo-arenosos sobre substrato aluvial, associação de solos orgânicos e argilosos sobre substrato flúvio-lagunar, cordões litorâneos sobre substrato marinho e solos originados por sedimentos fluviais, granulometria variável, sujeitos a inundações periódicas.

Costa (2008), criou a legenda geotécnica com base na legenda geológica e pedológica, observando os trabalhos de FERRARI *et al.* (1981) e FONSECA *et al.* (1998).

- **Solos Areno-Argilosos e Argilo-Arenosos sobre substrato aluvial e marinho (AA)**

Constitui a planície de inundação do rio Paraíba do Sul formada pelos solos Cambissolo Eutrófico e Neossolo Flúvico, abrangendo uma vasta área, desde a margem norte do Rio Paraíba até as proximidades da Lagoa Feia e do litoral. Consiste em argilas e siltes micáceos de tonalidades de coloração desde cinza a cinza-amarelada, acastanhada e areias quartzosas de coloração esbranquiçada, amarelo-esbranquiçada ou acinzentada com granulometria de muito fina a muito grosseira, por vezes conglomeráticas, micáceas, feldspáticas e apresentando traços de minerais pesados (anfíbólios e piroxênios) bem como estratificação plano-paralela e inter cruzadas de pequeno a médio porte, de canais fluviais.

Os Cambissolos nesta unidade se caracterizam como solos de baixada.

Esta unidade abrange uma expressiva área do município. É também resultante de uma seqüência de eventos transgressivos e regressivos do nível do mar. Essas variações marcaram períodos cíclicos de erosão e sedimentação dos depósitos continentais e marinhos, que modelaram a atual morfologia da região.

Segundo caracterização granulométrica de Alexandre (2000), Vieira (2001), Xavier (2002) e Ramos (2006) as argilas desta unidade foram classificadas como: argila inorgânica de média e alta plasticidade, argila orgânica, silte inorgânico e orgânico de média e alta compressibilidade. O Limite de Liquidez variou de 35 a

80% e o Limite de Plasticidade de 8 a 49% e o argilomineral predominante é a caulinita.

Os solos pertencentes a esta classe são mal drenados, ocorrem em relevo plano, com altitudes entre 0 e 20 metros e declividade de 0 a 8 %. Estes solos apresentam baixa capacidade de suporte de cargas; lençol freático varia de 0 a 5m de profundidade (CORIDOLA, 2006); em determinados locais, como no núcleo urbano por exemplo, há ocorrência de solos moles (FARIAS, 2003).

Segundo Costa (2008), essas classes geológicas-geotécnicas podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: ocorrência de encharcamentos e inundações, recalque nas fundações, danificações dos pavimentos viários, solapamento das margens dos córregos, assoreamento generalizado dos cursos d'água, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

- **Associação de Solos Orgânicos e Argilosos sobre substrato flúvio-lagunar (AO)**

Esta unidade encontra-se presente nos arredores da Lagoa Feia e separada do Oceano Atlântico por uma pequena faixa arenosa. É constituída por sedimentos depositados em ambientes de água doce a salobra, formados pelos depósitos de lagos, onde o sedimento característico é uma argila plástica de coloração que varia de cinza ao cinza-negro, esta última, com alto conteúdo de matéria orgânica, e pelos depósitos de pântanos ou brejos, onde o sedimento característico é a turfa, material predominantemente orgânico, com coloração negra. Também constituem esta unidade sedimentos representados por depósitos de mangue, onde o sedimento característico é uma argila caulínica, em geral arenosa, bioturbada e de coloração negra, e pelos depósitos de laguna, onde apresentam dois tipos de sedimentos, argilas de coloração esverdeada, bastante plásticas, podendo ser associados depósitos conchíferos e vasa orgânica (antiga Lagoa Salgada), material de coloração avermelhada, consistência de geléia, formada predominantemente de matéria orgânica coloidal.

Os solos que compõem esta unidade são Gleissolo e Organossolo e caracterizam-se por extensos terrenos constantemente alagados, que consistem em sedimentos de origem flúvio-lagunar resultantes do ressecamento moderno da Lagoa Feia. Os Organossolos são solos hidromórficos, formados em ambientes palustres, que apresentam camadas de constituição orgânica, pelo menos, nos primeiros 40cm. E os Gleis são solos minerais, hidromórficos, relativamente

recentes, pouco evoluídos e originados de sedimentos quaternários, com horizonte A ou H seguido de horizonte glei.

São muito mal drenados, ocorrem em relevo plano, com altitudes entre 0 e 20 metros e declividade de 0 a 8 %. Estes solos apresentam baixa capacidade de suporte de cargas; área em permanente estado de saturação com ocorrência de terrenos alagadiços; lençol freático constantemente aflorante; ocorrência de solos moles e de alto teor orgânico.

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: área constantemente inundada, recalque nas fundações, danificações dos pavimentos viários, assoreamento generalizado dos cursos d'água, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

- **Cordões Litorâneos – Solos arenosos sobre substrato marinho (CL)**

Ocorre na região leste do município, às margens do oceano Atlântico e é conhecida também por cordões litorâneos. É uma unidade constituída exclusivamente por areias quartzosas litorâneas, de coloração esbranquiçada, bem selecionadas, granulometria mediana e grãos subarredondados a arredondados. É constituída pelo solo Espodossolo.

Este solo apresenta uma seqüência de horizontes A1, A2 , Bh e/ou Bhir e C.

Nesta classe tem-se solos são bem drenados, ocorrem em relevo plano, com altitudes entre 0 e 20 metros e declividade de 0 a 8 %. Estes solos apresentam boa capacidade de suporte de cargas mesmo com lençol freático pouco profundo; os solos apresentam boa permeabilidade.

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: assoreamento generalizado dos cursos d'água, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

- **Solos originados por Sedimentos Fluviais de granulometria variável, sujeitos a inundações periódicas (SF)**

Ocorre em diversos pontos do município, como por exemplo, ao longo do rio Muriaé, ao longo do rio Imbé, próximo a Lagoa de Cima e encaixado em vales formados pelos sedimentos da Formação Barreiras e das serras da Pedra Lisa e de Santo Eduardo. Esta unidade é constituída de argilas e siltes, de coloração cinza-amarelada, micáceos, formando a planície de inundação destes rios, conglomerados e areias quartzosas, de coloração esbranquiçada, em parte feldspáticas, micáceas, geralmente mal selecionadas, granulometria variando de fina a grosseira com grãos

subangulares, de canal fluvial. Essas areias podem apresentar estratificações cruzadas.

Também pertencem a esta unidade areias e conglomerados quartzosos com matriz argilosa, podendo apresentar diversas colorações (em função da cor da argila), de depósitos aluvionares.

Esta unidade é caracterizada por sedimentos fluviais das calhas dos rios que periodicamente inundam e depositam esses sedimentos em terrenos próximos, ao longo de seu curso. Os solos pertencentes a esta classe são: ao longo do Rio Imbé têm-se os Gleissolos; ao longo do rio Muriaé, tem-se o Cambissolo Eutrófico. Esses sedimentos também são encontrados em Latossolos e Argissolos.

Por se tratar de “Planície de Inundação” os sedimentos desta classe são mal drenados, ocorrem em relevo plano e suavemente ondulado, com altitudes entre 0 e 20 metros e declividade de 0 a 8 %. Estes sedimentos apresentam baixa capacidade de suporte de cargas; lençol freático varia de 0 a 5m de profundidade (CORIDOLA, 2006) e periodicamente estão sujeitos a inundações devido ao transbordamento das calhas dos rios.

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: área periodicamente inundada, recalque nas fundações, danificações dos pavimentos viários, assoreamento generalizado dos cursos d’água, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

B) Unidades Elevadas

Costa (2008), distinguiu os afloramentos de rocha, os depósitos de vertentes (tálus/colúvio), os solos residuais e os Depósitos da Formação Barreiras, baseando-se em FERRARI *et al.* (1981) e FONSECA *et al.* (1998).

- **Depósitos da Formação Barreiras (Tb)**

Os sedimentos terciários ocorrem alongados segundo uma faixa diagonal que atravessa a área de estudo na direção NE-SW, interpondo-se, grosso modo, entre o domínio das rochas pré-cambrianas e os sedimentos quaternários. Suas melhores exposições e maiores extensões encontram-se desde a margem norte do rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Campos, até às proximidades do limite com o Estado do Espírito Santo. Esta unidade é constituída por sedimentos continentais e representada por níveis descontínuos e alternados de material friável e mal selecionado, desde arenoso, areno-argiloso a argiloso, constituído principalmente de grãos de quartzo subangular abundante, grãos de feldspato caulinizado, aparecendo

também níveis conglomeráticos com seixos arredondados de canal fluvial e horizontes de concreções lateríticas. Observam-se também bolsões de argila caulinitica e colorações variadas (roxa, amarela, branca e vermelha) nos níveis argilosos espessos.

A pedogênese sobre esses sedimentos possibilitou a formação de Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Sua constituição mineralógica é essencialmente caulinitica. É comum apresentarem também alguma coesão no topo do horizonte B.

Segundo caracterização granulométrica realizada por Coridola (2006), os sedimentos da Formação Barreiras foram classificados como: sedimentos arenosos e argilosos. O Limite de Liquidez variou de 29 a 48% e o Limite de Plasticidade de 25 a 30%. São solos bem drenados, com relevo aplainado, altitudes que variam de 15 a 80m, e declividade de 8 a 30%. São solos com boa capacidade de suporte de cargas, lençol freático profundo que varia de 5 a 23m. Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: solos com média suscetibilidade a erosão, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

- **Afloramentos Rochosos (Af)**

Decorrentes dos processos de degradação do relevo, enormes massa de gnaisses, charnockitos, migmatitos e em menores proporções granitos, afloram em toda área de maciços mapeada, concentrando-se preferencialmente nas cotas mais elevadas e com maiores declividades. Tendo em vista a natureza e a escala desenvolvida neste trabalho (escala regional), não foram feitos levantamentos detalhados sobre as estruturas dos afloramentos de rochas. Esta unidade foi analisada de maneira generalizada. Sendo a orientação geral das unidades mapeadas e das estruturas de falhamento e fraturamento, essencialmente NE-SW, com variações locais.

A seguir, são citadas as principais características observadas, segundo os tipos petrográficos mais freqüentes na área, baseando-se em FERRARI *et al.* (1981) e FONSECA *et al.* (1998).

Granitos: o granito do Itaóca, ao sul do rio Paraíba do Sul, é cinza claro de granulação média, textura granular xenomórfica e em vários locais porfiroblástica, com porfiroblastos idiomórficos de k-feldspato. Sua origem é relacionada aos eventos do ciclo Brasileiro, ou seja, final do Pré-Cambriano. Segundo Ferrari *et al.*

(1981), também são encontrados vários corpos graníticos sob a forma de pequenos núcleos, ocorrendo sob a forma de diques, intrudidos, nas Unidades Angelim, São Fidélis e Santo Eduardo. Os núcleos constituem em sua maioria, litologias pontuais. O maior deles ocorre junto às escarpas da Pedra Lisa e perfaz cerca de 1km de diâmetro.

Gnaisses: na área foram encontrados gnaisses inseridos nas unidades de São Fidélis e Angelim, de foliação marcante, granulometria de média a grosseira e textura granoblástica a porfiroblástica. Caracterizam-se pela foliação gnáissica marcante, embora possam existir domínios onde sejam menos xistosas, pelas faixas leucossomáticas quartzo-feldspáticas, pelas freqüentes lentes alongadas de rocha calcossilicatada e intercalações decamétricas de quartzitos.

Nessa classe estão também compreendidos os Neossolos Litólicos. Apresentam constantes afloramentos de rochas, lençol freático profundo que varia de 5 a 23m (CORIDOLA, 2006). São solos com densidade de drenagem alta e padrão de drenagem variável, ocorrem em relevo montanhoso, extremamente acidentado, com altitudes maiores que 400 metros e declividade de 30 a 60 %.

Coridola (2006), realizou apenas um ensaio de caracterização granulométrica do Neossolo Litólico e obteve em seus resultados a classificação de Silte Elástico. O Limite de Liquidez foi de 52% e o Limite de Plasticidade de 33%.

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: são áreas de risco pela ocorrência de lascas, de blocos instáveis, impossibilidade de instalação de fossas sépticas, dificuldade de execução de obras (escavação).

- **Tálus/Colúvio, depositados nas encostas ou sopés das principais elevações**

Esta unidade é caracterizada por depósitos de tálus e solos coluviais que são encontrados nas encostas ou sopés das principais elevações da área mapeada. Esse tipo de depósito ocorre de forma diferenciada nas regiões sul e norte do município. São caracterizados por suas heterogeneidade granulométrica e no caso do tálus, também pela heterogeneidade litológica dos blocos que o compõe.

Os depósitos de tálus caracterizam-se pela presença de matações e blocos de rocha, em meio a uma matriz coluvial argilo-arenosa, de coloração amarelada ou amarronzada. Muitas vezes são encontrados grandes aglomerados de blocos de natureza diversa nas calhas de drenagem; originados por escorregamento e queda sucessiva de material das encostas montanhosas, característica da região sul do

município. Na região norte, esses blocos se encontram em menor proporção, havendo um predomínio do material coluvionar.

Nesta classe tem-se os solos Cambissolo Álico e Argissolo Vermelho Escuro.

Segundo caracterização granulométrica realizada por Coridola (2006), esses solos foram classificados como: Siltes Orgânicos. O Limite de Liquidez variou de 33 a 118% e o Limite de Plasticidade de 20 a 40%.

São solos com densidade de drenagem alta e padrão de drenagem variável, ocorrem em relevo montanhoso, extremamente acidentado, com altitudes maiores que 400 metros e declividade de 30 a 60 %. São solos rasos, com blocos e alguns afloramentos de rochas, lençol freático profundo que varia de 5 a 23m (CORIDOLA, 2006).

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: são áreas de risco pela ocorrência de deslizamentos de blocos e solos, impossibilidade de instalação de fossas sépticas, dificuldade de execução de obras (escavação).

- **Colúvio/Solos Residuais (SRG; SRAf; SRAg; SRBj; SRDe; SRSf; SRSe)**

Nesta unidade serão descritos os solos residuais, jovens e maduros, com cobertura de colúvio (Colúvio-Solo Residual) e também os solos residuais de pouca espessura associados a blocos “in situ” e afloramentos de rochas (Colúvio-SR-Blocos-Afloramento).

Os solos residuais localizados ao sul do Rio Paraíba do Sul são originários do intemperismo das rochas que compõem a unidade São Fidélis (migmatitos e gnaisses) e Bela Joana (charnockitos), já os solos residuais localizados ao norte do Rio Paraíba do Sul, são originários da decomposição das rochas das unidades de Santo Eduardo (migmatitos), Angelim (gnaisses), Bela Joana (charnockitos) e São Fidélis (migmatitos e gnaisses).

Estes solos apresentam uma cobertura de colúvio que varia de 0,5m a 1,5m, separados por linha de seixos em alguns casos. Foram encontradas variações de coloração que refletem as concentrações mineralógicas encontradas na rocha matriz, derivadas dos diferentes tipos de unidades geológicas. Observando-se os perfis nota-se coloração amarelada, alaranjada, avermelhada, rosada, roxeada, amarronzada e às vezes esbranquiçada e cinzenta, com textura variando de argilo-arenoso a areno-argiloso e em alguns casos são encontrados concreções ferruginosas.

Nas proximidades das regiões elevadas, foram encontradas pequenas espessuras de solo residual que estão associadas a blocos in situ e afloramentos de rocha.

A pedogênese desta área possibilitou a formação de Argissolos Amarelo e Vermelho- Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo.

Segundo caracterização granulométrica realizada por Coridola (2006) esses solos foram classificados como: Silte, Argila muito Plástica e Argila pouco Plástica. O Limite de Liquidez variou de 48 a 113% e o Limite de Plasticidade de 18 a 60%.

São solos bem drenados, com relevo suave a ondulado, altitudes que variam de 50 a 200m, e declividade de 8 a 30%. Possuem boa capacidade de suporte de cargas, lençol freático profundo que varia de 5 a 23m (CORIDOLA, 2006).

Podem apresentar os seguintes problemas geotécnicos: solos com média suscetibilidade a erosão, poluição das águas subterrâneas por fossas sépticas.

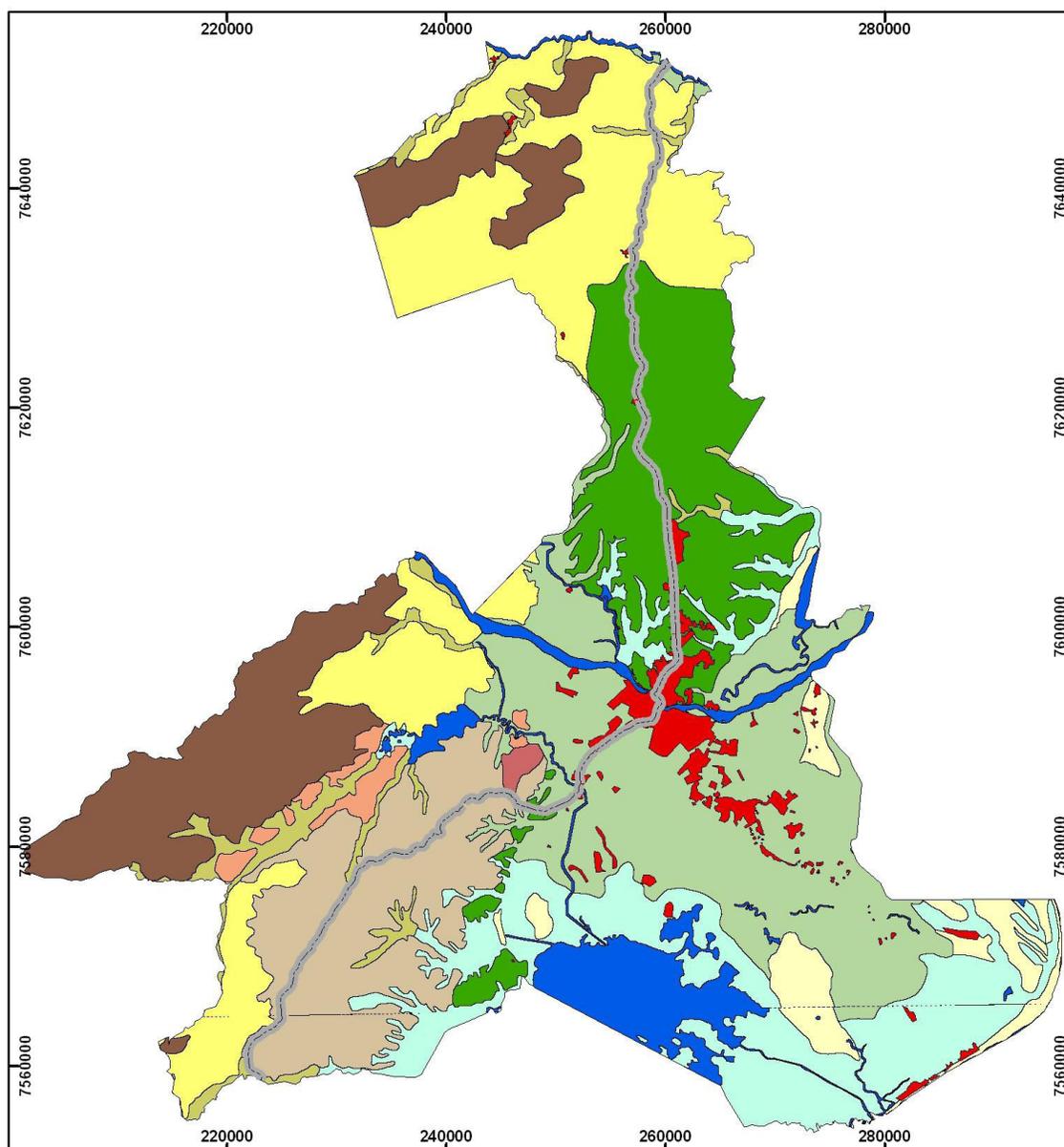
5.2.7. Geomorfologia

Conhecer a geomorfologia de área de estudo é imprescindível quando se deseja avaliar sua capacidade de suporte aos impactos decorrentes de intervenções antrópicas e/ou intempéricas. Desta forma é possível um diagnóstico ambiental preciso e gestão ordenada no planejamento territorial.

De acordo com CPRM (2001), a notável diversificação do cenário geomorfológico do estado do Rio de Janeiro deve ser compreendida através de uma singular interação entre aspectos tectônicos e climáticos, que delinearam sua atual morfologia.

O Projeto Rio avaliou cada sistema de relevo quanto às suas propriedades morfológicas e morfométricas, conferindo um caráter quantitativo ao mapeamento, permitindo avaliar as principais diferenciações entre os sistemas de relevos espacializados pelas unidades morfoesculturais. As informações obtidas em trabalhos de campo, ou extraídas da análise de cartas topográficas e fotografias aéreas, resumiram-se em: amplitude topográfica; gradiente das vertentes; geometria das vertentes; geometria dos topos; coberturas inconsolidadas; densidade de drenagem e padrão de drenagem.

A região de Campos dos Goytacazes conta com estudos geomorfológicos na escala de 1:600.000, de acordo com CPRM (2001), conforme podemos ver na Figura 13.



Legenda

- | | |
|---|--|
|  BR 101 |  Dominio Serrano |
|  Área Urbana |  Serras Isoladas |
|  Corpos d'água |  Colinas Isoladas |
|  Planície Colúvio-Alúvio-Marinha |  Domínio Suave Colinoso |
|  Planícies Aluviais |  Domínio Colinoso Suave |
|  Planícies Costeiras | |
|  Planícies Flúvio-Lagunares | |
|  Tabuleiros | |

10 5 0 10 km

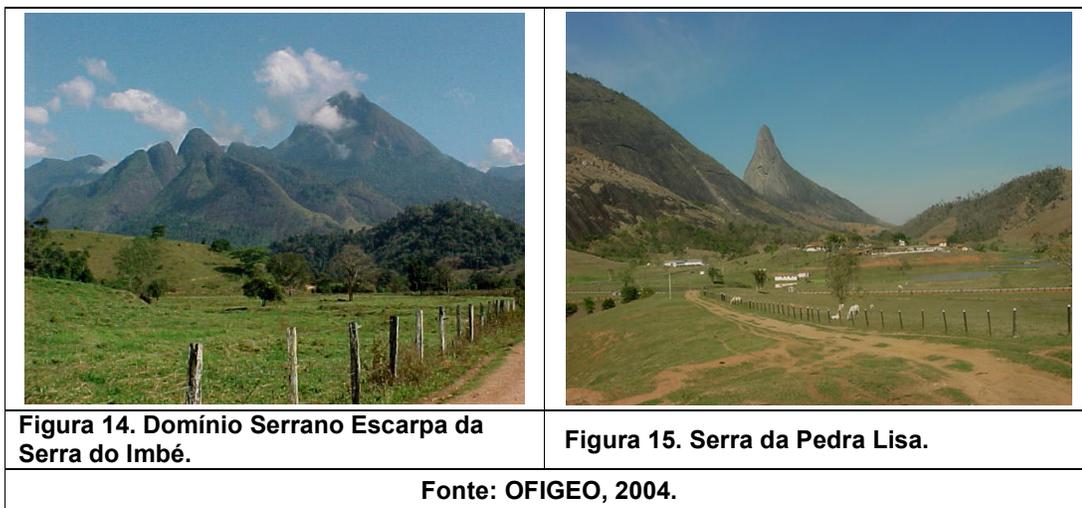
Figura 13. Geomorfologia da área de estudo.
Fonte: Modificado de CPRM/RJ, por COSTA, 2005.

Serão descritas a seguir as classes geomorfológicas encontradas na área de estudo, de acordo com CPRM, 2001.

- **Domínio Serrano**

Compreende os alinhamentos serranos e degraus estruturais, maciços costeiros e interiores, escarpas serranas e domínio montanhoso. Apresenta relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da Serra do Mar. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvio e depósito de tálus, solos rasos e afloramento de rocha.

Como exemplos, no município ocorrem à escarpa da Serra do Imbé (Figura 14) e a Serra da Pedra Lisa (Figura 15).



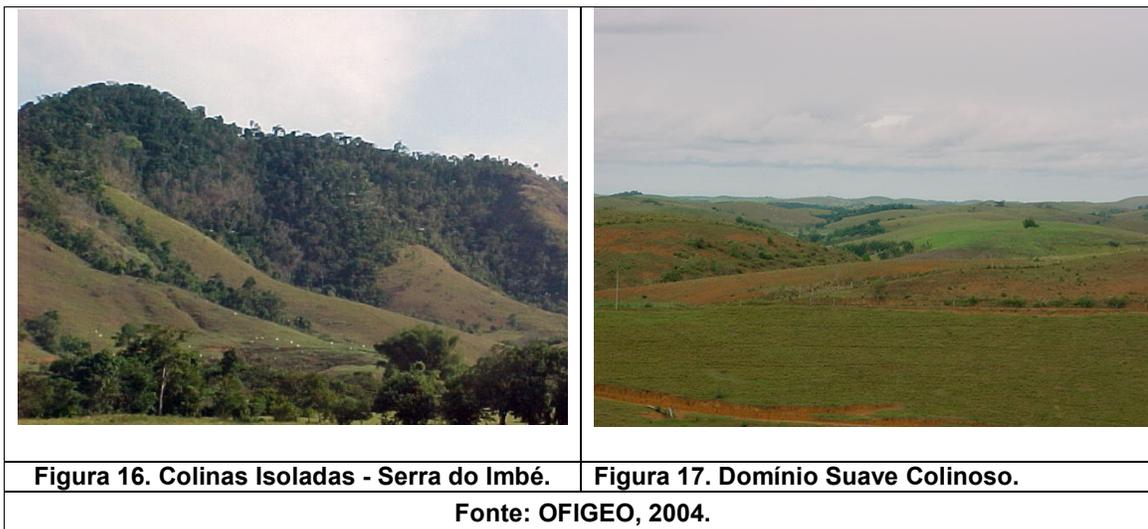
- **Colinas Isoladas**

Formas de relevo residuais, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afoamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100 m e gradientes suaves. Exemplo: Serra do Imbé (Figura 16).

- **Domínio Suave Colinoso**

Relevo de colinas muito pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência de morrotes alinhados. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves. Esse relevo suave é esparsamente pontilhado por morrotes e morros baixos.

No contato entre as colinas e a Baixada Campista, registram-se alguns remanescentes de tabuleiros do Grupo Barreiras (Figura 17).



- **Domínio Colinoso Suave**

Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dentrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios.

- **Serras Isoladas**

Relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado em meio ao domínio das baixadas e planícies, ou em meio ao domínio colinoso. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 200m e gradientes muito elevados.

Na região temos o Maciço do Itaóca que é resistente à erosão diferencial, atinge 414m de altitude, sendo circundado por colinas suaves da superfície de aplainamento do litoral leste fluminense e junto à Baixada Campista (Figura 18).

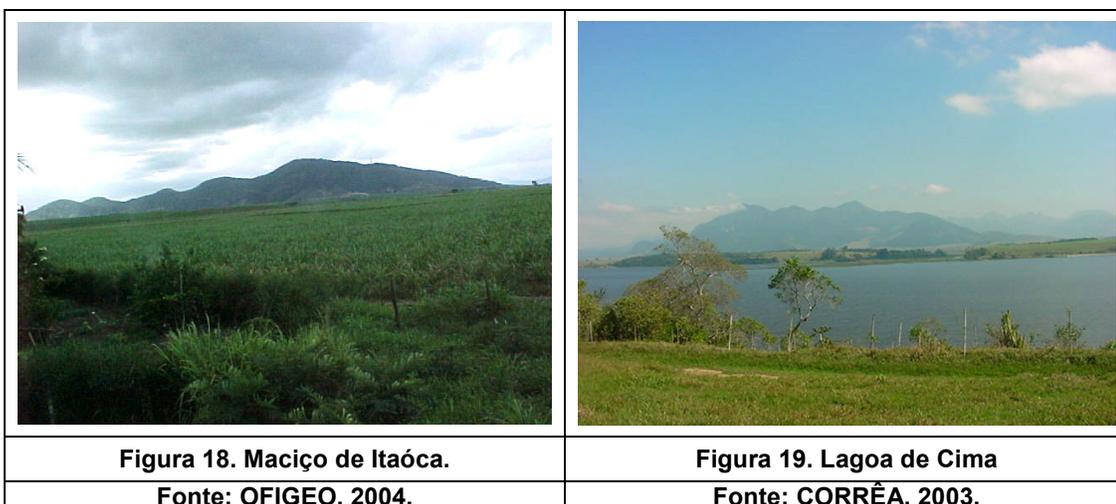
- **Planícies Aluviais**

Planícies de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-colúviais que compreendem os extensos fundos de vales dos rios Imbé e Urubu, preenchidos de sedimentos de origem fluvial e flúvio-lagunar, os quais desembocam na Lagoa de Cima e correm paralelamente à escarpa da Serra do Imbé. Os sedimentos flúvio-lagunares encontram-se apenas no rebordo da Lagoa de Cima (Figura 19). A configuração atual da baixada foi originada a partir da formação da Lagoa de Cima,

que consiste numa lagoa confinada entre colinas e tamponada pela sedimentação aluvial da Baixada Campista após o máximo transgressivo holocênico.

- **Planícies Costeiras**

Terrenos arenosos de terraços marinhos, cordões arenosos e campos de dunas delineados em superfícies subhorizontais, com microrrelevo ondulado de amplitude topográfica inferior a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. A planície costeira estende-se entre a localidade de Farol de São Tomé e o limite do Município de Campos, sendo que junto a Farol de São Tomé, consiste em um único cordão litorâneo, que isola do oceano uma extensa planície flúvio-lagunar alagada.



- **Planícies Colúvio-Alúvio-Marinha**

Engloba terrenos argilo-arenosos das baixadas (Figura 20), dispostos em superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhos.

Esta planície abrange uma expressiva área do município. É resultante de uma seqüência de eventos transgressivos e regressivos. Essas variações do nível do mar marcaram períodos cíclicos de erosão e sedimentação dos depósitos continentais e marinhos, que modelaram a atual morfologia da região.

- **Planícies Flúvio-Lagunares**

Ocorre em terrenos argilosos orgânicos de paleolagunas colmatadas (Figura 21) na forma de superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e lagunares. Apresentam terrenos muito mal drenados com lençol

freático subaflorante. Esta planície caracteriza-se por extensos terrenos alagados, que consistem em sedimentos de origem lagunar resultantes do ressecamento moderno da Lagoa Feia.

As obras de saneamento, efetivadas com a abertura do Canal das Flexas, promoveram a drenagem da baixada e o rebaixamento do lençol freático subaflorante.

	
<p>Figura 20. Planície Colúvio-Alúvio-Marinha com a cidade ao fundo.</p>	<p>Figura 21. Planície Flúvio-Lagunar: áreas freqüentemente inundáveis próximas à Lagoa Feia.</p>
<p>Fonte: OFIGEO, 2004.</p>	<p>Fonte: CORRÊA, 2003.</p>

- **Tabuleiros**

Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suave ou colinas tabulares (Figura 22). Apresentam topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes da dissecação fluvial recente. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves, com sedimentação de colúvios e alúvios.



Figura 22. Tabuleiro da Formação Barreiras.
Fonte: OFIGEO, 2004.

5.2.8. Geologia

As informações sobre a geologia utilizadas foram compiladas de DRM por RAMOS 2006, conforme pode-se ver na Figura 23.

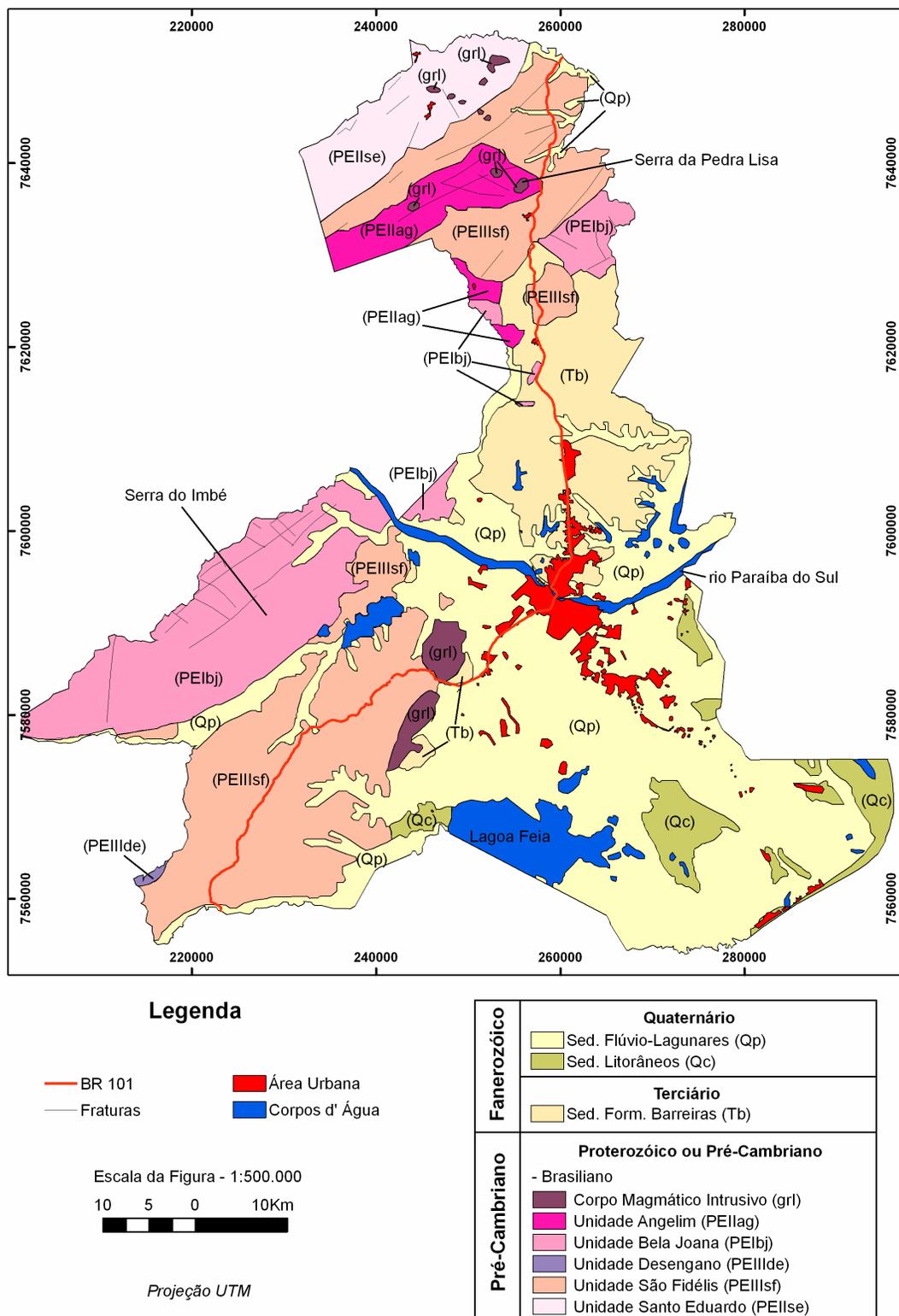


Figura 23. Mapa Geológico.
Fonte: Compilado de DRM, por RAMOS 2006.

A história geológica de Campos pode ser dividida resumidamente em duas partes: Formação das Rochas do Embasamento Cristalino (Pré-Cambrianas) e Formação da Bacia Sedimentar (Fanerozóico).

A) Geologia do Pré-Cambriano

Em Campos dos Goytacazes, as rochas do embasamento cristalino compreendem os gnaisses, charnockitos, migmatitos e granitos, sendo sua direção estrutural de maneira geral NE-SW, com algumas variações locais. Neste contexto, destaca-se a grande falha da Serra do Imbé, compreendendo paredões abruptos e escarpas rochosas, caracterizando o último trecho da Serra do Mar no município. Já o domínio serrano e o domínio colinoso também fazem parte do embasamento cristalino do município, embora suas encostas sejam geralmente mais arredondadas.

Neste grupo encontram-se seis unidades geológicas:

- **Unidade São Fidélis (P ϵ llsf):**

Localiza-se em Campos dos Goytacazes ao norte e a sudoeste do Rio Paraíba do Sul, constituído por rochas gnáissicas e os migmatitos, tendo esta unidade a maior distribuição e extensão entre todas as unidades pré-cambrianas.

Os migmatitos desta unidade são constituídos predominantemente de k-feldspatos, granada, silimanita, biotita, quartzo e plagioclásio-andesina gnaisses, de foliação marcante e granulometria de média a grosseira, textura granoblástica à porfiroblástica. Apresentam contatos transicionais para as rochas das unidades Angelim e Santo Eduardo e muitas vezes contatos bruscos, por falhas, com a unidade Angelim. Aparecem de forma ilhada nos sedimentos da Formação Barreiras.

- **Unidade Bela Joana (P ϵ lbj):**

Esta unidade também se encontra presente ao norte e ao sudoeste do rio Paraíba do Sul em Campos, mais especificamente na área do rio Bela Joana. Trata-se de rochas charnockitos e apresentam solos jovens com características mineralógicas da rocha de origem, que perlonga a parte nordeste do estado do Rio de Janeiro.

São rochas grosseiras, de tonalidades cinza-esverdeado-escuro a marrom-acaramelado, de estrutura maciça a gnáissica, a depender do grau de tectonização e de textura homófona, hipidiomórfica a alitriomórfica granular. Sua formação é relacionada aos processo de fusão parcial materiais derivados da crosta continental, durante o ciclo Brasileiro.

Os minerais mais importantes são: plagioclásio, andesina e esporadicamente labradorita, k-feldspato pouco geminado, biotita, apatita, zircão, quartzo e hornblenda.

Apresentam contatos com as rochas das unidades Angelim e São Fidelis e com os sedimentos terciários da Formação Barreiras.

- **Unidade de Santo Eduardo (Pellse):**

Localizada na região norte do Município, compondo-se em sua maioria por migmatitos, apresenta solos de colúvio que é um solo transportado a longas distâncias, e não possuem mais as características mineralógicas da rocha de origem. Esses solos são constituídos por lateritas. As rochas desta unidade fazem contatos transicionais com as rochas da unidade São Fidélis.

A textura, de um modo geral, varia normalmente de granoblástica a porfiroblástica, e a granulação situa-se no parâmetro médio.

Os minerais mais importantes são: plagioclásio, oligoclásio a andesina, quartzo, k-feldspato, apatita, allanita, hornblenda e zircão.

As rochas desta unidade fazem contatos transicionais com as rochas da unidade São Fidelis.

- **Unidade Angelim (Pellag):**

Esta unidade também se encontra presente somente ao norte do Município de Campos, constituída por gnaisses, e rochas de caráter homogêneo e apresenta contato definido ao longo de falhas com as unidades São Fidélis e Bela Joana, apresentando também, contato bem nítido com os sedimentos terciários da Formação Barreiras, ao sul da Folha Morro do Coco, devido às exposições da Unidade pré-cambriana, nesta localidade. Esta unidade geomorfológica e caracterizada pelo solo bem evoluído.

De um modo geral, são rochas de caráter homogêneo, com granulação média a grosseira e coloração variando de cinza-clara a cinza-escura. Quase sempre são rochas porfiroblásticas com os porfiroblastos de feldspatos, de cor branco-leitosa, alinhados segundo uma sutil orientação, fazendo desenvolver uma incipiente foliação nessas rochas.

Petrograficamente são compostas pelos seguintes minerais: plagioclásio, k-feldspato, quartzo, biotita e hornblenda. A granada está presente em algumas lâminas, mas com percentual sempre abaixo de 1%. Os minerais acessórios são: zircão, apatita, allanita e muscovita.

- **Unidade Desengano (PεIIIde):**

Temos nesta unidade um pequeno trecho localizado no limite do Município de Campos com o Município de Santa Maria Madalena, sendo que, de acordo com DNPM, esta unidade está inserida na unidade São Fidélis.

É constituída por gnaisses de granulação média a fina e textura granoblástica.

Os principais minerais são: quartzo, microlina, ortoclásio, biotita e plagioclásio.

- **Corpo Magmático Intrusivo (Granito):**

Também designado Granitos do Itaóca e de Morro do Coco.

O corpo granítico que constitui a Serra do Itaóca é composto por rochas graníticas, dominado o tipo porfiróide, com orientação incipiente de megacristais tabulares de feldspato cinzento. Sendo um pequeno corpo circular no Morro do Coco.

A) Geologia Fanerozóico

Nas bacias sedimentares podem se depositar milhares de metros de espessura de sedimentos de origem bastante diversa, isto porque, na medida em que as espessuras aumentam, a depressão cresce em virtude do peso criado.

A bacia de campos possui sedimentos que sofreram erosão, transporte e deposição, seguido de compactação formada a partir do Cretáceo e Terciário que deram origem aos tabuleiros que são sedimentos arenosos e argilosos (solos depositados), e foram depositados também sedimentos do quaternário formados por depósitos de ambientes fluviais e marinhos do período de transgressão e regressão do nível do mar.

Na região de Campos dos Goytacazes, podemos encontrar desde serras, colinas, tabuleiros e baixada (Figura 24).

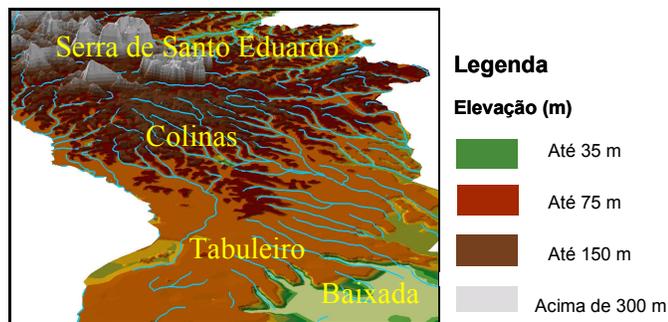


Figura 24. Visualização 3D da transição entre serra, colina, tabuleiro e baixada campista.
Fonte: RIBEIRO, 2006.

Segundo estudos realizados pelo PROJIR (1984), os sedimentos quaternários podem ser agrupados em dois tipos: marinhos e flúvio – lacustres.

Os sedimentos marinhos são constituídos exclusivamente de areias quartzosas litorâneas de coloração amarelada e acinzentada. São geralmente, bem selecionadas, com granulometria variando de fina a grossa, por vezes conglomeráticas e com grãos variando de subangulares a subarredondados, sendo os grosseiros bem arredondados. Apresentam, em alguns locais, estruturas tais como: estratificação cruzada e estruturas convoluídas, ambas típicas de leque de arrombamento; assim como estratificações plano–paralelas. Geralmente estas areias formam as cúspides de lagunas e os cordões litorâneos.

Os sedimentos flúvio – lacustres apresentam uma litologia diversa, de acordo com a sua origem. Os sedimentos fluviais são constituídos por argilas e siltes, micáceos, de coloração acinzentada, formando planícies de inundação. Também faz parte deles, as areias quartzosas de coloração branco–amarelado, geralmente mal selecionadas, com granulometria variando de média a grosseira, subangular, de canal fluvial. Estas areias podem apresentar estratificações cruzadas.

Ferrari *et al.* (1981), no Projeto Carta Geológica do DRM-RJ (Bloco Campos), relata as seguintes unidades geológicas:

- **Sedimentos Terciários (Tb):** ocorre alongado segundo uma faixa diagonal que atravessa a área de estudo na direção NE-SW, interpondo-se, grosso modo, entre o domínio das rochas pré-cambrianas e os sedimentos quaternários. Suas melhores exposições e maiores extensões encontram-se desde a margem norte do rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Campos, até às proximidades do limite com o Estado do Espírito Santo. Esta unidade é constituída por sedimentos continentais, desde arenoso, areno-argiloso a argiloso;
- **Sedimentos Litorâneos (Qc):** os cordões litorâneos são corpos sedimentares individualmente estreitos e alongados, alturas individuais entre 1 a 3 metros, paralelos entre si, separados por vales e apresentando como estrutura uma estratificação plano-paralela. Os sedimentos que pertencem a esta unidade ocorrem nas regiões leste e sul do município, tendo como limites: o Oceano Atlântico, os sedimentos terciários da Formação Barreiras e os sedimentos quaternários da planície de inundação. Esta unidade

apresenta seus contatos laterais bem definidos com as demais unidades quaternárias e os sedimentos da Fm Barreiras.

Estes sedimentos são constituídos de areias quartzosas litorâneas, de coloração esbranquiçada, por vezes amarelada e acastanhada. Apresentam uma seleção razoável, a granulometria varia de fina a muito grossa, chegando às vezes a ser conglomerática e os seus grãos, em relação ao grau de arredondamento, variam de subarredondados a arredondados. Podem também associar-se a grãos de feldspato, mica e minerais pesados;

- **Sedimentos Fluviais (Qp):** os sedimentos fluviais que compõem esta unidade ocupam a planície costeira de Campos, também denominada Baixada Campista, com cota máxima da ordem de 13m e acompanham principalmente os baixos cursos dos rios Paraíba do Sul, Ururaí, Muriaé e Macabu. A seqüência sedimentar desta unidade é composta por argilas, argilas-sílticas e siltes, de planície de inundação.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Descrição do Material

Para a realização do trabalho foram utilizados vários materiais cartográficos digitais e softwares, detalhados a seguir:

6.1.1. Materiais Cartográficos Digitais

- Mapa pedológico (Modificado de CPRM/RJ, 2001 por COSTA, 2005) – Escala: 1:650.000;
- Mapa de profundidade do lençol freático (Gerado a partir de dados de profundidade de poços rasos coletados por (COSTA, 2005), (ROCHA, 2004) e (PROJIR, 1984), vide anexo 2 – Escala: 1:650.000;
- Mapa hidrográfico (Ribeiro, 2006) – Escala: 1:650.000;
- Mapa viário (Modificado de CIDE, por COSTA 2005) – Escala: 1:100.000;
- Mapa de Núcleos urbanos (COSTA, 2008) – Escala: 1:650.000;
- Mapa geológico-geotécnico (COSTA, 2008) – Escala: 1:500.000;
- Mapa geomorfológico (Modificado de CPRM, 2001 por COSTA, 2005) – Escala: 1:600.000.

6.1.2. Softwares

- Software GIS Idrisi32, Version 132.2, maio de 2001, ©The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis – utilizado na geração, manipulação e análises espaciais das imagens em formato raster;
- Software GIS ArcView 3.2a, ©Environmental Systems Research Institute, Inc. – utilizado no layout final para impressão das imagens raster.

6.2. Descrição da Metodologia

A proposta metodológica utilizada neste trabalho para a seleção de áreas para implantação de aterro utiliza a lógica fuzzy e a análise multicritério e compreende o levantamento e a análise dos condicionantes, através da aquisição, armazenamento, descrição e posterior análise espacial.

Utilizando-se da análise multicritério, cruzaram-se os mapas: Pedológico, Profundidade do lençol freático, Hidrográfico, Sistema Viário, Núcleos urbanos, Geológico-geotécnico e Geomorfológico da área de estudo. Propôs-se uma relação de importância entre os fatores envolvidos no processo, padronizando-se cada fator

numa escala de 0 à 255. E cruzaram-se diversas combinações de mapas, com o intuito de comparar os resultados.

6.3. Estabelecimento dos Critérios

Os critérios foram estabelecidos levando-se em consideração os fatores (de cada critério) que influenciam na localização de um aterro.

6.3.1. Critérios restritivos (restrições)

As restrições são um tipo de critério que restringem a solução do problema, excluindo áreas de acordo com determinadas condições.

Os critérios restritivos representam restrições absolutas à implantação do aterro e descartam todas as áreas que não atendem a alguma restrição que elas representam.

As restrições foram consideradas de acordo com a Tabela 05.

Tabela 05. Descrição das restrições adotadas.

ID	DESCRIÇÃO
R1	Distância mínima de 200m (“buffer”) de qualquer coleção hídrica ou curso d’água (de acordo com a NBR 13.896/97).
R2	Distância mínima de 200m (“buffer”) do sistema viário.
R3	Limite do município de Campos dos Goytacazes.
R4	Distância mínima de 500m (“buffer”) dos núcleos populacionais (NBR 13.896/97).

6.3.2. Critérios escalonados (fatores)

Fatores, por outro lado, são critérios que definem algum grau de aptidão para a área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas. Na Tabela 06 são mostradas as funções utilizadas para normalizar os dados e seus respectivos pontos de inflexão.

Tabela 06. Fatores, Funções Fuzzy adotadas e seus respectivos pontos de controle.
Fonte: Adaptado de NBR 13896/97, MENEZES (1995), Mc BEAN (1995), ANDRADE (1999), LIMA (1999), MASSUNARI (2000) e MARQUES (2001).

ID	DESCRIÇÃO	d _{min}	Função Fuzzy	Pontos de Controle			
				a	b	c	d
F1	Pedologia	-	Escala [0-255]	-			
F2	Geológico-geotécnico	-	Escala [0-255]	-			
F3	Geomorfologia	-	Escala [0-255]	-			
F4	Profundidade do lençol freático	-	Escala [0-255]	-			
F5	Hidrografia – distância mínima de 200m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água (de acordo com a NBR 13.896/97).	200 m	Sigmoidal monotônica crescente	200 m	700 m	700 m	700 m
F6	Sistema viário – distâncias acima de 700m oneram sensivelmente os custos de operação.	500 m	J monotônica decrescente	500 m	500 m	500 m	700 m
F7	Núcleos populacionais – distância mínima de 500m dos núcleos populacionais (de acordo com a NBR 13.896/97).	500 m	Linear monotônica crescente	500 m	700 m	700 m	700 m

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

Serve para hierarquizar cada variável, descrevendo a variação da adequabilidade para a implantação do aterro. No presente trabalho, as variáveis foram escalonadas para o intervalo *byte* [0 – 255], onde [0] seria a menor adequabilidade possível e [255] a máxima.

A padronização pode seguir curvas, que correspondem a funções *fuzzy* estabelecendo limites inferiores e superiores de aptidão, restringir-se a limites e considerar apenas distâncias máximas.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A localização de aterro trata-se de um processo de decisão que leva em consideração diversos fatores que no processo consistirá na avaliação das áreas com maior adequabilidade para o uso em estudo, dentro de um determinado espaço geográfico.

Visando uma localização que agrida o menos possível o meio ambiente, utilizou-se a análise multicritério para combinar diversas informações de maneira a se tomar a melhor decisão possível. A decisão é a escolha entre várias alternativas que podem representar diferentes localizações, planos, classificações ou hipóteses sobre um fenômeno.

7.1. Descrição e justificativa dos critérios (restrições e fatores)

A seguir, apresenta-se a descrição e a justificativa dos critérios adotados no presente trabalho.

A) Restrições

- **Distância mínima de 200m (“buffer”) de qualquer coleção hídrica ou curso d’água (R1).**

Fixada em 200 metros, visa preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes, de acordo com o que estabelece a legislação em relação à distância de cursos e corpos d’água. Assim, somente áreas com distâncias de cursos e corpos d’água superiores que a especificada na legislação são consideradas na análise.

- **Distância mínima de 200m (“buffer”) do sistema viário (R2).**

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

- **Limite do município de Campos dos Goytacazes (R3).**

Restringe a área de análise aos limites do município, ou seja, somente áreas localizadas dentro do território do município interessam na análise, sendo as demais excluídas. Convém enfatizar que em muitas análises, o território de um mesmo município torna-se inviável, pois municípios vizinhos podem dispor de áreas muito mais apropriadas para a instalação do aterro, o que torna necessário, uma negociação entre as partes.

- **Distância mínima de 500m (“buffer”) dos núcleos populacionais (sede e distritos) (R4).**

Esse critério objetiva minimizar os efeitos negativos provenientes do impacto causado pelo aterro junto a população, minimizando o contato da população e diminuindo o cheiro desagradável e a poeira provenientes do aterro, de acordo com a NBR 13.896/97.

B) Critérios escalonados (Fatores)

- **Pedologia (F1).**

Para a normalização das classes pedológicas, reclassificou-se o mapa pedológico atribuindo às classes valores de 0 a 255 (conforme pode-se ver na Tabela 07). Essa reclassificação levou em consideração a permeabilidade dos solos e sua capacidade de filtragem, ou seja, de reter os contaminantes encontrados nos resíduos. Áreas com valores mais altos representam maior adequabilidade ao empreendimento, ou seja, mais permeáveis e com maior capacidade de filtragem, enquanto que áreas com menores valores representam regiões menos adequadas (menos permeáveis e com menos capacidade de filtragem).

Para atribuir valores às classes de solos, levou-se em consideração as características que influenciam na classificação dos solos: CTC, permeabilidade, horizonte diagnóstico, Saturação por bases, Porosidade, Atividade da fração argila, Textura (granulometria), espessura, etc. Abaixo tem-se a definição dessas características e a comparação entre as classes de solos que foram determinantes para a normalização das classes e para a valoração de adequabilidade de cada uma.

Tabela 07. Normalização das classes pedológicas.

Classe de Solo	Valor atribuído
Latossolo Amarelo	255
Latossolo Vermelho-amarelo	255
Argissolo Amarelo	220
Argissolo Vermelho-Amarelo	190
Argissolo Vermelho-Escuro	160
Cambissolo Eutrófico	128
Cambissolo Álico	128
Neossolo Flúvico	64
Neossolo Litólico	64
Espodossolo	0
Gleissolo	0
Organossolo	0

- **Material orgânico x Material mineral**

Observando as características explicitadas no capítulo 4.6.4, pode-se concluir que solos minerais são mais propícios à construção de aterros, pois são mais estáveis do ponto de vista da diminuição do volume, além do que solos orgânicos ocorrem geralmente em ambientes mal drenados, o que o torna inapto ao empreendimento proposto, uma vez que a ocorrência do lençol em pequena profundidade pode causar contaminação do mesmo. Assim, características que tornariam os solos orgânicos aptos como a porosidade e a CTC elevada, só dariam a mesma aptidão, caso fossem feitas obras de drenagem e compactação.

- **Hidromorfismo**

Indica ambiente onde o lençol freático está bem próximo à superfície do terreno, podendo ultrapassá-la em períodos mais chuvosos.

Assim, conclui-se que solos hidromórficos estão localizados em áreas menos aptas a construção de aterros do que solos não hidromórficos, pois o lençol alto é mais fácil de ser contaminado por substâncias provenientes da decomposição do lixo.

- **Textura (Composição granulométrica)**

Solos com textura unitária apresentam discreto aumento de argila ao longo do perfil, logo apresentam pequena relação textural e apresentam, em geral, comportamento hídrico semelhante ao longo do perfil.

Solos com textura binária apresentam aumento significativo de argila do horizonte B em relação ao horizonte suprajacente, com textura constatante ou mudança textural abrupta, o comportamento hídrico apresenta variações ao longo do perfil.

Para o propósito deste trabalho, pretendemos escolher áreas para a implantação de aterros controlados, cujos solos possuam alta permeabilidade, porém com capacidade de retenção de poluentes. Solos arenosos oferecem inexpressiva capacidade filtrante e elevada permeabilidade, enquanto solos argilosos possuem menor permeabilidade e maior capacidade filtrante, portanto, consideraremos, solos com textura média mais adequados ao empreendimento.

- **Incremento de argila (acumulação)**

Característica utilizada exclusivamente com o horizonte B para designar relevante acumulação ou concentração de argila (fração <0,002mm), que pode ter

sido translocada por iluviação como pode ter sido formada no próprio horizonte, com concentração relativa, devido à destruição ou perda de argila do horizonte A ou E.

Solos com incremento de argila no horizonte B subentende-se solos com menor permeabilidade nesse horizonte, podendo, todo líquido que por ele penetrar, acumular-se sobre esse horizonte ou escoar para as laterais, quando de encontro com este, por apresentar baixa permeabilidade.

Solos com essa característica tem menor aptidão para a instalação de aterros, já que não devemos implantar aterros em áreas sujeitas a alagamentos, devido a maior probabilidade de contaminação dos cursos d'água.

- **Atividade da argila**

Importante propriedade dos solos quando se trata de áreas para implantação de aterros, uma vez que há retenção de cátions e ânions e que estes estão presentes em grande quantidade no chorume e que devem ficar retidos no solo, para que não sejam levados para o lençol freático.

Quanto maior a CTC mais apto é o solo para a implantação de aterros.

- **Permeabilidade**

Devemos observar que a classe de permeabilidade do solo é comandada pela permeabilidade de seu horizonte menos permeável. Solos anisotrópicos podem apresentar permeabilidade rápida em superfície, porém a permeabilidade do perfil é considerada lenta devido à presença de B textural pouco permeável.

Se formos analisar a permeabilidade do solo como uma característica separada para avaliar áreas para construção de aterro e como queremos áreas muito permeáveis, solos arenosos seriam mais aptos.

- **Porosidade**

Conjunto de vazios de tamanhos variados existentes no solo: poros, fendas, canais, etc. Sua quantidade, diâmetro, formas, rugosidade e tortuosidade são de extrema importância, pois influenciam no fluxo e no armazenamento de gases e líquidos.

Os poros podem ser classificados em microporos e macroporos, assim solos argilosos apresentam grande microporosidade enquanto que solos arenosos apresentam grande macroporosidade. Porém, solos argilosos podem possuir também grande macroporosidade dada pela agregação (estrutura).

Em geral, devido ao tamanho dos poros, os solos arenosos são mais permeáveis que os solos argilosos, pois, a água é retida com mais força nos poros menores, nos poros maiores, a própria gravidade remove a água.

- **Horizonte diagnóstico**

Observando as características dos horizontes definidas no capítulo 4.6.4, e analisando somente os horizontes diagnósticos podemos fazer ordenação em função do grau de adequabilidade dos mesmos da seguinte maneira:

1 - Horizonte B latossólico (Bw) é mais apto ao empreendimento, pois possui textura arenosa ou mais fina, é um horizonte bem permeável e, além disso, possui uma zona de aeração que o torna bastante adequado à construção de aterros;

2 - Horizonte B incipiente (Bi), por possuir CTC elevada, propicia a retenção de cátions e ânions, presentes no chorume, no solo, para que não seja levado para o lençol freático, além de possuir textura média e argilosa;

3 - Horizonte B textural (Bt), possui textura franco-arenosa ou mais fina e possui incremento de argila, logo, possui menor permeabilidade nesse horizonte. Solos com essa característica tem menor aptidão para a instalação de aterros, pois essa camada menos permeável funciona como uma barreira ao fluxo, o que pode resultar numa área alagadiça;

4 - Horizonte A proeminente e A húmico, quando comparamos esses dois horizontes, percebemos que são pouco propícios para o empreendimento devido ao A proeminente ser pouco provido de bases trocáveis (distróficos) e o A húmico, apesar de ter boa permeabilidade, tem a presença de grande quantidade de material orgânico. Se comparamos um em relação ao outro, o A proeminente seria mais propício que o A húmico;

5 - Horizonte glei, o maior impedimento desse horizonte está na sua formação em ambiente palustre, o que deixa o lençol numa condição de muito risco de contaminação;

6 - Horizonte espódico é um horizonte bem permeável e que possui menor capacidade filtrante, além de ser um solo de textura grosseira, pobre quimicamente e com elevada condutividade. Possui ainda como impedimento o lençol freático a pequena profundidade e a baixa capacidade de adsorção.

Levando-se em consideração as características citadas e explicitadas anteriormente, foi feita a normalização das classes pedológicas para a construção de aterro, conforme se pode ver na Tabela 07.

Abaixo, temos a ordem de importância das classes pedológicas e a uma breve explicação acerca da ordenação.

1 – Latossolo:

Amarelo, Vermelho-amarelo;

2 – Argissolo:

Amarelo;

Vermelho-amarelo;

Vermelho-escuro;

3 – Cambissolo:

Álico e eutrófico;

4 – Neossolo:

Flúvico e litólico;

5 – Espodossolo, Gleissolo e Organossolo.

Os Latossolos foram escolhidos como de máxima adequabilidade (255) para a construção de aterros por serem solos minerais, logo, mais estáveis do ponto de vista da diminuição do volume, não hidromórficos, com horizonte Bw que possui zona de aeração e textura média, além de ter elevada permeabilidade, sendo, assim, bem acentuadamente drenados. Dentro das classes dos latossolos presentes na área, não faremos distinção, uma vez que as mesmas possuem características semelhantes.

Em seguida estão os Argissolos, por serem solos minerais e não hidromórficos como os latossolos e bem drenados e com alto gradiente textural, o que o satisfaz as exigências que se espera para área.

Dentro da classe dos argissolos, o argissolo amarelo tem maior adequabilidade (220), por estar em regiões de relevo suave. Em seguida temos o argissolo vermelho-amarelo (190) cujas regiões de maior ocorrência são as de relevo ondulado a montanhoso e que possuem textura média argilosa a média muito argilosa, o que o torna menos permeável que o amarelo. Por ultimo temos os argissolos vermelho-escuro (160), que se situam em áreas de relevo montanhoso a forte ondulado, regiões essas ruins para a construção de aterro.

Na classe dos cambissolos, que se dividem em álico e eutrófico, temos mesma adequabilidade (média adequabilidade – 128) para ambos. Essa classe compreende solos minerais e não hidromórficos, com horizonte Bi, o que lhe caracteriza com alta CTC, dando a essa classe uma importante propriedade de retenção de cátions e ânions, que no caso de aterro estão em grande quantidade no chorume. Possui textura média a argilosa, sendo bem a moderadamente drenados.

A adequabilidade dos Neossolos tem valor abaixo da média (64), por serem solos situados em regiões de depósitos aluviais (flúvicos) no baixo curso do rio, região com elevado risco de contaminação dos mananciais e em regiões serranas, cuja declividade não é propícia à construção de aterros. Assim, deu-se mesmo valor de adequabilidade a ambos os tipos de neossolos.

Os solos classificados como Espodossolo, Gleissolo e Organossolo serão considerados de adequabilidade nula (0) para a análise, por serem solos hidromórficos, mal a muito mal drenados e com presença de lençol freático a pequena profundidade.

Assim, quanto mais favoráveis às características dos solos nas unidades de mapeamento, maior sua aptidão á implantação de um aterro. Assim, os latossolos são considerados os mais adequados e os espodossolos, gleissolos e organossolos os menos adequados, com adequabilidade nula.

- **Geológico-geotécnico (F2).**

Para a normalização das classes geológicas-geotécnicas, reclassificou-se o mapa geológico-geotécnico atribuindo às classes valores de 0 a 255 (conforme pode-se ver na Tabela 08). Essa reclassificação levou em consideração as texturas dos sedimentos que compõem cada classe. Áreas com valores mais altos representam maior adequabilidade ao empreendimento enquanto que áreas com menores valores representam regiões menos adequadas.

Tabela 08. Normalização das classes geológicas-geotécnicas.

Classe geológica-geotécnica	Valor atribuído
Unidades de Baixada	
Solos arenoso-argilosos e argiloso-arenoso sobre substrato aluvial e marinho	64
Associação de Solos orgânicos e argilosos sobre substrato flúvio-lagunar	0
Cordões litorâneos – Solos arenosos sobre substrato marinho	0
Solos originados por sedimentos fluviais – granulometria variável, sujeitos a inundações periódicas	0
Unidade Elevadas	
Suave ondulado	
Depósitos de Formação Barreiras – Solos argilosos e argilo-arenosos sobre substrato fluvial	255
Relevo forte	
Afloramentos de rochas	0
Tálus/Colúvio/Afloramento – depositado nas encostas ou sopés das principais elevações	0
Relevo suave a ondulado	
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR - Granito	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR/Blocos/Afloramentos	100
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Angelim	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Bela Joana	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Desengano	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade São Fidelis	200
Colúvio (0,5 a 1,5m)/SR – Unidade Santo Eduardo	200

Para a normalização das unidades geológicas-geotécnicas, levou-se em consideração sua classificação geotécnica. Os Depósitos de formação Barreiras são os mais adequados ao empreendimento, seguidos dos solos residuais, colúvios, tálus e afloramentos de rochas.

Para as unidades de baixada, considerou-se mesma valoração que a adotada para pedologia, logo, os organossolos, gleissolos e espodossolo, possuem adequabilidade nula ao empreendimento proposto, devido aos mesmos fatores já explicitados no item 7.1. seção B.

O mapeamento geológico-geotécnico utilizado nesta análise foi feito de maneira geral, e nele não existe um estudo de fraturamento dos maciços rochosos, para tal, seria necessário um estudo mais detalhado. O estudo de fraturamento indica áreas de risco onde podem ocorrer lascas, blocos instáveis e deslizamentos. Assim, como não se tem maiores informações sobre os afloramentos rochosos, considerou-se essa classe de adequabilidade nula.

Os cordões litorâneos receberam valor 0 por se tratar de área de preservação ambiental.

Os Depósitos de Formação Barreiras são considerados de adequabilidade máxima, por serem solos situados em regiões de relevo mais abatido, tendo, portanto maiores espessuras dos solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, bem drenados e com relevo aplainado. São solos com boa capacidade de suporte de cargas e lençol profundo.

A classe de colúvio, solo transportado, encontrado principalmente em encostas e solo residual (SR), são consideradas de adequabilidade alta, porém não máxima, por ser de grande espessura, porém formadas por solos transportados e estarem localizadas nas encostas.

As classes onde encontramos Tálus são consideradas de adequabilidade nula, por possuírem afloramentos rochosos, serem de solos menos evoluídos, logo tem menor espessura de solo (rasos). Além de terem grande heterogeneidade granulométrica (variação do tamanho dos sedimentos) e litológica o que os torna mais instáveis, com baixa trabalhabilidade, possuindo maior risco de deslizamento de blocos e solos, tornando as operações de execução de obras mais arriscadas, principalmente as de escavação.

As classes onde encontramos Colúvio/SR/Blocos/Afloramentos foram consideradas de adequabilidade mais baixa por serem formadas de materiais

variados, entre eles, afloramentos de rochas, que são menos permeáveis e mais instáveis.

- **Geomorfologia (F3).**

Para a normalização das classes geomorfológicas, reclassificou-se o mapa geológico atribuindo às classes valores de 0 a 255, levando-se em consideração o relevo da região (conforme pode-se ver na Tabela 09). Áreas com valores mais altos representam maior adequabilidade ao empreendimento enquanto que áreas com menores valores representam regiões menos adequadas.

Tabela 09. Normalização das classes geomorfológicas.

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

Abaixo tem-se a comparação entre as classes geomorfológicas utilizando os fatores que foram determinantes para a normalização dessas classes e para a valoração de adequabilidade de cada uma.

A Tabela 10, lista as principais características utilizadas para normalização das classes geomorfológicas.

Tabela 10. Principais características consideradas na normalização das classes geomorfológicas.

Geomorfologia	Relevo	Amplitudes topográficas	Gradiente	Solos
Domínio Serrano	Montanhoso, extremamente acidentado.	> 400m	Elevado	Colúvio e tálus Solos rasos
Colinas Isoladas	Vertentes convexas com topos arredondados ou alongados.	<100m	Suaves	Colúvios
Domínio Colinoso Suave	Colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados.	100 - 200m	Suaves a médios	Colúvios e alúvios
Domínio Suave Colinoso	Colinas pouco dissecadas com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados.	<50m	Suaves	Colúvios e Alúvios
Serras Isoladas	Montanhoso, extremamente acidentado.	>200m	Muito elevados	-
Planícies Aluviais	Planícies de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais, vales dos rios.	-	Muito suaves	Sedimentos de origem fluvial e fluvio-lagunares
Planícies Costeiras	Planícies de terraços marinhos.	<20m	Muito suaves	Arenosos
Planícies Colúvio-Alúvio-Marinha	Baixadas.	-	Extremamente suaves	Argilo-arenosos
Planícies Flúvio-Lagunares	Baixadas alagadas, muito mal drenadas.	-	-	Argilosos orgânicos
Tabuleiros	Suavemente dissecado.	<50m	Extremamente suaves ou colinas tabulares	Sedimentação de colúvios e alúvios.

Levando-se em consideração as características acima e partindo-se do princípio que áreas propícias para a instalação de aterros são aquela com menor declividade e menor gradiente (sendo que a declividade 0 não é considerada de adequabilidade

máxima, pois são modelados de acumulação), normalizaram-se as classes conforme explicitado abaixo.

Atribuiu-se o valor [0] a classe Domínio Serrano, ou seja, adequabilidade nula, por ela apresentar relevo montanhoso, extremamente acidentado, sendo um modelado de dissecação.

A classe Colinas isoladas recebeu valor [50], ou seja, adequabilidade baixa, levando-se em consideração que apesar de estar localizada em regiões de gradiente mais suave, são regiões ainda bastante íngremes para construção de aterro.

Ao domínio suave colinoso atribui-se adequabilidade [200], levando-se em consideração seu gradiente suave e suas colinas pouco dissecadas. Esse relevo se assemelha muito aos Depósitos de Formação Barreiras, porém possuem maiores declividades. Sua aptidão ao empreendimento esta relacionada à dificuldade do fluxo de contaminantes, apesar de não evitá-lo.

O domínio colinoso suave recebeu adequabilidade [150], levando-se em consideração seu gradiente suave a médio. Apesar de ser um relevo muito parecido com o suave colinoso, está localizado em regiões um pouco mais íngremes, o que pode favorecer o fluxo de contaminantes, além de causar problemas operacionais.

As serras isoladas foram consideradas de adequabilidade nula [0], por estar localizada em região de relevo montanhoso e com gradientes muito elevados, sendo um modelado de dissecação.

A região dos tabuleiros recebeu adequabilidade máxima [255], pois possui gradiente extremamente suave ou colinas tabulares, o que as torna altamente adequadas ao empreendimento proposto.

As planícies receberam valor de adequabilidade máxima [255], pois quando são analisadas somente sobre o ponto de vista geomorfológico, estão localizadas em áreas de gradientes suaves, o que as torna aptas ao empreendimento.

- **Profundidade do lençol freático (F4).**

Para a normalização das classes de profundidade do lençol freático, levou-se em consideração a NBR 13.896/1997, que considera desejável uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 metros. Áreas que tenham lençol com profundidade inferior a 3,0 metros não devem ser propícias à construção de aterros, por serem de alto risco de contaminação. Considerou-se uma profundidade maior na análise para que se tenha menos risco à contaminação dos aquíferos subterrâneos.

Tabela 11. Normalização das classes de profundidade do lençol freático.

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

Assim, considerou-se para atribuir valores às classes que quanto mais profundo o lençol freático for, mais apta à área é ao empreendimento proposto. Escalonou-se os valores na escala de [0-255].

- **Hidrografia (F5).**

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

Para tal, utilizou-se da função fuzzy - sigmoidal monotônica crescente, presente no Idrisi (Figura 25), utilizando-se como pontos de controle $a=200m$ e $b, c, d=700m$.

Essa função é a mais utilizada entre as funções de fuzzificação, e é produzida através de uma função cosseno onde ao longo do eixo x temos quatro pontos que definem a forma da curva.

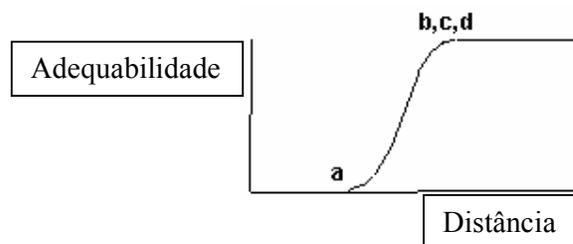


Figura 25. Função sigmoidal monotônica crescente.

Analisando-se a função fuzzy, percebe-se que áreas localizadas a menos de 200m de coleções hídricas ou cursos d'água, possuem adequabilidade nula [0], a partir de 200m, a adequabilidade cresce até 700m, a partir da qual se torna constante e máxima [255]. Conclui-se então que áreas mais distantes são as mais aptas ao empreendimento proposto.

- **Sistema viário (F6).**

Para normalização do sistema viário, utilizou-se a função fuzzy – J monotônica decrescente e considerou-se que distâncias acima de 700m oneram sensivelmente

os custos de operação do aterro, uma vez que a abertura de um acesso para a área encarece os custos de implantação e operação do aterro.

Para tal, utilizou-se da função fuzzy – J monotônica decrescente, presente no Idrisi (Figura 26), utilizando-se como pontos de controle a, b e c = 500m e d = 700m.

Função bastante comum, moldada de forma que o valor zero só será alcançado no infinito, de forma que a distância zero não existirá.

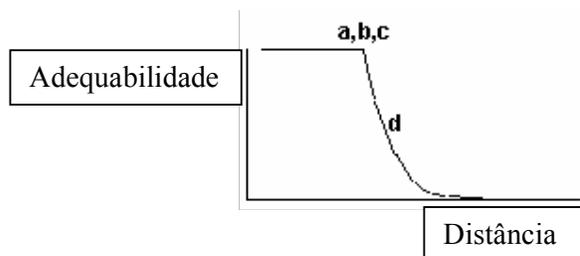


Figura 26. Função J monotônica decrescente.

Analisando-se a função fuzzy, percebe-se que em áreas localizadas até a distância de 500m do sistema viário a adequabilidade é máxima [255]. E a partir de 500m de distância do sistema viário a adequabilidade decresce até atingir adequabilidade quase nula a 700m de distância. Logo, quanto mais perto do sistema viário, mais apta a área é à construção do aterro, pois menores serão os custos de implantação do aterro.

- **Núcleos populacionais (F7).**

Para normalização do fator núcleos populacionais, utilizou-se a função fuzzy – Linear monotônica crescente (Figura 27) e considerou-se que acima de 500m de distância, onde a adequabilidade é nula [0], a adequabilidade aumenta até atingir 700m de distância, a partir dos 700m a adequabilidade é máxima [255].

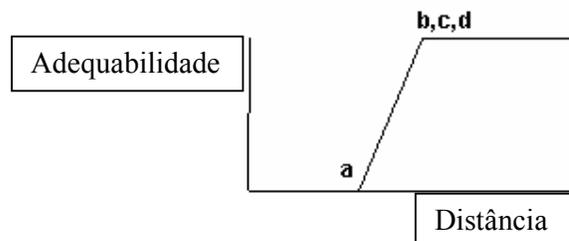


Figura 27. Função Linear monotônica crescente.

Assim, $a = 500\text{m}$ e $b, c \text{ e } d = 700\text{m}$.

Analisando-se a função fuzzy, percebe-se que em áreas localizadas a uma distância de 0 a 500m, entre os núcleos populacionais geradores do lixo e o aterro, a adequabilidade é mínima [0]. A partir de 500m de distância desses núcleos até 700m, escalonou-se o valor da adequabilidade, que cresce até atingir

adequabilidade máxima [255] na distância de 700m, acima do qual a aptidão não apresenta ganhos sensíveis. Logo, quanto mais longe dos núcleos populacionais, mais apta a área é à construção do aterro. Esse fator tem por finalidade minimizar o contato da população com a operação do aterro (de acordo com a NBR 13.896/97).

7.2. Ponderação das variáveis

7.2.1. Comparação par-a-par

Para decisão sobre a aptidão de uma área, estabeleceu-se uma ponderação das variáveis de acordo com sua importância, atribuindo pesos diferenciados no processo final de decisão.

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

7.2.2. Justificativa das ponderações adotadas

Considerações e justificativas das comparações par-a-par adotadas nos critérios escalonados (fatores):

- **Fator pedológico (F1) e Fator geológico-geotécnico (F2): 1**

Os fatores pedológico e geológico-geotécnico são de igual importância, pois apresentam características intrínsecas que os relacionam, uma vez que os solos têm aspectos inerentes à sua formação geológica.

- **Fator pedológico (F1) e Fator geomorfológico (F3): 3**

O fator pedológico é moderadamente mais importante do que o fator geomorfológico, pois é possível desenvolver operações no aterro em áreas de boa formação, mesmo em terrenos pouco íngremes.

- **Fator pedológico (F1) e Fator profundidade do lençol freático (F4): 3**

O fator pedológico é moderadamente mais importante do que o fator profundidade do lençol freático, pois considerando-se que o solo ideal para implantação de um aterro é aquele permeável e que funciona como filtro, o fator profundidade do lençol freático estará sendo protegido de contaminação.

- **Fator pedológico (F1) e Fator hidrografia (F5): 5**

O fator pedológico é fortemente mais importante do que o fator hidrografia, considerando-se, assim como o fator profundidade do lençol freático, que se o solo

estiver cumprindo seu papel de filtro, este fator estará sendo protegido. Além do que, a hidrografia, possui uma restrição de uso numa área de 200m ao seu redor o que garante ainda mais sua proteção.

- **Fator pedológico (F1) e Fator sistema viário (F6): 7**

O fator pedológico é muito fortemente mais importante do que o fator sistema viário, pois o custo de implantação e operação do aterro envolve investimentos maiores quando comparados com os gastos com equipamentos, manutenção e combustíveis para transporte do lixo. Além do que, o fator sistema viário possui uma restrição que visa proteger o sistema de impactos visuais.

- **Fator pedológico (F1) e Fator núcleos populacionais (F7): 9**

O fator pedológico é extremamente mais importante do que o fator núcleos populacionais, pois se o aterro estiver funcionando de maneira correta, os núcleos populacionais estarão protegidos. Além de estar sendo protegido por uma restrição, onde em uma área de 500m no entorno dos núcleos não pode se instalar aterro, protegendo assim a população.

- **Fator geológico-geotécnico (F2) e Fator geomorfológico (F3): 3**

O fator geológico-geotécnico é moderadamente mais importante do que o fator geomorfológico, pois acredita-se que a formação geológica é mais importante que a forma do terreno, uma vez que os critérios de declividade estão sendo atendidos (1-30%).

- **Fator geológico-geotécnico (F2) e Fator profundidade do lençol freático (F4): 3**

O fator geológico-geotécnico é moderadamente mais importante do que o fator profundidade do lençol freático, pois a classificação geológica-geotécnica pode interferir desfavoravelmente na infiltração dos contaminantes pelo perfil de solo.

- **Fator geológico-geotécnico (F2) e Fator hidrografia (F5): 5**

O fator geológico-geotécnico é fortemente mais importante do que o fator hidrografia, pois a classificação geológica-geotécnica pode interferir desfavoravelmente na infiltração dos contaminantes pelo solo.

- **Fator geológico-geotécnico (F2) e Fator sistema viário (F6): 7**

O fator geológico-geotécnico é muito fortemente mais importante do que o fator sistema viário, pois o custo de implantação e operação do aterro envolve investimentos maiores quando comparados com os gastos com equipamentos, manutenção e combustíveis pra transporte do lixo.

- **Fator geológico-geotécnico (F2) e Fator núcleos populacionais (F7): 9**

O fator geológico-geotécnico é extremamente mais importante do que o fator núcleos populacionais, pois se o aterro estiver funcionando de maneira correta, os núcleos populacionais estarão protegidos. Além disso, o fator núcleos populacionais esta sendo protegido por uma restrição, onde em uma área de 500m no entorno dos núcleos não se pode instalar aterro, protegendo assim a população.

- **Fator geomorfológico (F3) e Fator profundidade do lençol freático (F4): 3**

O fator geomorfológico é muito fortemente mais importante do que o fator profundidade do lençol freático, pois a geomorfologia interfere diretamente na infiltração do solo.

- **Fator geomorfológico (F3) e Fator hidrografia (F5): 5**

O fator geomorfológico é moderadamente mais importante do que o fator hidrografia, pois os corpos d'água estão sendo protegidos na análise por uma restrição.

- **Fator geomorfológico (F3) e Fator sistema viário (F6): 7**

O fator geomorfológico é muito fortemente mais importante do que o fator sistema viário, pois o custo de implantação e operação do aterro envolve investimentos maiores quando comparados com os gastos com equipamentos, manutenção e combustíveis para transporte do lixo. Além disso, o fator sistema viário está sendo protegido por uma restrição.

- **Fator geomorfológico (F3) e Fator núcleos populacionais (F7): 5**

O fator geomorfológico é fortemente mais importante que o fator núcleos populacionais, pois os núcleos populacionais estão sendo protegidos por uma restrição.

- **Fator profundidade do lençol freático (F4) e Fator hidrografia (F5): 5**

O fator profundidade do lençol freático é fortemente mais importante que o fator hidrografia pois o risco dos percolados provenientes da decomposição do lixo infiltrar e atingir o lençol freático é maior que o risco dele ser levado para corpos d'água superficiais.

- **Fator profundidade do lençol freático (F4) e Fator sistema viário (F6): 7**

O fator profundidade do lençol freático é muito fortemente mais importante que o fator sistema viário, por se tratar de um fator que visa à preservação dos mananciais sub-superficiais, enquanto o fator sistema viário visa exclusivamente economia de custo operacional. Além do que o fator sistema viário está sendo protegido por uma

restrição, onde em uma região de 200m no entorno do sistema viário não se pode instalar aterro.

- **Fator profundidade do lençol freático (F4) e Fator núcleos populacionais (F7): 7**

O fator profundidade do lençol freático é muito fortemente mais importante do que o fator núcleos populacionais, pois se o aterro estiver funcionando de maneira correta, os núcleos populacionais estarão protegidos. Além disso, o fator núcleos populacionais esta sendo protegido por uma restrição, onde em uma área de 500m no entorno dos núcleos não pode se instalar aterro, protegendo assim a população.

- **Fator hidrografia (F5) e Fator sistema viário (F6): 7**

O fator hidrografia é muito fortemente mais importante que o fator sistema viário, por se tratar de um fator que visa à preservação dos mananciais superficiais, enquanto o fator sistema viário visa exclusivamente economia de custo operacional e já esta sendo protegido, de impactos visuais, em sua restrição.

- **Fator hidrografia (F5) e Fator núcleos populacionais (F7): 3**

O fator hidrografia é moderadamente mais importante que o fator núcleos populacionais por se tratar de um fator que visa à proteção do meio ambiente.

- **Fator sistema viário (F6) e Fator núcleos populacionais (F7): 1**

O fator sistema viário e o fator núcleos populacionais são igualmente importantes, pois ambos são fatores operacionais.

7.3. Cálculo da área mínima

Atualmente, o município de Campos dos Goytacazes/RJ, apresenta uma população de 426.154 habitantes. Adotando-se uma produção de lixo per capita da ordem de 0,83Ger/pes/dia, densidade média do lixo de 0,80ton/m³ e uma vida útil de 10 anos (mínimo exigido pela NBR 13.896/97) Curty (2005), estimou a produção de lixo para este período e chegou ao volume de lixo para o ano de 2018 (4.631.900,4 m³).

Utilizando-se dos dados de Curty (2005), estimou-se a área do aterro levando-se em consideração a vida útil de 10 anos, utilizando-se o volume total de lixo gerado = 4.631.900,4 m³, média diária de lixo de 458,6 ton, peso específico de 0,80 ton/m³ e redução volumétrica de 1:4. Os parâmetros adotados para o projeto foram: camada de lixo = 0,70m (70%) e camada de cobertura = 0,20m (30%).

Assim, a área encontrada, para instalação do aterro, levando-se em consideração a acomodação de outras atividades operacionais do aterro, ou seja,

acrescentando-se uma área de 20%, é de 17,93ha, arredondando esse valor, optou-se por uma área mínima de 20ha.

7.3.1. Seleção das áreas com maior adequabilidade

Com as imagens de adequabilidade finais (Cenários 2, 3, 4 e 5) e área mínima necessária (20ha) definidas, é possível selecionar algumas áreas aptas à implantação do empreendimento. Antes disso, torna-se fundamental definir qual a adequabilidade mínima que as áreas devem possuir para que atendam às exigências impostas durante o processo. Acredita-se, que adequabilidades acima de 200 atendam aos critérios estabelecidos e que acima de 220 são ideais. Assim, adotou-se como adequabilidade mínima 220.

Utilizando-se uma MACRO desenvolvida no software Idrisi32, denominada SITESELECT, foi possível encontrar os melhores locais (adequabilidade acima de 220) que apresentam áreas superiores a 20ha.

7.4. Combinações dos critérios – Cenários de Avaliação

A fim de gerar diversos cenários para comparação, processaram-se várias análises multicritérios, utilizando-se as normalizações e ponderações propostas acima, combinando os fatores descritos anteriormente.

A discussão dos resultados da aplicação da proposta metodológica aqui proposta foi desenvolvida por nível de combinação de critérios. Foram cinco os níveis de combinação e estão divididos nos cinco cenários abaixo.

Foram definidas combinações e pesos para combinação par-a-par presente no módulo WEIGHT do Idrisi.

7.4.1. Cenário 1

Fator: Geológico-Geotécnico

Com o intuito de demonstrar como seria a análise se utilizássemos apenas o mapa geológico-geotécnico com os valores de adequabilidade, demonstra-se na Figura 28 esse mapa, onde áreas com maior adequabilidade são aquelas com valores maiores, ou seja, mais próximos de 255, e áreas com menores adequabilidades são aquelas onde temos valores menores, ou seja, mais próximos de 0.

Se considerarmos na análise somente a valoração do mapa geológico-geotécnico, conforme podemos observar na Figura 28, podemos notar que áreas

com tonalidade de verde mais escuro são as áreas mais aptas ao empreendimento proposto, enquanto que áreas em amarelo claro, são as menos aptas.

Com essa análise, podemos perceber, que mesmo sem dispor de grande quantidade de material cartográfico, podemos fazer uma análise simples para localização do aterro.

Mapa de adequabilidade Geológico-geotécnico

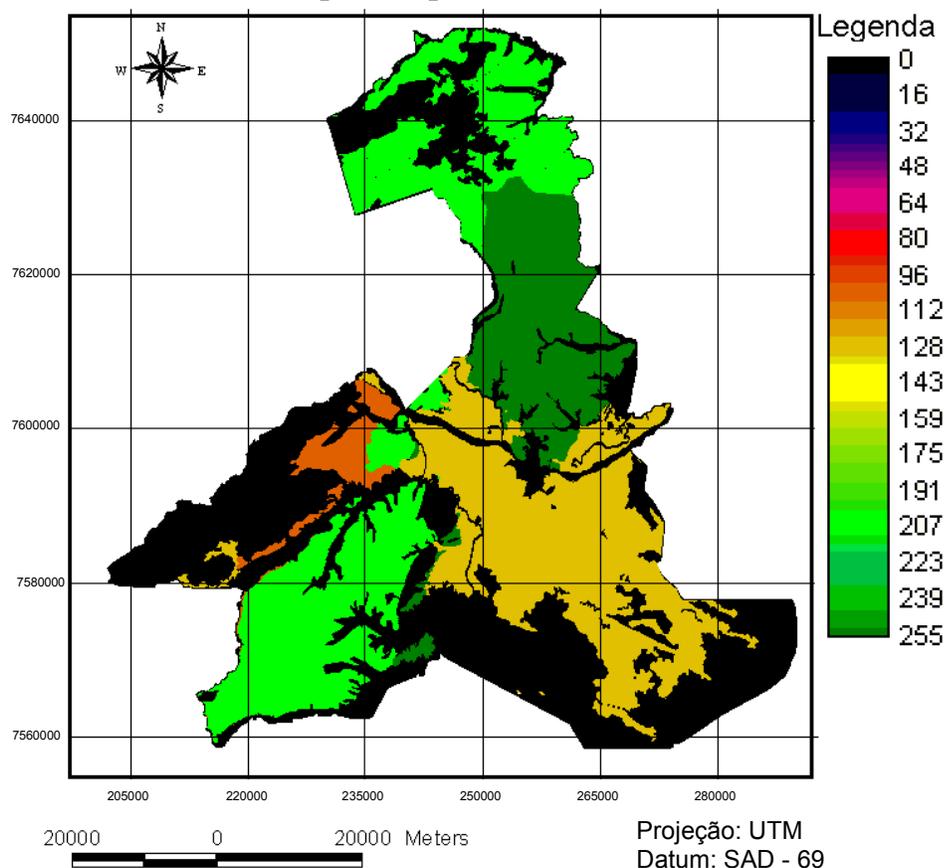


Figura 28. Imagem de adequabilidade utilizando a normalização do mapa Geológico-geotécnico (Cenário 1).

Neste cenário, pode-se observar claramente a influência da classe Depósito de Formação Barreiras na análise, pois essa classe foi considerada de maior adequabilidade na valoração do fator.

7.4.2. Cenário 2

MCE – Fatores: Pedológico, Geológico-geotécnico e Profundidade do lençol freático.

No segundo cenário proposto, foi utilizada a análise multicritério, usando-se somente os mapas valorados (fatores): Pedológico, Geológico-geotécnico e Profundidade do lençol freático. Na Figura 29, temos a imagem de adequabilidade gerada pelo Módulo MCE do Idrisi.

Imagem de adequabilidade - 2

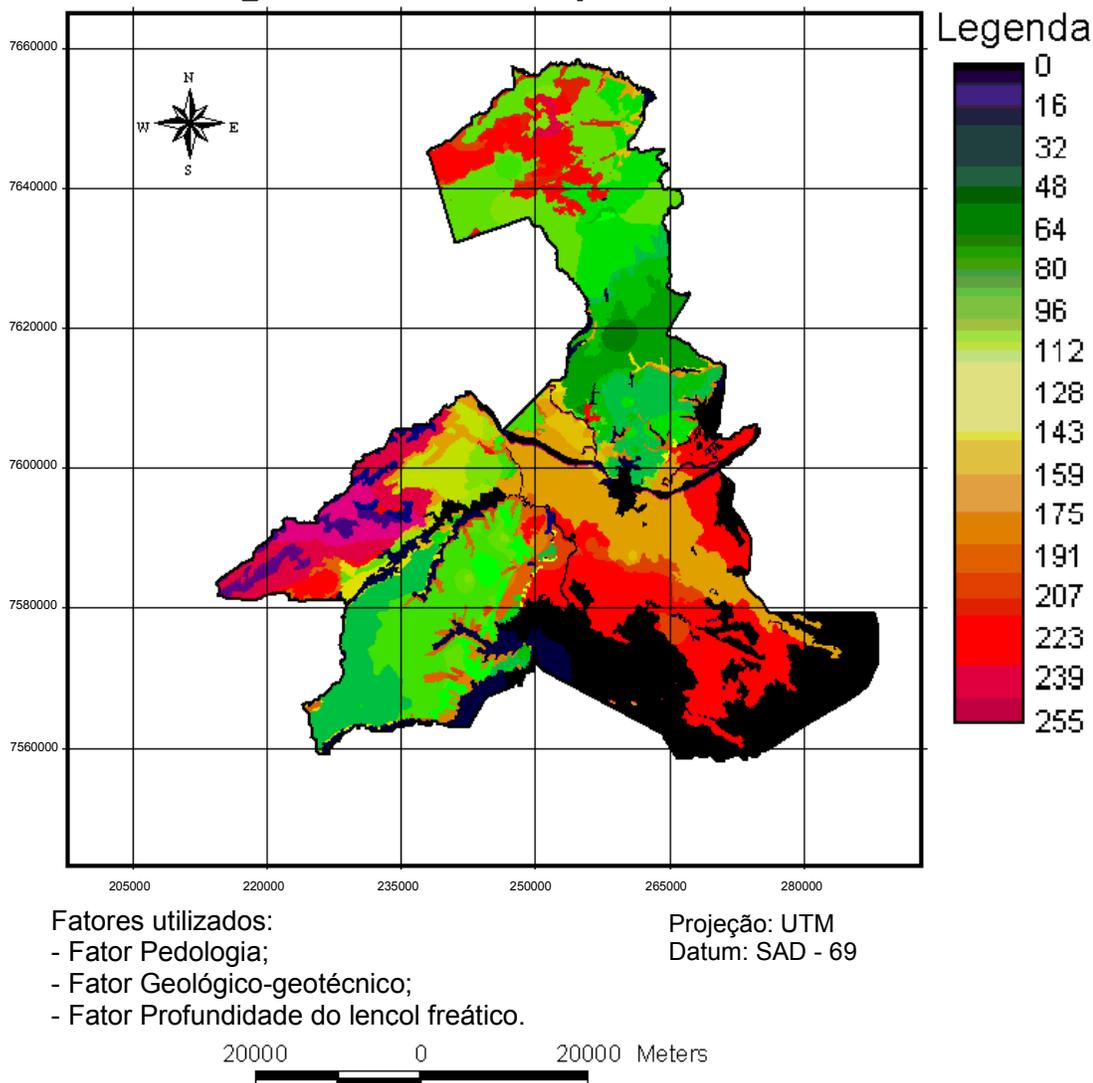


Figura 29. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia, Fator Geológico-geotécnico e Fator Profundidade do lençol freático (Cenário 2).

Na Imagem da Figura 29, áreas em tons de verde apresentam maiores adequabilidades, enquanto que áreas azuis ou pretas são menos adequadas. Nota-se a influência na análise das classes pedológicas dos latossolo amarelo e do latossolo vermelho- amarelo, da classe Depósito de Formação Barreiras e das classe de profundidade do lençol freático de 10 a 23m de profundidade.

Após o processamento do módulo MCE, utilizou-se da macro SITESELECT para encontrar regiões com adequabilidades superiores a 220 e que possuíssem áreas maiores que 20ha, conforme, pode-se ver na Figura 30.

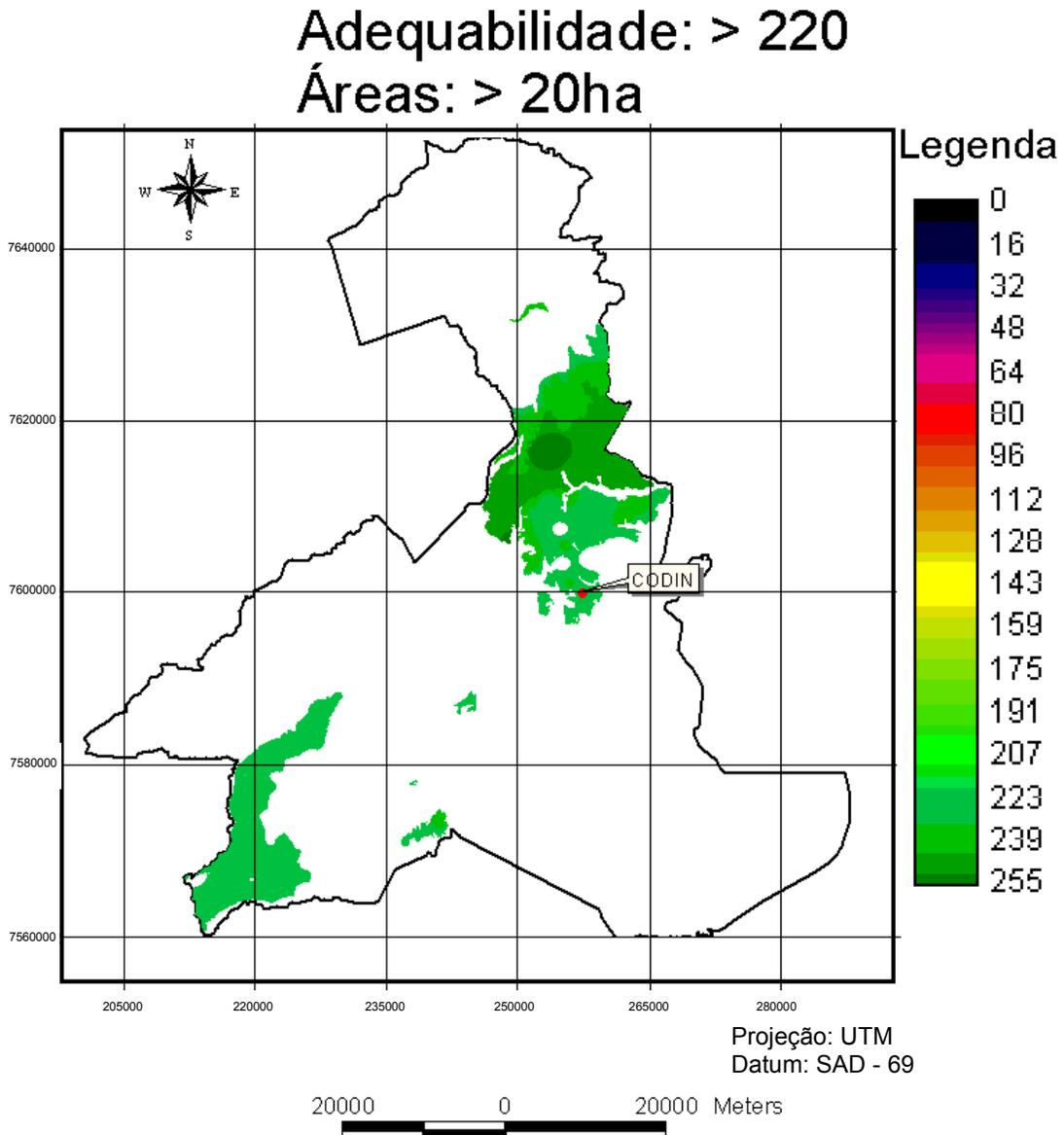


Figura 30. Macro SITESELECT (Cenário 2).

A área onde situa-se o atual aterro do município (CODIN), encontra-se dentro da área considerada apta nesta análise, porém, vale ressaltar que esse mapa de adequabilidade não levou em consideração todos os fatores que deveriam estar envolvidos na análise, e que algum fator podia excluir essa região das áreas de maior adequabilidade.

Foram encontradas, na imagem da Figura 29, 9 regiões com adequabilidade maior que 220 e área superior a 20ha (como pode-se ver na Figura 31 e na Tabela 12).

A Figura 31, mostra a imagem de categorias e de adequabilidade, resultante da análise multicritério, refinada com a utilização da Macro SITESELECT.

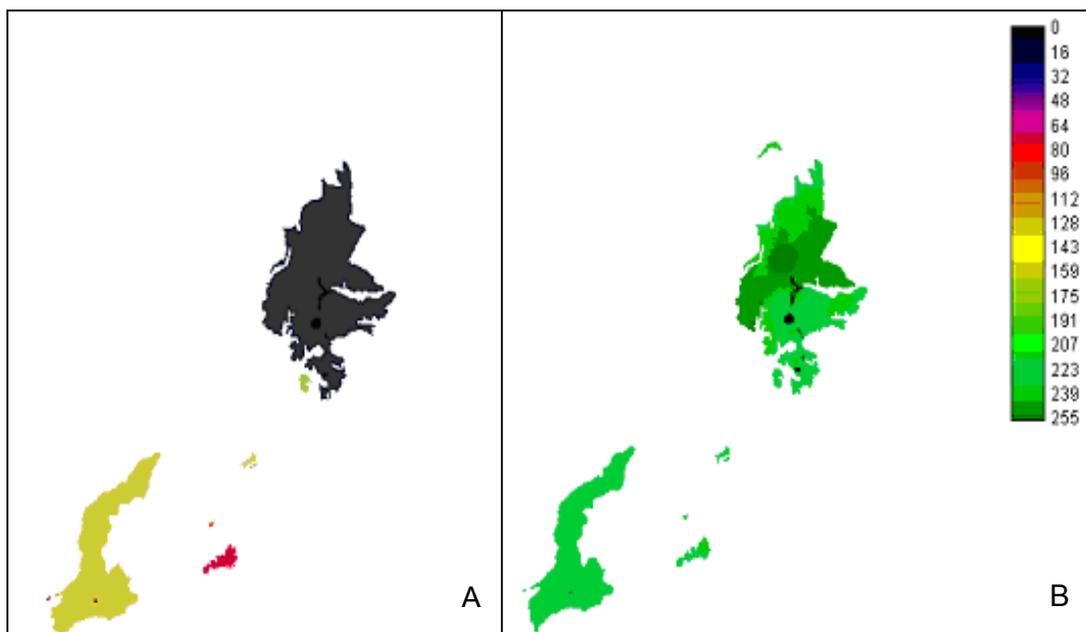


Figura 31. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (31A); Imagem com adequabilidade (31B) - Cenário 2.

Na Tabela 12 temos as categorias mostradas na Figura 31A e as áreas correspondentes a cada categoria.

Tabela 12. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 2).

Categoria	Hectares
2	278.5078
3	36289.4074
8	387.3561
10	286.7838
11	17649.2638
12	40.4807
13	40.8406
16	1061.4962
26	20.7801

7.4.3. Cenário 3

MCE – Fatores: Pedológico, Profundidade do lençol freático e Geomorfologia.

No terceiro cenário analisado, foi utilizada a análise multicritério, com os mapas valorados (fatores): Pedológico, Profundidade do lençol freático e Geomorfológico. Na Figura 32, temos a imagem de adequabilidade gerada pelo MCE.

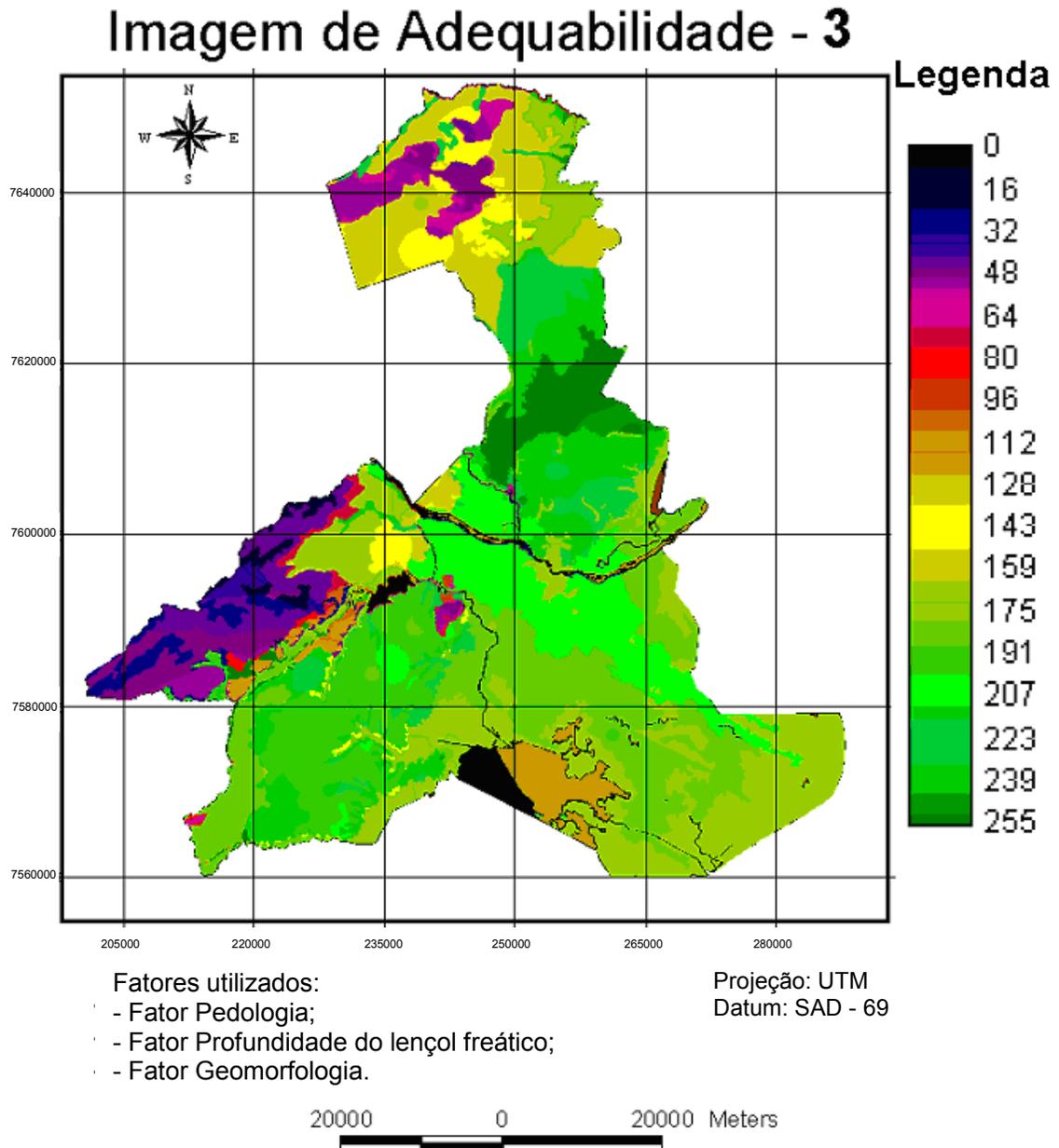


Figura 32. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia, Fator Profundidade do lençol freático e Fator Geomorfologia (Cenário 3).

Na Imagem da Figura 32, regiões em tons de verde apresentam maiores adequabilidades, enquanto que áreas azuis ou pretas são menos adequadas.

Foram encontradas, na imagem da Figura 32, 53 regiões com adequabilidade maior que 220 e área superior a 20ha (conforme pode-se ver na Figura 34 e na Tabela 13).

Pode-se observar que como as classes geomorfológicas possuem valores de adequabilidades altos, elas influenciaram mais fortemente na análise, razão pela qual o cenário 3 obteve maior quantidade de regiões com a adequabilidade mínima prevista (220).

Após o processamento do módulo MCE, utilizou-se da macro SITESELECT para encontrar regiões com adequabilidades superiores a 220 e que possuíssem áreas maiores que 20ha, conforme, pode-se ver na Figura 33.

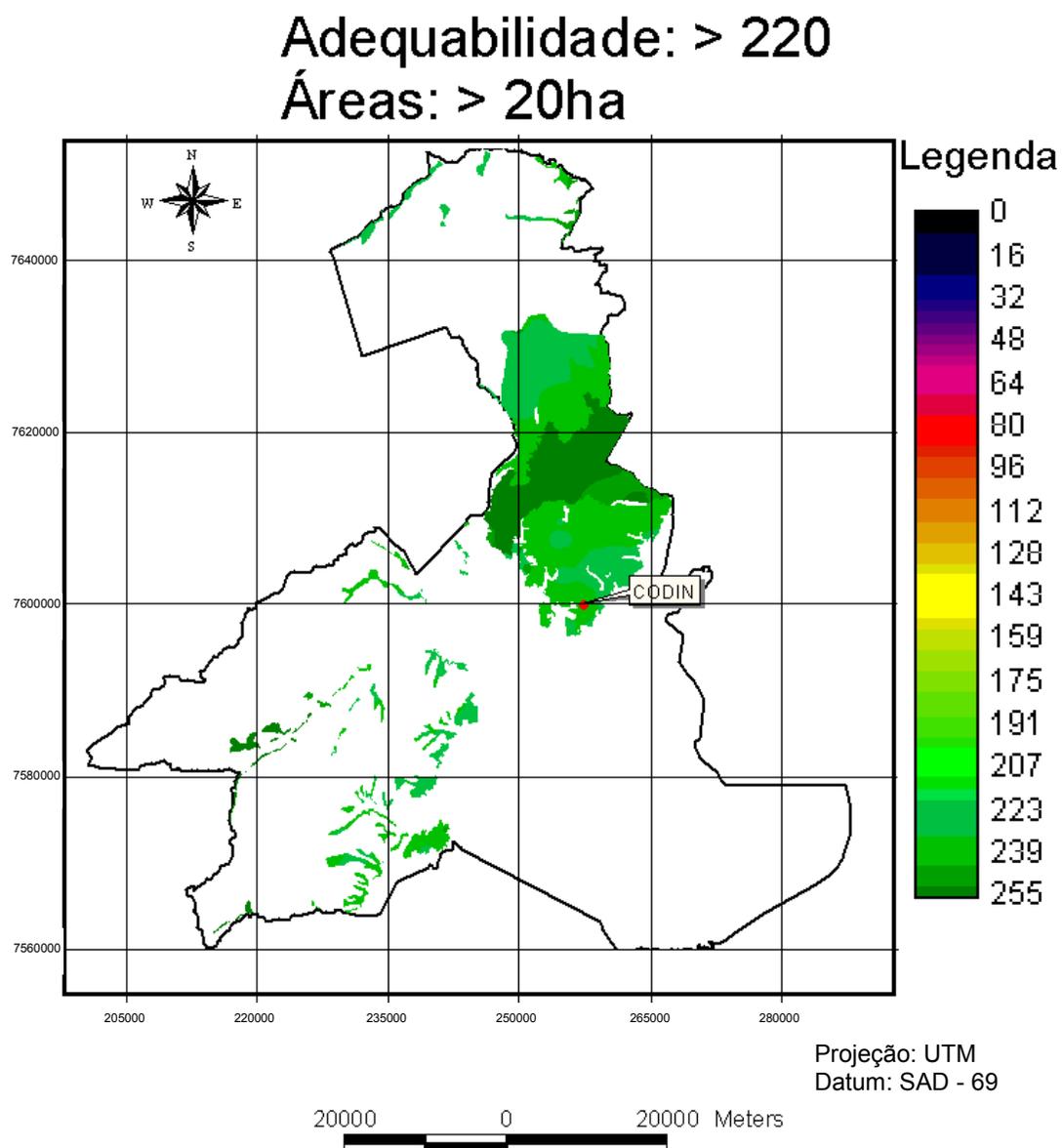


Figura 33. Macro SITESELECT (Cenário 3).

A área onde situa-se o atual aterro do município (CODIN), também encontra-se dentro da área considerada apta nesta análise, porém, vale ressaltar que esse mapa de adequabilidade não levou em consideração todos os fatores que deveriam estar envolvidos na análise.

A Figura 34, mostra a imagem de adequabilidade, resultante da análise multicritério, refinada com a utilização da Macro SITESELECT.

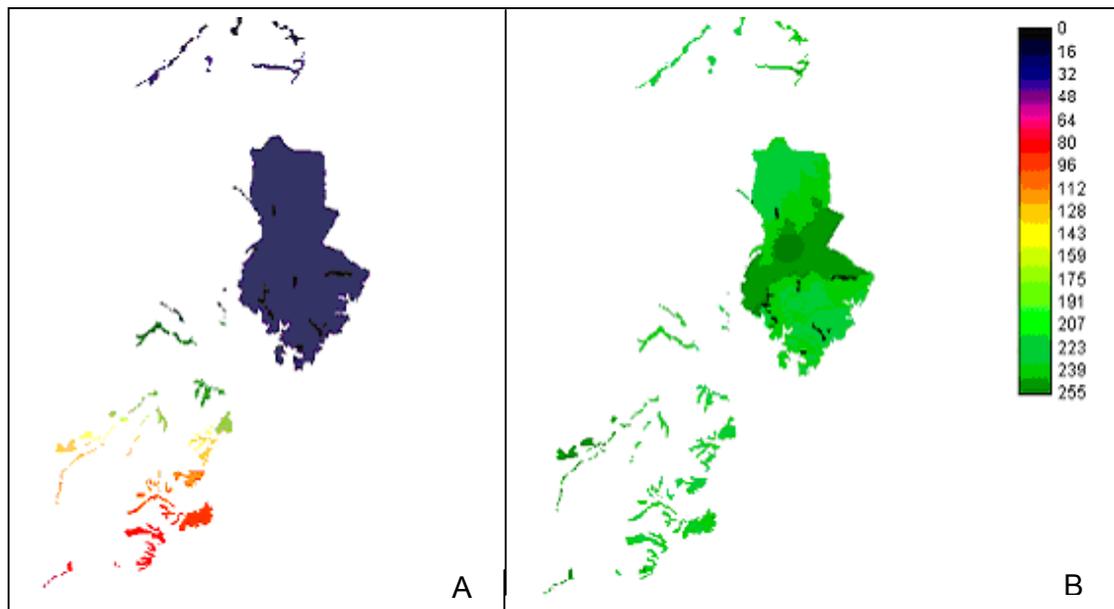


Figura 34. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (34A); Imagem com adequabilidade (34B) - Cenário 3.

Na Tabela 13 temos as categorias mostradas na Figura 34A e as áreas correspondentes a cada categoria.

Tabela 13. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 3).

Categoria	Hectares		
		67	268.3056
2	221.6085	69	470.2996
3	420.1835	71	55.1547
4	443.2171	72	476.0580
5	618.0387	74	29.6017
6	171.5824	75	25.1030
7	348.4734	76	271.3648
8	51124.1046	77	39.8589
9	76.4788	78	33.5607
14	26.3626	79	84.7565
17	44.0877	87	121.8262
18	172.7521	88	747.8727
21	42.9181	89	109.2297
26	43.7278	90	78.8181
27	728.6181	91	111.4791
36	600.8535	94	94.9236
45	70.9903	96	374.5662
47	20.2443	99	1377.6982
48	48.9464	100	198.9348
50	257.6886	102	120.2066
51	662.3964	107	850.8942
52	68.5610	111	131.9934
55	44.6276	112	382.4840
58	82.2372	113	29.9616
62	29.9616	114	101.3119
63	74.7692	123	28.4321
66	47.0569	126	53.2652

Para concluir qual análise seria a mais indicada, ter-se-ia que refinar mais criteriosamente a análise e definir quais fatores seriam de maior importância para a mesma.

7.4.4. Cenário 4

MCE – Fatores: Pedológico, Profundidade do lençol freático.

No quarto cenário analisado, foi utilizada a análise multicritério, com os mapas valorados (fatores): Pedológico e Profundidade do lençol freático. Na Figura 35, temos a imagem de adequabilidade gerada pelo MCE.

Imagem de Adequabilidade - 4

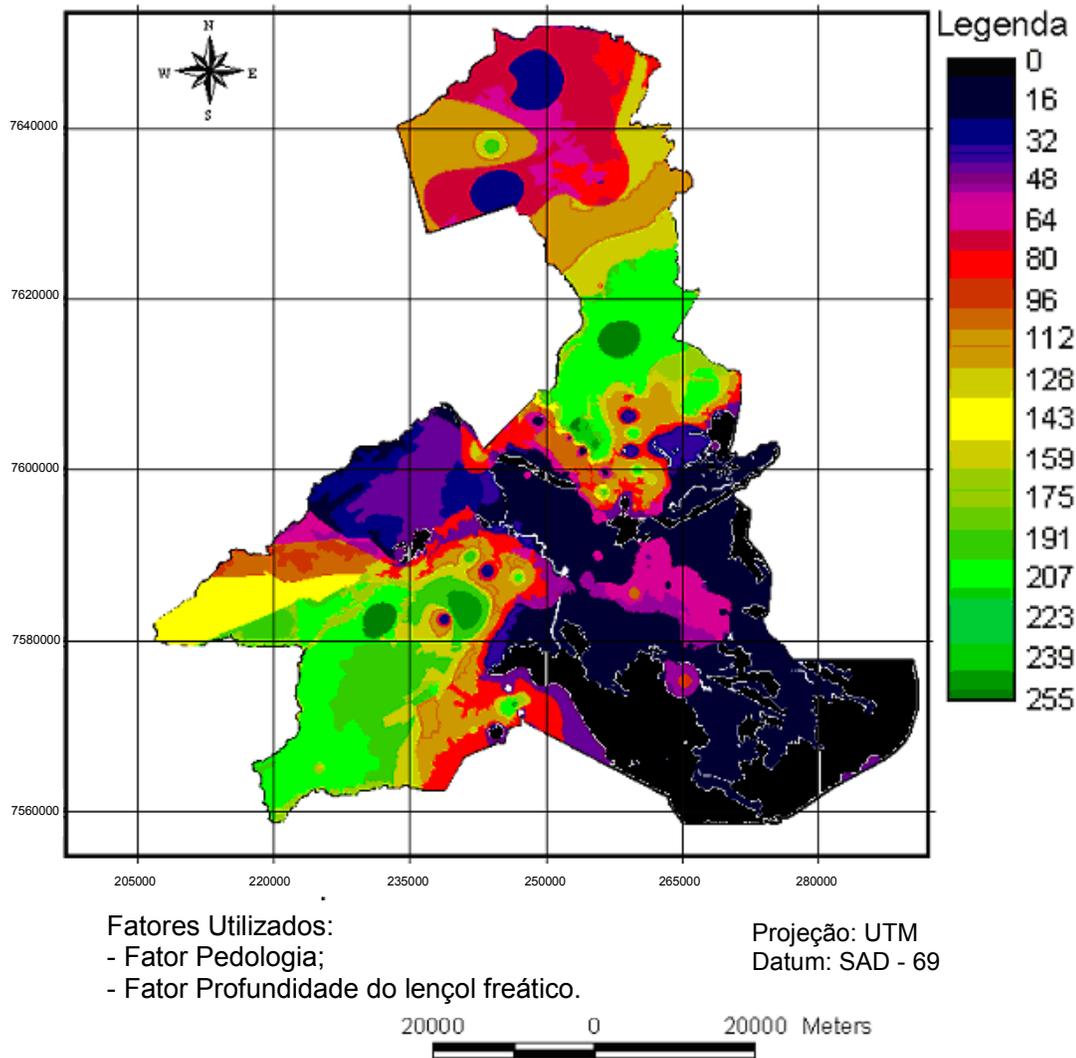


Figura 35. Imagem de adequabilidade utilizando MCE – Fator Pedologia e Fator Profundidade do lençol freático (Cenário 4).

Na Imagem da Figura 35, regiões em tons de verde apresentam maiores adequabilidades, enquanto que áreas azuis ou pretas são menos adequadas.

Ao comparar os cenários 1, 2, 3 e 4, podemos perceber claramente que as regiões de adequabilidade alta, ou seja, com adequabilidade acima de 220, variam de um cenário para outro.

Observa-se que a imagem de adequabilidade da Figura 35, onde foram combinados os fatores Pedologia e profundidade do lençol freático, notamos certa semelhança com a imagem de adequabilidade do cenário 1 e 2, ou seja, a análise depende dos critérios combinados, mas nem sempre a combinação entre esses critérios conduz a ganhos substanciais ao resultado final.

Foram encontradas, na imagem da Figura 35, 6 regiões com adequabilidade maior que 220 e área superior a 20ha (conforme pode-se ver na Figura 37 e na Tabela 14).

Após o processamento do módulo MCE, utilizou-se da macro SITESELECT para encontrar regiões com adequabilidades superiores a 220 e que possuíssem áreas maiores que 20ha, conforme, pode-se ver na Figura 36.

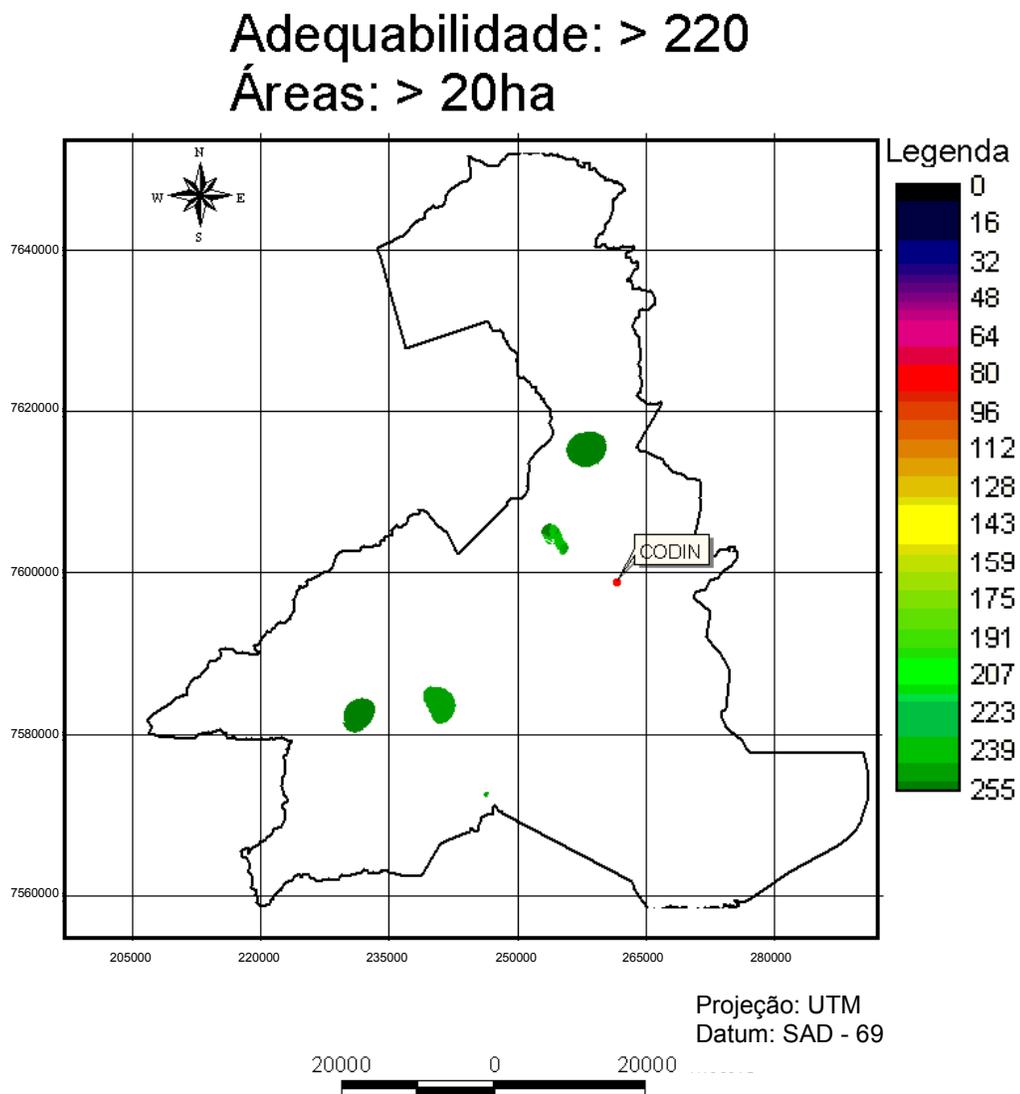


Figura 36. Macro SITESELECT (Cenário 4).

Nesta análise, quando consideramos apenas os fatores pedologia e profundidade do lençol freático, a área onde está situado o atual aterro do município (CODIN), não encontra-se dentro da área considerada apta, com adequabilidade acima de 220 na análise, pois, a CODIN, se encontra, em uma região de adequabilidade 162.

Comparando-se a Figura 30 com as figuras 33 e 36, percebe-se que a última possui menos regiões com adequabilidade ótima ao objetivo proposto que as duas anteriores.

A Figura 37, mostra a imagem de adequabilidade, resultante da análise multicritério, refinada com a utilização da Macro SITESELECT.

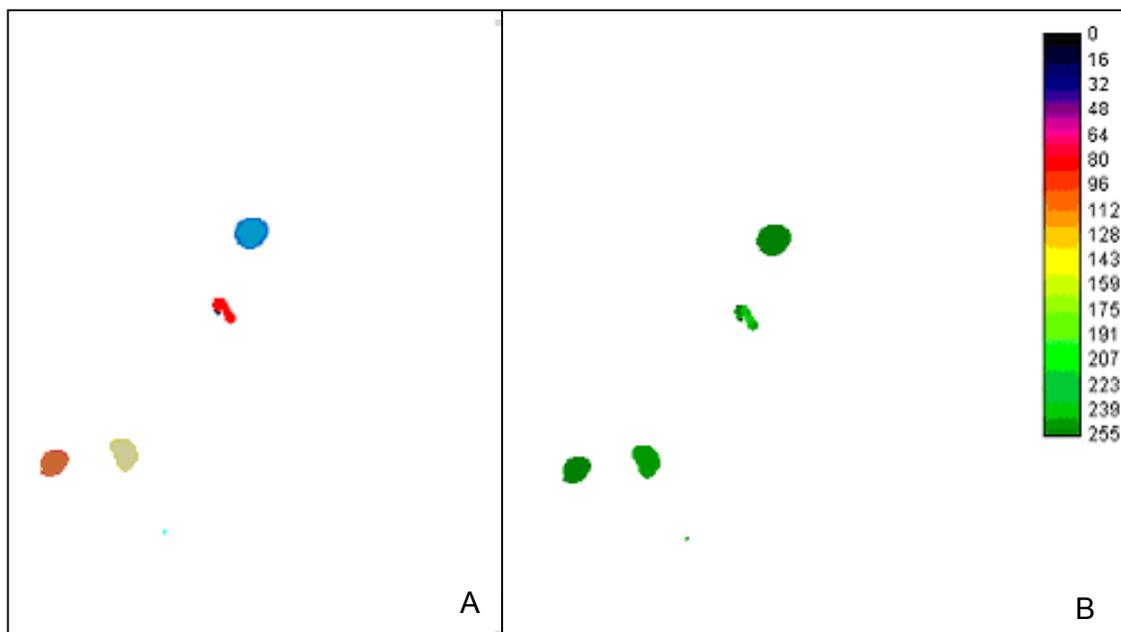


Figura 37. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (37A); Imagem com adequabilidade (37B) - Cenário 4.

Na Tabela 14, tem-se as categorias mostradas na Figura 37A e as áreas correspondentes a cada categoria.

Comparando-se esse cenário com o cenário 1, 2 e 3, nota-se que este, possui menos áreas aptas ao empreendimento, considerando-se mesma adequabilidade mínima (220) e mesma área mínima (20ha).

Para se concluir qual análise seria a mais indicada, teria que refiná-la mais criteriosamente e definir quais fatores seriam de maior importância para a mesma.

Como a análise é dinâmica, poderia haver combinações de fatores e restrições diversos.

Tabela 14. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 4).

Categoria	Hectares
2	1945.3268
4	724.6061
5	20.9601
7	1522.0776
8	1397.6667
9	33.7340

7.4.5. Cenário 5

7.4.5.1. Fatores e Restrições

Nessa análise considerou-se todos os fatores e restrições propostos neste trabalho. Quanto maior o número de fatores e restrições combinados, maior será o grau de refinamento da análise, assim, pode-se dizer que o Cenário 5 será o mais completo deste trabalho, por considerar fatores e restrições múltiplos.

Fatores: Pedológico, Geológico-geotécnico, Geomorfológico, Profundidade do lençol freático, Coleção hídrica, Sistema Viário e Núcleos populacionais.

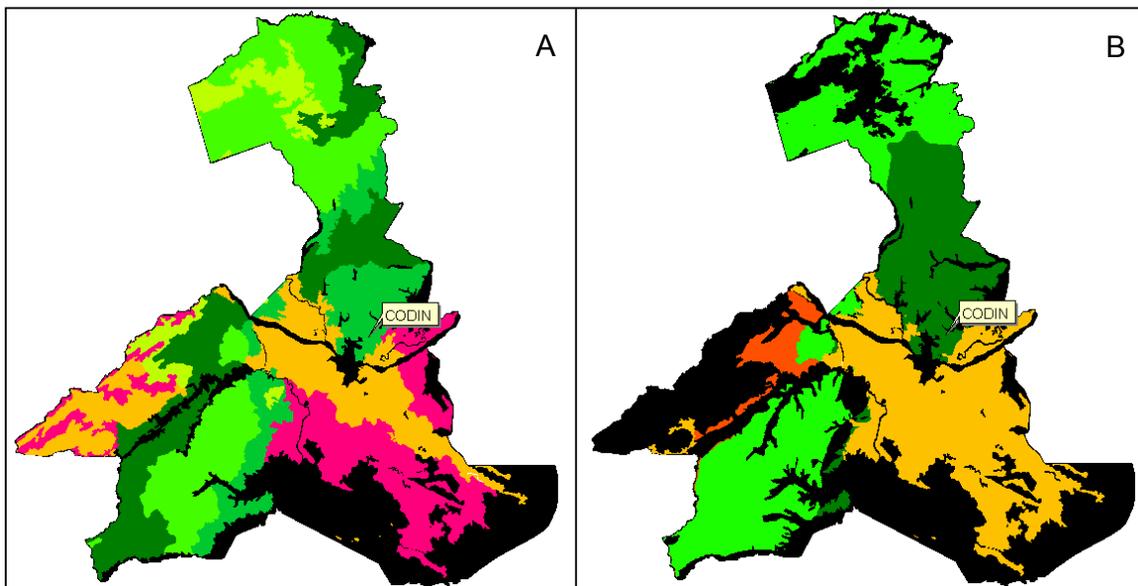


Figura 38. Fator Pedológico (A) e Geológico-geotécnico (B).

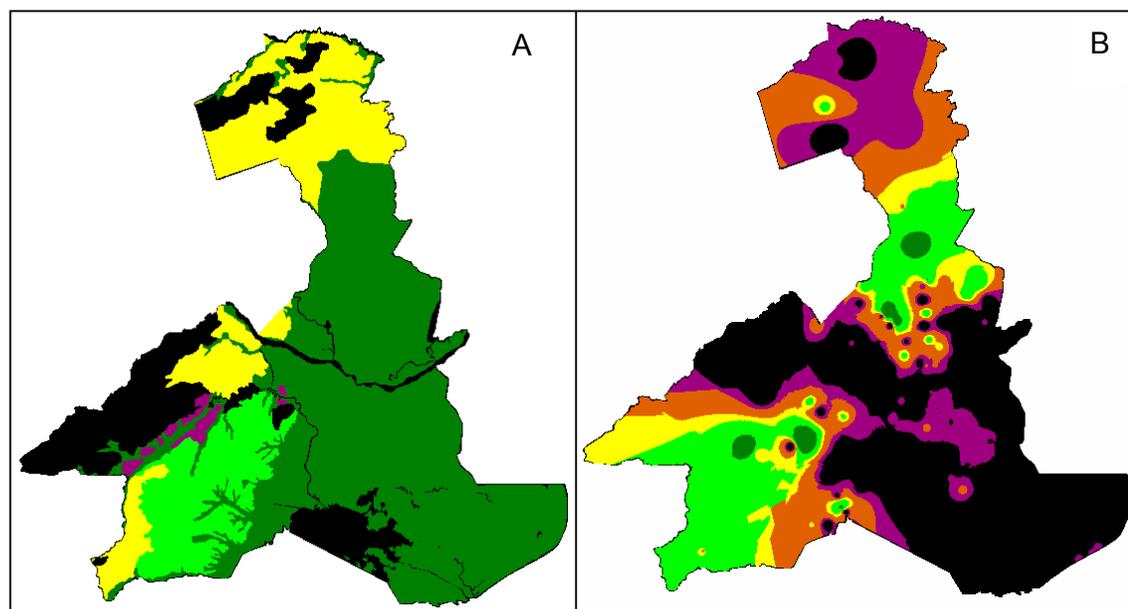


Figura 39. Fator Geomorfológico (A) e Profundidade do lençol freático (B).

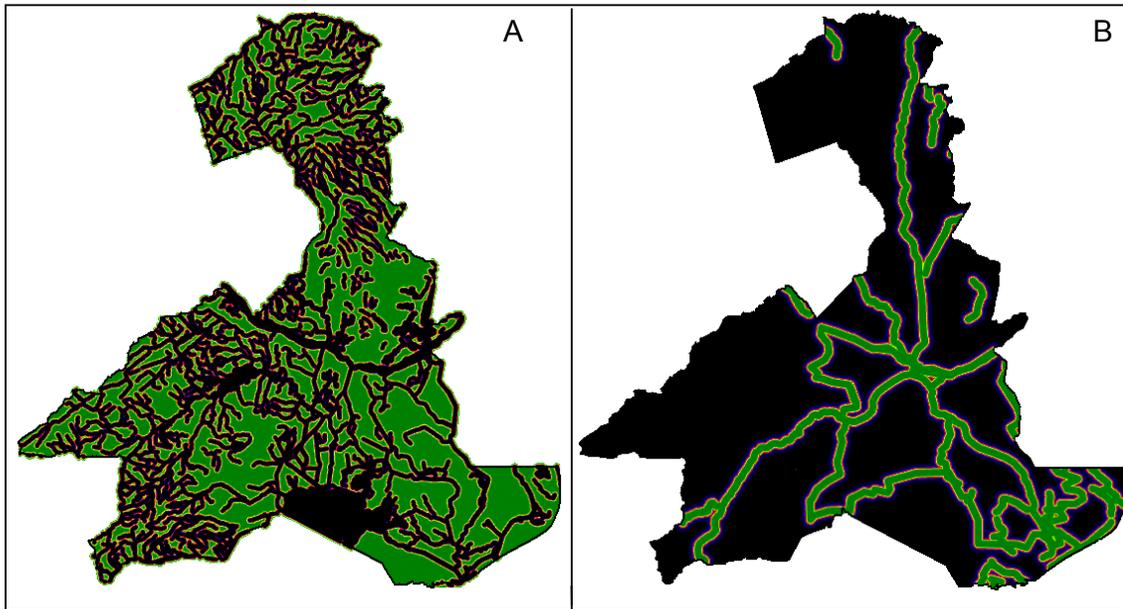


Figura 40. Fator Coleção Hídrica (A) e Sistema Viário (B).

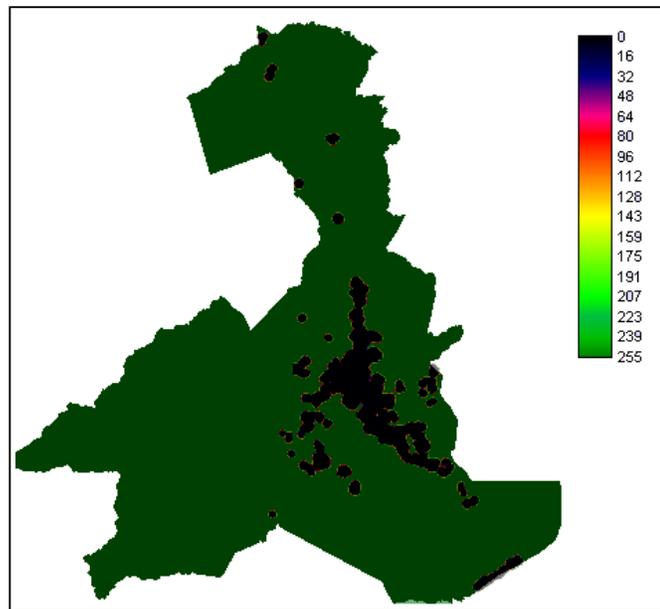


Figura 41. Fator Núcleos populacionais.

Restrições: Coleção Hídrica, Sistema Viário, Limite do município e Núcleos populacionais.

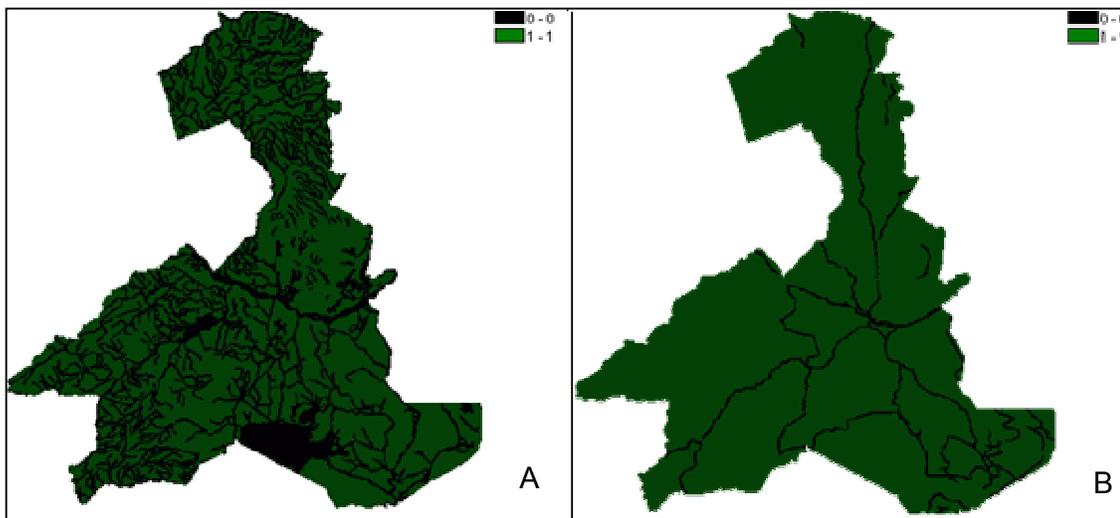


Figura 42. Restrição Coleção hídrica (A) e Sistema Viário (B).

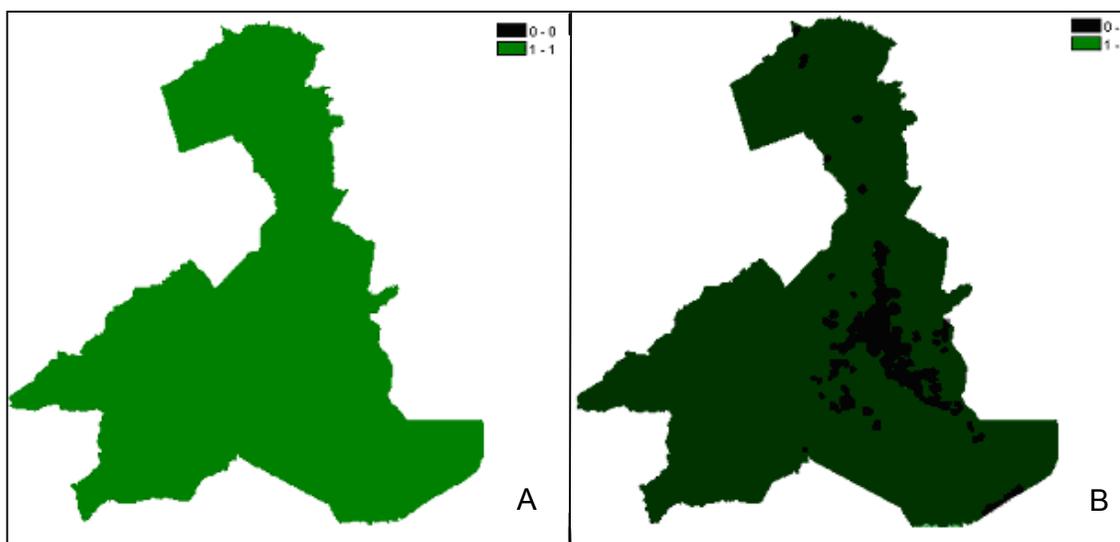


Figura 43. Restrição Limite do município (A) e Núcleos populacionais (B).

7.4.5.2. Comparação par-a-par

Considerando-se que as variáveis que interferem na escolha de uma área para a implantação de um aterro sanitário contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação das variáveis de acordo com sua importância na decisão sobre a aptidão de uma área. A rotina utilizada auxilia o estabelecimento dos pesos finais através da comparação da importância relativa das variáveis duas a duas, diminuindo a subjetividade na decisão. É importante salientar que as comparações foram desenvolvidas de acordo com as ponderações definidas anteriormente.

O peso final de cada variável é estimado através do método AHP (Analytical Hierarchy Process – Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de

comparação par-a-par. Com isso, obtêm-se os pesos para as variáveis utilizadas na presente análise.

As seguir é apresentada a matriz de comparação (Figura 44), onde tem-se os fatores e as comparações par-a-par. Na Figura 45, tem-se o resultado final dos pesos calculados, ambos referentes à comparação par-a-par do módulo WEIGHT.

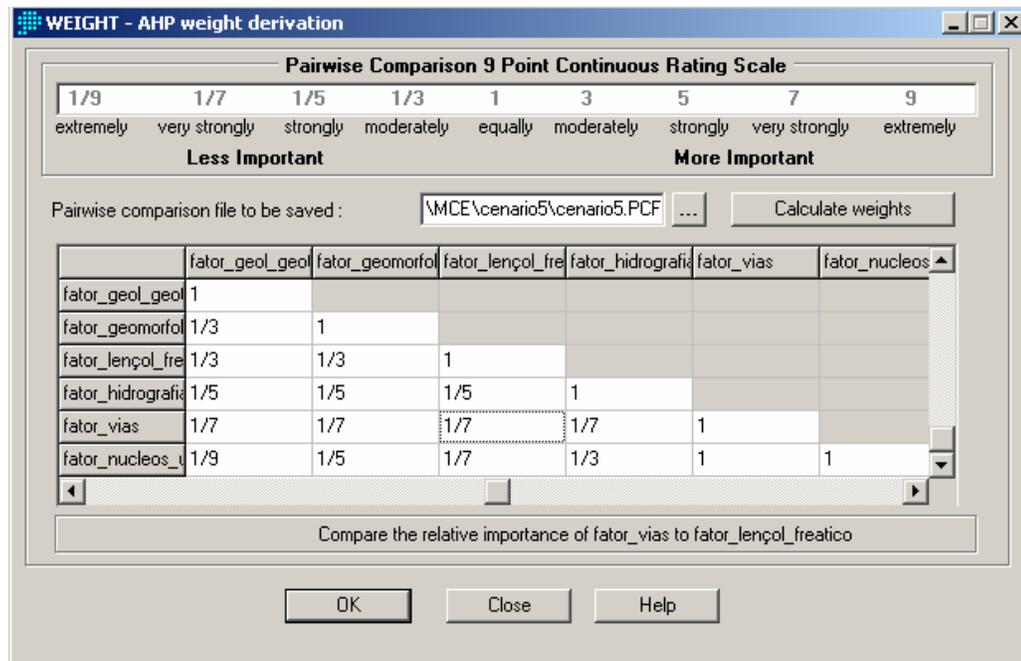


Figura 44. Matriz de comparação dos critérios escalonados (fatores).

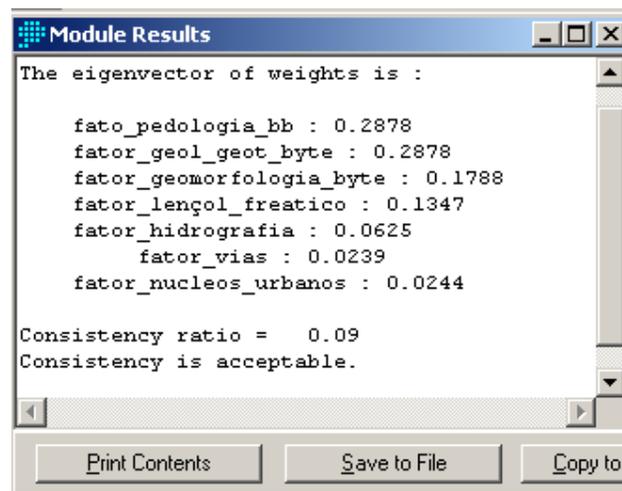


Figura 45. Resultado final dos pesos calculados para os fatores.

7.4.5.3. Mapa de adequabilidade final

Após executar o comando WEIGHT do Idrisi, fez-se o MCE propriamente dito, tendo como resultado uma imagem de adequabilidade (Figura 46) com valores variando de 0 a 255, onde as áreas mais aptas são as de maior valor.

Imagem de Adequabilidade - 5

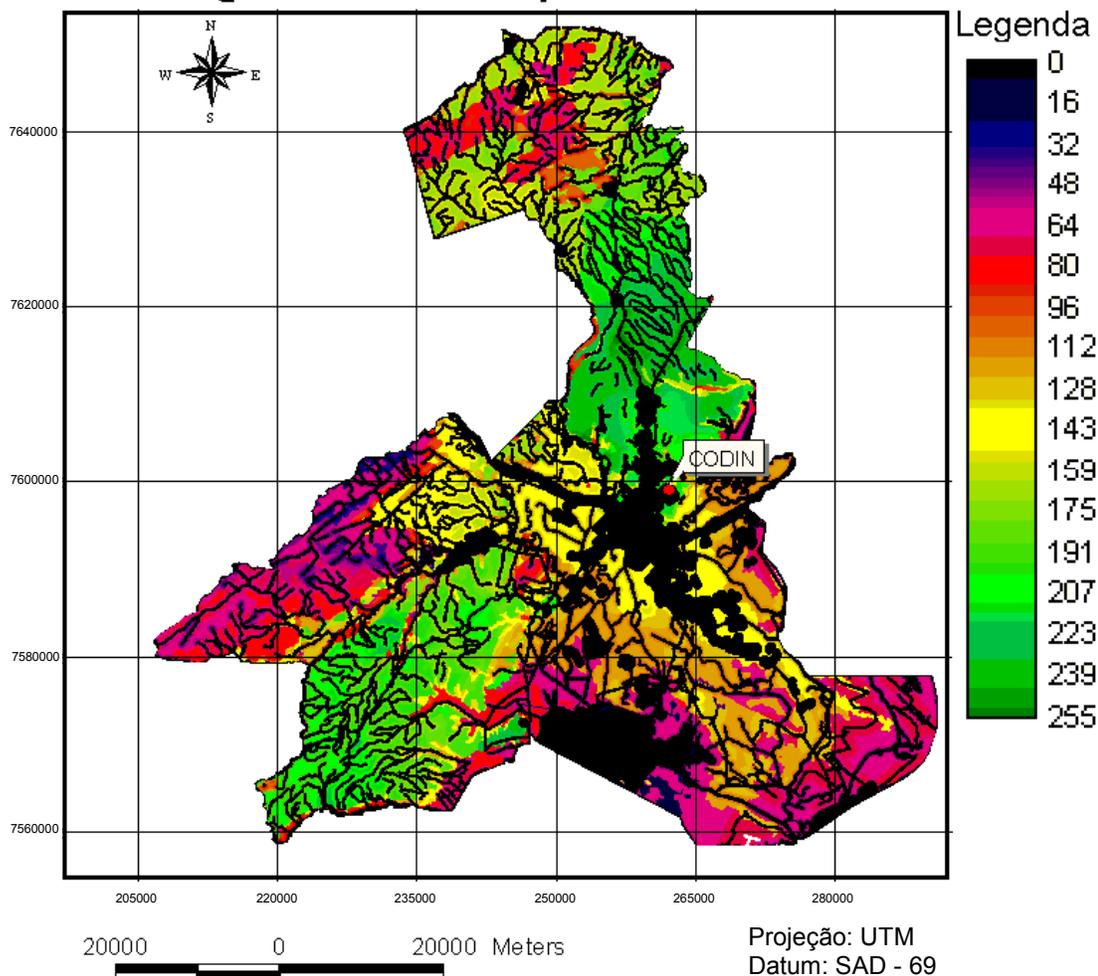


Figura 46. Imagem de adequabilidade utilizando MCE - fatores e restrições (Cenário 5).

Foram encontradas, na imagem da Figura 46, 21 regiões com adequabilidade maior que 220 e área superior a 20ha (conforme pode-se ver na Figura 48 e na Tabela 15).

A Figura 46 mostra o mapa de aptidão à implantação de aterro controlado no município de Campos dos Goytacazes, gerados a partir da análise integrada dos dados disponíveis sobre a área de estudo, segundo os critérios e pesos estabelecidos. Esse mapa não identifica áreas aptas e inaptas e sim uma superfície de adequabilidade onde todos os pixels possuem um valor de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), resultante da aplicação dos critérios e de sua análise ponderada, que indica sua aptidão individual ao propósito desejado.

A partir dessa superfície é possível estabelecer um limiar para a seleção das melhores áreas, ou efetuar uma hierarquização das células de forma a selecionar

apenas as melhores regiões para a implantação de um aterro, e sobre este isolar uma ou mais áreas contíguas do tamanho mínimo desejado. Dessa forma, os mapas permitem uma visão de como o território do município se comporta em termos de aptidão à implantação de um aterro, possibilitando a escolha dos locais dentro de regiões mais aptas que merecem um estudo detalhado.

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

Após o processamento do módulo MCE, utilizou-se da macro SITESELECT para encontrar regiões com adequabilidades superiores a 220 e que possuíssem áreas maiores que 20ha, conforme, pode-se ver na Figura 47.

Adequabilidade: > 220 Áreas; > 20ha

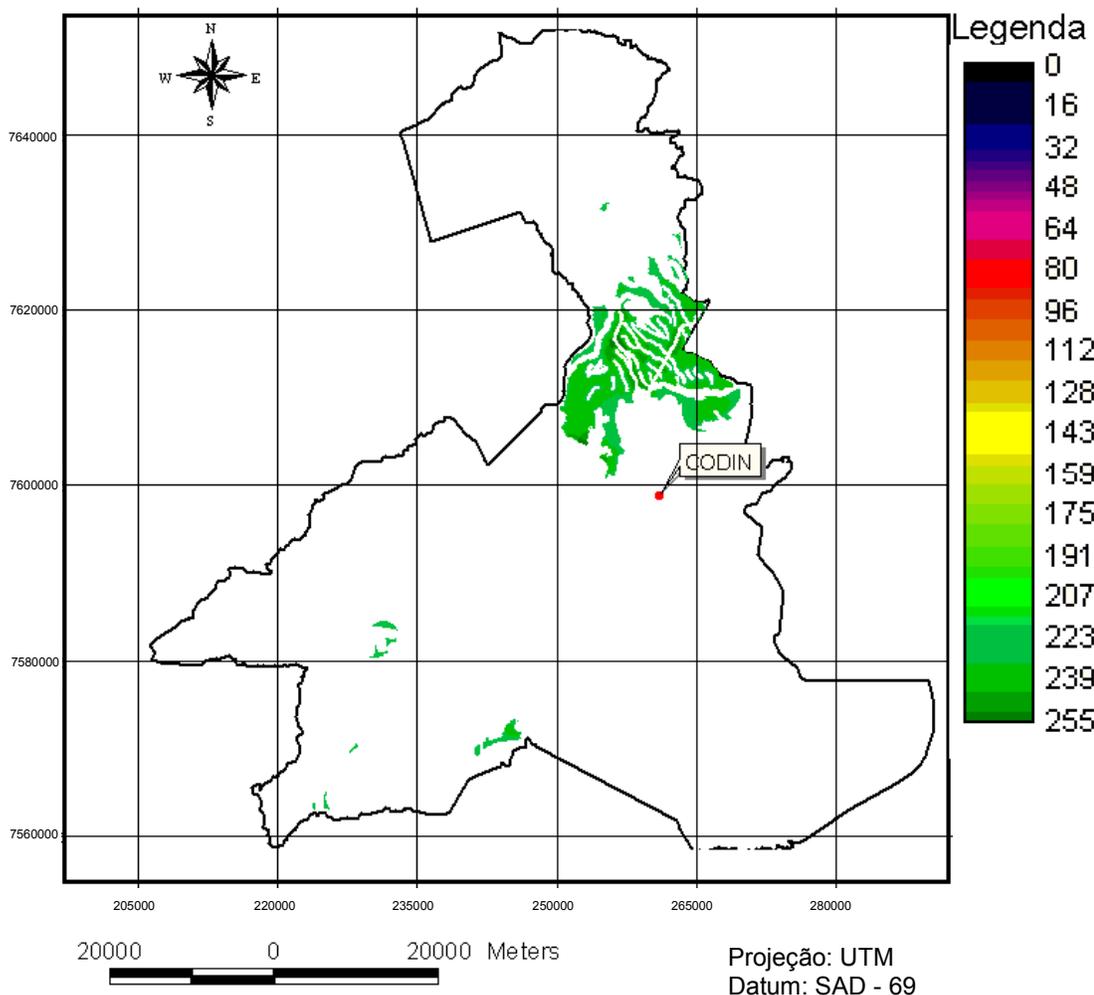


Figura 47. Macro SITESELECT (Cenário 5).

Nesta análise, considerou-se todos os fatores disponíveis, ocasionando uma restrição maior de áreas.

O atual aterro do município (CODIN), não se encontra dentro da área considerada apta com adequabilidade acima de 220 na análise, analisando a imagem, percebe-se que a CODIN está localizada numa região de adequabilidade nula.

Comparando-se os mapas finais de adequabilidade, percebe-se que não há muita discrepância entre as áreas de maior aptidão.

A Figura 48, mostra a imagem de adequabilidade, resultante da análise multicritério, refinada com a utilização da Macro SITESELECT.

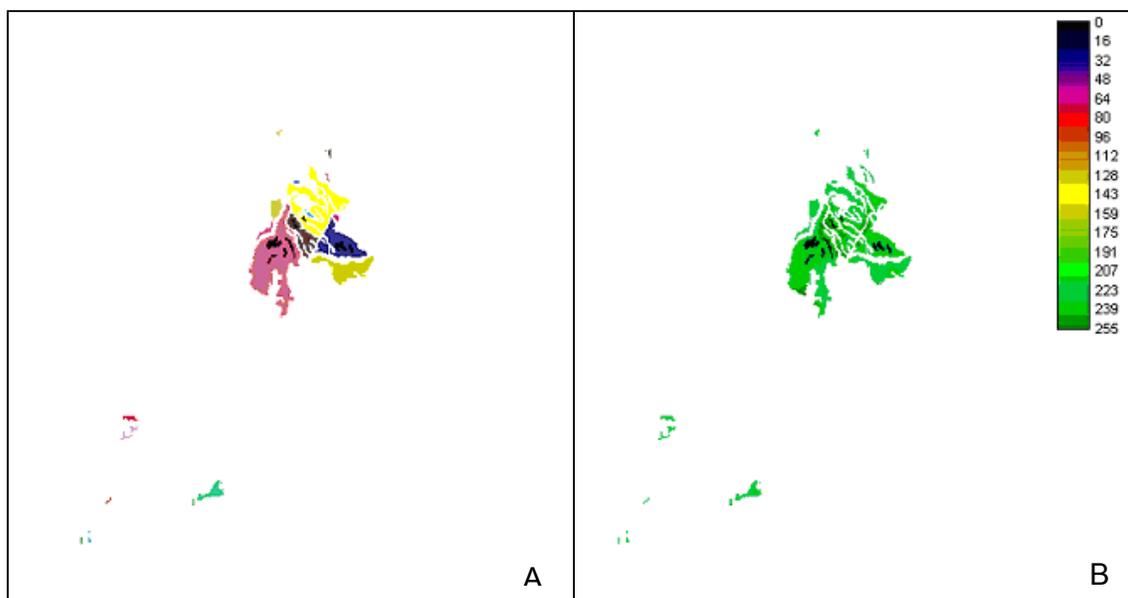


Figura 48. Imagens resultantes da Macro SITESELECT, considerando adequabilidade >220 e área>20ha. Imagem com identificadores (48A); Imagem com adequabilidade (48B) - Cenário 5.

Na Tabela 15, temos as categorias mostradas na Figura 48A e as áreas correspondentes a cada categoria.

Tabela 15. Categorias e áreas resultantes da macro SITESELECT (Cenário 5).

Categoria	Hectares		
		30	68.9209
2	55.7845	32	2337.6423
7	58.2139	34	214.7705
8	110.0395	46	2355.4574
9	3628.1547	52	168.6133
11	56.2344	53	164.9243
14	39.8590	55	565.7632
21	468.3202	57	42.6482
23	7042.2587	61	77.5585
27	45.9773	64	68.1111
29	1208.0053	65	27.9822

Percebe-se também que o depósito atual de lixo encontra-se sobre uma região de aptidão nula, distante aproximadamente 1km de áreas com aptidão maior que 220. A localização sobre uma área que não é a melhor, associada aos potenciais impactos inerentes ao aterro, pode causar danos ao meio, por esse motivo, sugerimos que a destinação final dos RSU seja deslocada para áreas mais apropriadas, utilizando-se o mapa de adequabilidade como guia. Existem inúmeras alternativas, incluindo áreas não muito distantes da localização atual que podem ser utilizadas caso o deslocamento para locais mais distantes incorram em transtornos

não previstos. Além da mudança de localização, ressalta-se a necessidade de todas as outras medidas desejáveis para uma adequada disposição de RSU.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Como conclusões deste trabalho, tem-se que:

- Áreas disponíveis para instalação de aterros são cada vez mais escassas devido à urbanização, crescimento da população e da produção de lixo e conseqüentemente necessidade de maiores áreas e a preocupação crescente com fatores ambientais. A cidade de Campos dos Goytacazes/RJ, que hoje tem aproximadamente 426.154 habitantes, terá em 10 anos (2018), produzido cerca de 4.631.900,4m³ de lixo. Para a instalação do aterro precisa-se de uma área, de no mínimo, 20ha, isso considerando uma vida útil de 10 anos;

- Os mapas de adequabilidades gerados não identificam áreas aptas ou inaptas, mas representam uma superfície de adequabilidade onde todos os pixels possuem um valor de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), resultante da aplicação dos critérios e de sua análise ponderada, que indica sua aptidão individual ao propósito desejado. A análise multicritério, por ser subjetiva, implica em infinitos cenários, que devem ser utilizados criteriosamente a fim de não inserir erros na análise;

- Quando compara-se os 5 cenários percebe-se a diferença nas áreas de adequabilidade de cada um, e observa-se que o Cenário 5 é o mais refinado, por utilizar maior número de critérios na escolha da área, porém, nota-se que os outros cenários podem perfeitamente ser usados, uma vez que não obtiveram resultados muito discrepantes quando comparados ao Cenário 5;

- Com as imagens de adequabilidades finais e a área mínima necessária (20ha) definidas, utilizando da MACRO desenvolvida no software Idrisi32, denominada SITESELECT, selecionou-se algumas áreas aptas à implantação do empreendimento, levando-se em consideração adequabilidade mínima de 220;

- Localizando-se o atual depósito de lixo do município (CODIN), verifica-se que o mesmo, encontra-se sobre uma área de adequabilidade 255 (Cenário 1), 230 (Cenário 2), 238 (Cenário 3), 0 (Cenário 4) e 0 (Cenário 5). Com isso podemos perceber que com a variação dos fatores incluídos na análise, a adequabilidade final da área se modifica;

- Os mapas de adequabilidade podem ser refinados usando-se na análise outros critérios;

- Utilizando-se o mapa de aptidão como guia, existem inúmeras alternativas possíveis para a instalação do aterro, inclusive levando-se em consideração a atual

área de depósito de RSU, caso o deslocamento para locais mais afastados implique em transtornos;

- O SIG pode ser utilizado como ferramenta em diversas áreas do conhecimento, mas deve-se ter critérios na sua utilização para que não se remeta a erros indesejáveis na análise final;

- Os resultados obtidos no presente trabalho, revelam as potencialidades do SIG na integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas para a implantação de um empreendimento;

- O método utilizado demonstra a potencialidade das análises avançadas disponíveis em alguns softwares de SIG, que possibilitam análises multicritérios com elevado rigor matemático;

- Espera-se que este trabalho venha orientar a avaliação e seleção de áreas potenciais à instalação de aterros controlados, visando, sobretudo, a redução de custos operacionais e ambientais, fundamental em um país carente de saneamento básico e proteção ambiental.

Como sugestões propostas para futuros trabalhos, têm-se:

- Refinar a análise de adequabilidade que utilizou a combinação de todos os critérios propostos com a adoção de outros critérios (como, por exemplo, custo de deslocamento, custo de desapropriação da área – valor venal da terra e disponibilidade, geologia, etc) e com levantamentos adicionais de caráter local, visando a verificação in situ das potencialidades de cada área para priorização de cada uma;

- A partir das áreas encontradas nesse trabalho, fazer um levantamento mais detalhado do perfil de solo da região, a fim de comprovar a adequabilidade das áreas encontradas;

- Executar o levantamento das condições hidrogeológicas do município de Campos dos Goytacazes/RJ, com o objetivo de caracterizar de maneira mais detalhada a profundidade do lençol freático;

- Desenvolver o levantamento dos dados referentes ao vetor de crescimento populacional a fim de refinar a análise;

- Como há subjetividade na valoração dos fatores, incluir a opinião de diversos especialistas na análise, a fim de ajustar mais adequadamente as notas atribuídas a cada fator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, M. G. (2000) *Análise ambiental da região oceânica de Niterói e do distrito de Inoá-Maricá/RJ com ênfase no mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento*. Tese (Doutorado em Ciências). Rio de Janeiro-RJ, UFRJ, 174p.

Alexandre, J. (2000) *Análise de matéria-prima e composição de massa utilizada em cerâmicas vermelhas*. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia – Geotecnia). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 174p.

Andrade, F. S. (1999) *Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Brasília-DF, Instituto de Geociências/UnB, 131p.

Aronoff, S. **Geographical Information System – A management perspective**. Ottawa: WDL, 1989. 249p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Referências Bibliográficas: NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987/2004). Referências Bibliográficas: NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). Referências Bibliográficas: NBR 10.006: Solubilização de resíduos. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). Referências Bibliográficas: NBR 10.007: Amostragem de resíduos – procedimentos. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). Referências Bibliográficas: NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Referências Bibliográficas: NBR 7.181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.

Barbosa, M. C. (1994) *Insvesitgação Geoambiental do Depósito de Argila sob o Aterro de Resíduos Urbanos de Gramacho*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro-RJ, UFRJ, 328p.

Burrough, P. A. **Principles of geographical information system for land resources assessment – Monograph on Soil and Resource**. Oxford: Claredon, 1993. 194p.

Calijuri, M. L. **Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas**. Núcleo SIGEO. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 156p, 2000.

Calijuri, M. L.; Lorentz, J. F. Apostila do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: **Análise Multicritério**. Viçosa: UFV, 2003. 73p.

Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A. S.; Bertoni, R. S.; Teófilo Sobrinho J.; Menk, J. R. F. Alteração de características químicas de um latossolo vermelho-escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. Campinas, Instituto Agrônômico, 1987. 23p. (Boletim Científico, 9).

Caputo, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 1994. 225p.

Carvalho, M.M. **Ações visando recuperação de pastagens degradadas**. Anais do ENCONTRO PARA A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA, 1, 1997, Viçosa-MG, 1997. p. 202-206.

- Charnpratheep, K.; Garner, B. Z. Q. *Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems*. Waste Management & Research. V15, p. 197-215, 1996.
- Cleary, R. W. (1991) Qualidade da água subterrânea. In: Porto, R. L. L. (org.); Branco, S. M.; Cleary, R. W.; Coimbra, R. M., Eigor, S.; Luca, S. J.; Nogueira, V. P. Q.; Porto, M. F. A., *Hidrologia ambiental*. 1a ed. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 27-164.
- Coelho, A. G. 2000. Requisitos geotécnicos dos locais para a implantação dos aterros de resíduos sólidos urbanos. Pp. 1-10. Seminário sobre aspectos geotécnicos do projeto e construção de aterros de resíduos. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Consoni, A. J.; Benvenuto, C.; Parzanese, G. A. C.; Silva, I. C.; Albuquerque Filho, J. L.; Cunha, M. A., 1995, Disposição final do lixo. Lixo municipal: Manual de gerenciamento Integrado, IPT. Capítulo IV, pp. 71-124. São Paulo, SP.
- Corrêa, F. de P. C. (2003) *Uso do geoprocessamento na elaboração de documentos cartográficos como subsídio ao processo de zoneamento ambiental na bacia hidrográfica da Lagoa Feia no município de Campos de Goytacazes/RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Coridola, R. (2006) *Análise da vulnerabilidade de aquíferos livres em Campos dos Goytacazes-RJ utilizando a metodologia GOD e DRASTIC através de técnicas de Geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes/RJ, UENF, 92p.
- Costa, R. G. S. C. (2003) *Estudos Geoambientais no alto curso da sub-bacia do rio Sarapuí (Período 1979 – 2002). Zona Oeste do município do Rio de Janeiro (RJ)*. Tese (Doutorado em Geologia). Rio de Janeiro/RJ, UFRJ, 191p.

- Costa, T. C. C.; Ramos, D. P.; Pereira, N. R.; Baça, J. F. M.; Fidalgo, E. C. C. (2005) Favorabilidade de terras para a agricultura familiar por meio da análise multicritério. *Revista Geografia, Universidade Federal de Londrina, Departamento de Geociências, Londrina, v. 14, n. 2, p. 5-47.*
- Costa, A. N. (2005) *O uso do mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento para o planejamento da expansão urbana no município de Campos dos Goytacazes/RJ.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes/RJ, UENF, 184p.
- Costa, A. N.; Alves, M. G.; Polivanov, H., 2008, Mapeamento Geológico-Geotécnico Preliminar, Utilizando Geoprocessamento, no Município de Campos dos Goytacazes. *Revista Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, Rio de Janeiro, Vol. 31-1/2008: p. 37-51.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2001. Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Minas e Metalurgia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *In: Projeto Rio de Janeiro.* CD-ROM. Brasília. 36p.
- Curty, E. B. (2005) *Escolha de uma área para disposição final dos resíduos sólidos urbanos e dimensionamento de um aterro sanitário para a cidade de Campos dos Goytacazes/RJ.* Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Campos dos Goytacazes- RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 71p.
- Dörhöfer, G.; Siebert, H. The search for landfill sites – requirements and implementation in Lower Saxony. **Environmental Geology**, 1998, v. 35(1), p. 55-65.
- Eastman, R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J. Rasters procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.61, n.5, p.539-547, 1995.
- Eastman, R. **IDRISI for window: user's guide.** Version 2.0 Worcester: Clark University, 1997. Paginação irregular.

Elis, V.R. (1998) *Avaliação da aplicabilidade de Métodos elétricos de Prospecção Geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos*. Tese (Doutorado) – São Paulo-SP, UNESP.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e conservação do Solo. Rio de Janeiro, RJ. Definição e Notação de horizontes e camadas do solo. 2. ed. Ver. E atual. Rio de Janeiro, 1988. 54p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999, 410p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 2006, 306p.

Farias, R. N. S. (2003) *Caracterização Geoestatística do subsolo de Campos dos Goytacazes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 128p.

Ferrari, A. L.; Melo, E. F.; Vaz, M. A. A.; Dalcomo, M. T.; Brenner, T. L.; Silva, V. P. e Nassar, W. M. 1981. PROJETO CARTA GEOLÓGICA DO RIO DE JANEIRO – Bloco Campos – *In*: Relatórios Técnicos, volume I – DRM – Geomitec, Geologia e Mineração Trabalhos Técnicos Ltda. 172p.

Fetter, C. W. **Contaminat Hydrology**. 1993. Macmillan Publishing Company, vs. 458p.

Fonseca, M. J. G.; Peçanha, R. M.; Junho, M. C. B.; Francisco, B. H. R.; Dreher, A. M.; Serrão, M. A. 1998. *Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 141p.

Freeze, R. A.; Cherry, J. A. 1979. Ground-water. New Jersey: Prentice-Hall. 604p.

- Germano, A. M. (2001) *Estudo numérico do transporte de metais pesados na área do lixão do município de Viçosa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Viçosa-MG, UFV, 178p.
- Guillham, R. W. Physical Processes and Mathematical Models of contaminant Migration. 1981. Subsurface contaminant migration from mine and mill waste impoundments, Colorado state University (citado por Germano, 2001).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNSB – Pesquisa do Saneamento Básico, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 31 de janeiro de 2007.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNSB – Pesquisa de Saneamento Básico. Dados censitários. 2000; <http://www.ibge.gov.br> em 31/01/2007.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **O Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal**. In: JARDIM, N.S. (ed.) *Lixo Municipal Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo, IPT. 1995. P. 278.
- IPT/CEMPRE. **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. Coordenação: Maria Luiza Otero D'almeida, André Vilhena – 2.ed.São Paulo, 2000.
- Jucá, J. F. T. (2003) Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. REGEO 2003. Porto Alegre-RS.
- Kämpf, N.; Schneider, P., 1989, Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, V.13: p. 227-236.

- Kataoka, S. M. (2000) *Avaliação de áreas para disposição de resíduos: proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - São Carlos-SP, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo.
- Lee, G. F.; Jones-Lee, A. (1998). **Assessing the potential of minimum subtitle D lined landfill to pollute: alternative landfiling approaches**. G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA, march.
- Leite, J. C. (1995). *Metodologia para a elaboração da carta de susceptibilidade a contaminação e poluição das águas subsuperficiais*. Dissertação (Mestrado) – São Carlos-SP, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- Licht, O. A. B. **Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos**. Rio de Janeiro: CPRM. 1998. 236p.
- Lima, L. M. de Q. (1995). **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. São Paulo-SP: Hemus Editora Ltda.
- Lima, G. S. (1999) *Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia) – Rio de Janeiro-RJ, COPPE/UFRJ, 153p.
- Malczewski, J. **GIS and multi-criteria decision analysis**. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 1999.
- Mandelli, S. M. (1991). Tratamento de resíduos sólidos: compêndio de publicações. Editado por Suzana Maria de Conto Mandelli, Luiz Queiroz Lima e Mário K. Ojima. Caxias do Sul. 291 p.
- Marques, E. T. (2001) *Identificação de áreas potenciais para a disposição de mármores e granitos em Cachoeiro do Itapemirim – ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Viçosa-Minas Gerais, DEC/UFV, 103p.

- Massunari, I. S. *et al*, 2000, Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA. Pp. 17-22. Revista de Limpeza Pública. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 55, São Paulo, SP.
- Mc Bean, E. A.; Rovers, F. A.; Farquhar, G. J. (1995). **Solid waste landfill engineering and design**. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 521p.
- Melo, A. L. O. (2001) *Avaliação e Seleção de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário utilizando lógica Fuzzy e Análise multi-critério: Uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim-ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Viçosa-UFV, Universidade Federal de Viçosa/UFV, 167 p.
- Menezes, D. B. (1995) *Diagnóstico do depósito de resíduos sólidos de São Carlos-SP, no meio físico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – São Carlos-SP, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP, Universidade de São Paulo.
- Nobre, M. M. M. (1987) *Estudo experimental do transporte de poluentes em solos argilosos compactados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Rio de Janeiro-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 214 p.
- OFIGEO - Oficina de Geologia e Geoprocessamento – LECIV – UENF (2008). Fotos, 2004.
- O’Leary, *et al*. **Land Disposal**. In: THE SOLID WASTE HANDBOOK. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986. p. 259-338.
- Oliveira, R. S. Jr. (1998) *Relação entre Propriedades Químicas e Físicas do solo e Sorção, Dessorção e Potencial de Lixiviação de Herbicidas*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Oliveira, J. B. (2005) *Pedologia Aplicada*. 2a ed. Piracicaba: FEALQ, 352p.

- Pastore E. L. 1995. Weathering profiles. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7, 1995, Guadalajara. *Proceedings...*Guadalajara: ISSMFE. V.1, p.353-364.
- Pastore, E. L.; Fontes, R. M. (1998) Caracterização e classificação de solos. In: Oliveira, A. M. S e Brito, S. N. A. (org.) Geologia de Engenharia. 1. ed. São Paulo, p. 197-210.
- Pfeiffer, S. C. (2001) *Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o Sistema de Informações Geográficas*. Tese (Doutorado) - São Carlos-SP, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP, Universidade de São Paulo.
- Pejon, O. J.; Zuquette, L. V. Importância dos Estudos Geológicos-Geotécnicos para a Disposição de Rejeitos Urbanos. Anais do SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS – REGEO'91, 1991. P. 367-377.
- Prado Filho, J. F. Lixo Urbano: Formas de Disposição no ambiente. Revista de Geografia. UNESP. São Paulo: Editora UNESP. V. 10p. 75-92. 1991.
- PROJIR. 1984. Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte-Fluminense. *In: Relatórios Técnicos Setoriais, volume I, Tomo 1 a 3; Estudos e Levantamentos Pedológicos. Campos dos Goytacazes. 127p.*
- Ramos, R. A. R. (2000) *Localização Industrial: um modelo para o noroeste de Portugal*. Tese (doutorado) - Braga: Minho-Portugal, Universidade do Minho, In: RAMOS & RAMOS, 2000.
- Ramos, R. A. R.; Mendes, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. Revista Engenharia Civil, Minho, Portugal, n. 10, Universidade do Minho, 2001. p. 7-29.

- Ramos, I. S. (2006) *Os depósitos silto-argilosos da planície de inundação do Rio Paraíba do Sul, em Campos dos Goytacazes/RJ, como fonte de materiais para a indústria de cerâmica vermelha*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 162p.
- Ribeiro, A. R. (1996). **Fuzzy multiple attribute decision making: a review and new preference elicitation techniques**. Fuzzy sets and systems. V78. p. 155-181.
- Ribeiro, L. S. (2006) *Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar do município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 158p.
- Rocha, S. F. (2004) *Análise da vulnerabilidade dos aquíferos livres com finalidade de investigação preliminar do risco de contaminação por saneamento in situ - Estudo de caso: Baixada Campista – Campos dos Goytacazes – RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 73p.
- Rohde, M. G. **Métodos de Seleção de Áreas para Aterros Sanitários**. Boletim Técnico, CIENTEC, n. 13. p. 9-23, 1989.
- Rosa, C. C. B; Almeida, F. T; Santos Júnior, E. L; Alves, M. G; Martins, M. L. L. (2004) *Qualidade Microbiológica de Água de Poços Provenientes de Áreas Urbanas e Rurais de Campos Dos Goytacazes/RJ*. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá-MT.
- Salomão, F. X. T.; Antunes, F. S. (1998) Solos. In: Oliveira, A. M. S e Brito, S. N. A. (org.) *Geologia de Engenharia*. 1. ed. São Paulo, p. 87-99.
- Schalch V.; Fantini Junior, W.; Leite, W. C. A.; Aguiar, E. M.; Fernández Junior, J. L. *Aterro Sanitário: Considerações sobre a escolha do Sítio, Projeto, Implantação, Operação e Monitoramento*. Anais do 7th CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1992. v. 1. p. 123-127.

- Toledo, M. C. M.; Oliveira, S. M. B.; Melfi, A. J. **Intemperismo e Formação do Solo**. In: Decifrando a Terra – ORGANIZADORES: Teixeira, Wilson; Toledo, Maria Cristina Motta; Fairchild, Thomas Rich e Taioli, Fabio. P.140-166. 2000.
- Tolentino, M. Fontes não usuais de metais pesados. In: Seminário sobre poluição por metais pesados. Brasília-DF. SEMA-SACT. 1980. p. 85-91.
- Tressoldi, M.; Consoni, A. J. (1998) Disposição de resíduos. In: Oliveira, A. M. S e Brito, S. N. A. (org.) Geologia de Engenharia. 1. ed. São Paulo, p. 343-360.
- Vieira, E. M. (2005) *Avaliação da Contaminação do solos e das águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em uma micro-bacia do Rio Paraíba do Sul. Dissertação*. (Mestrado em Engenharia Civil). Campos dos Goytacazes-RJ, UENF, 105p.
- Voogd, H. (1983). **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. Pion Ltd. London, UK. In: RAMOS & MENDES, 2001.
- Winterfeldt, D. Von; Edwards, W. (1986). **Decision analysis and behavioural research**. Cambridge University Press. Cambridge, UK. In: RAMOS & MENDES, 2001.
- Xavier, G. C.; Saboya, F. A. J. (2002) Massa Cerâmica com Resíduo de Granito: Análise Estatística dos Resultados por Planejamento Fatorial 3². Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46, Anais, 2002, São Paulo – SP, p. 1473-1481
- Zadeh, L. A. (1965). **Fuzzy sets. Information and control**. V8. p. 338-353.
- Zuquette, L. V. (1991) Importância dos estudos geológicos geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos. Anais do II SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS. Rio de Janeiro-RJ.

Zuquette, L. V. (1993) *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. Tese (Livre Docência) - São Carlos-SP, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP.

Zuquette, L. V.; Pejon, O. J.; Sinelli, O.; Gandolfi, N. (1994) Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. *Anais do International - IAEG Congress, 7, Balkema-Amsterdam*.

Zuquette, L. V.; Pejon, O. J.; Gandolfi, N.; Rodrigues, J. E. (1999) Mapeamento Geotécnico: parte I – Atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. *Revista Geociências, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 491-524*.

ANEXOS

ANEXO I – Alguns autores e os critérios utilizados por eles para localização de áreas para disposição de resíduos sólidos.

Autores/Título	Critérios
<p>Maria Lúcia Calijuri - UFV André Luiz de Oliveira Melo - UFV Juliana Ferreira Lorentz - UFV</p> <p>“Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão”.</p> <p>Cachoeiro de Itapemirim/ES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hidrografia (1:50.000); - Sistema viário (1:50.000); - Geologia (1:100.000); - Planimetria e base topográfica (1:50.000); - Carta de declividades; - Limite do município; - Núcleos populacionais, áreas urbanizadas e fazendas; - Pedologia (1:250.000); - Geomorfologia (1:250.000); - Imagem Landsat 5, bandas 3, 4 e 5.
<p>Eliseu Weber – Universidade Luterana do Brasil Heinrich Hasenack - UFRS</p> <p>“Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através da análise em SIG com classificação contínua dos dados”.</p> <p>Osório/RS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Unidades de mapeamento do solo; - Limites municipais; - Rede viária, hidrografia e curvas de nível com equidistância de 20 metros; - Geologia; - MDE; - Imagem Landsat 5, bandas 3, 4 e 5; - Mapa de uso e cobertura do solo (obtido da classificação da Imagem); - Carta de declividades.
<p>Marco Antônio Albano Moreira - UFSCar</p> <p>“Aplicação de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas de disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário – Município de Descalvado (SP)”.</p> <p>Descalvado/SP</p>	<p>* <u>ZUQUETE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pedologia; - Geologia; - Geomorfologia; - Hidrogeologia (áreas de recarga, nível da água subterrânea, escoamento superficial); - Hidrografia; - Carta de potencial de escoamento superficial (Metodologia de Pejon); - Sistema viário; - Substrato rochoso (litologia, profundidade); - Material inconsolidado (textura, mineralogia, blocos de rochas, CTC, material colapsível, permeabilidade); - Carta de declividade; - MNT.
<p>Kelly de Vasconcelos Costa – UFMG</p> <p>“Classificação de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos utilizando geoprocessamento”.</p> <p>Província Mineral da serra dos Carajás/PA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Geologia; - Geomorfologia; - Solo (espessura, permeabilidade); - Hidrografia; - Hidrogeologia (profundidade do nível d’água subterrâneo); - Vegetação; - Declividade; - Infra-estrutura (sistema viário).

<p>Fátima Regina Neves Lima – UFRJ/COPPE</p> <p>“Localização de aterros sanitários utilizando Lógica Nebulosa – Caso Petrópolis”.</p> <p>Petrópolis/RJ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cursos d’água; - Profundidade do lençol freático; - Permeabilidade do solo; - Distância de aeroportos; - Núcleos residenciais; - Sistema viário; - Disponibilidade de material de cobertura; - Custo de desapropriação do terreno; - Distância ao centro de coleta; - Uso do solo.
<p>César Malutta – UFSC</p> <p>“Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Paisagem; - Transporte; - Meio biótico; - Lençol freático; - Monitoração das águas subterrâneas; - Corpos d’água; - Drenagem pluvial; - Permeabilidade; - Recobrimento; - Sistema viário; - Custos; - Núcleos habitacionais.
<p>Lucy Teixeira Guimarães – UFRJ</p> <p>“Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ”.</p> <p>Teresópolis/RJ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa topográfico; - Mapa geológico (substrato rochoso, material inconsolidado); - Mapa hidrológico; - Mapa pedológico; - Mapa geofísico; - Mapa geomorfológico; - Mapa climático; - Mapa de uso e ocupação;
<p>Flavio Simas de Andrade – IBAMA</p> <p>“Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal”.</p> <p>Distrito Federal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa Hidrogeológico (1:100.000); - Mapa Ambiental (1:100.000); - Mapa de Localização dos Condomínios (1:250.000); - Mapa do Plano Diretor de Ordenamento Territorial (1:100.000); - Mapa das Áreas de Proteção aos Mananciais (1:100.000); - Imagem digital Landsat TM5 – para obtenção do mapa de vegetação; - Mapa de Vulnerabilidade do Meio Físico (1:100.000); - Vegetação; - MDE.
<p>Simone Costa Pfeiffer – USP</p> <p>“Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o SIG.”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - NBR 13896/93: <ul style="list-style-type: none"> - Topografia; - Geologia; - Pedologia; - Recursos Hídricos/Hidrogeologia; - Vegetação; - Acessos;

	<ul style="list-style-type: none"> - Tamanho e vida útil; - Custos; - Núcleos populacionais; - Áreas inundáveis; - Espessura do solo; - Uso e ocupação; - Subsolo (coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-5} cm/s); - Sistema viário.
<p>Marcos Domingues Muro – USP</p> <p>“Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos-SP-escala 1:50.000”.</p> <p>São Carlos/SP</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Substrato rochoso; - Carta de declividade; - MDT; - Águas superficiais; - Material inconsolidado; - Geomorfologia; - Base planialtimétrica; - Sistema viário e ferroviário; - Hidrografia.
<p>José Alberto Felipe Basílio - UNESP</p> <p>“Proposta de procedimentos para seleção preliminar de áreas para aterros sanitários a partir de cartas geotécnicas”</p> <p>Brasil – CETESB e IPT</p> <p>Campinas/SP</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>ABNT (NBR 10.004, 8418 e 8419) e CETESB:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Condutividade hidráulica $< 10^{-5}$ cm/s; - Centros urbanos < 500m; - Profundidade do lençol freático $> 1,5$ m a partir da base do aterro; - Distância mínima de 200 m de corpos d’água superficiais. - <u>IPT – informações de caráter:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Geologia - Geotécnico; - Pedologia; - Relevo; - Hidrologia e hidrogeologia; - Clima; - Áreas de proteção: ambiental, mananciais, parques, reservas, áreas tombadas e de zoneamento urbana; - Uso e ocupação; - Malha viária. - * - - <u>Autor:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Aspectos climáticos; - Vegetação; - Geomorfologia; - Hidrologia; - Hidrogeologia; - Profundidade do nível d’água; - Direção do fluxo da água subterrânea; - Características do material inconsolidado; - CTC; - Condutividade hidráulica;

	<ul style="list-style-type: none"> - Compressibilidade; - Profundidade e características do substrato rochoso; - Evapotranspiração, pluviosidade e escoamento superficial; - Geologia; - Substrato rochoso; - Erodibilidade; - Carta de declividades; - Carta para escavabilidade e irrigação.
<p>ABGE – Geologia de Engenharia Marilda Tressoldi Ângelo José Consoni</p> <p style="text-align: center;">“Disposição de Resíduos”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Geologia:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Falhamentos; - Estratigrafia; - Litologia; - Estruturas geológicas; - Alteração dos solos; - CTC; - Matéria orgânica; - Composição geoquímica; - Espessura; - Granulometria; - Estruturas. - <u>Hidrogeologia:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Presença de aquíferos regionais; - Zonas de recarga de aquíferos; - Cargas e gradientes hidráulicos; - Condutividades hidráulicas e transmissividades; - Porosidade; - Velocidades e direções de fluxos; - Locais das águas subterrâneas; - Coeficientes de dispersão e retardamento; - Características da zona não saturada como propriedades hidráulicas e geoquímicas; - Posição do nível d’água e suas variações; - Qualidades e utilização das águas subterrâneas; - Proximidade, qualidade e utilização das águas superficiais. - <u>Geotecnia:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Características granulométricas, porosidade, densidade e umidade; - Características de resistência, colapsividade e deformabilidade; - Localização e características de áreas de empréstimo. - <u>Geomorfologia:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Áreas sujeitas à inundação; - Áreas com declividades elevadas; - Áreas suscetíveis a escorregamentos, erosões e subsidências.

	<p>Observar os seguintes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none">- Geologia;- Solos (espessura, permeabilidade);- Relevo (declividade);- Águas subterrâneas e superficiais;- Clima;- Vegetação (APA's, APM's, parques, reservas, áreas tombadas, zoneamento urbano);- Valor das terras, distância aos centros geradores, infraestrutura (malha viária, eletricidade), uso e ocupação;- Distância dos núcleos habitacionais.
--	--

ANEXO II – Dados de Profundidades de poços rasos utilizados para geração do mapa de profundidade do lençol freático.

Poço	E	N	Cota (m)	Autor
1	256752.71	7621496.33	-5.98	COSTA,2005
2	250649.84	7626496.51	-5.32	
3	244102.35	7634067.59	-2.32	
4	244330.30	7651980.45	-3.84	
5	246051.17	7646562.58	-4.05	
6	247350.77	7646497.48	-1.82	
7	260582.77	7608728.47	-7.11	
8	256418.97	7634258.38	-3.67	
9	249003.46	7582679.50	-4.32	
10	246054.54	7569588.65	-10.82	
11	241062.71	7566471.16	-6.63	
12	222823.24	7562470.48	-9.82	
13	231799.52	7578855.94	-8.13	
14	288380.07	7561326.96	-1.32	
15	278938.05	7573042.79	-2.90	
16	271473.07	7581587.62	-4.43	
17	265770.47	7584001.43	-4.32	
18	258660.62	7571627.80	-2.07	
19	257315.37	7571858.20	-1.32	
20	232593.60	7589243.40	-1.27	
21	231305.40	7595254.85	-1.00	
22	262344.75	7594192.53	-4.75	
23	259886.34	7594399.81	-2.75	
24	259623.66	7594804.62	-2.41	
25	257090.02	7595846.73	-6.25	
26	255571.79	7601729.80	-11.65	
27	261335.83	7590822.84	-3.40	
28	261590.17	7589606.30	-3.74	
29	258937.62	7589670.90	-1.43	
30	239743.73	7589760.70	-4.50	
31	239226.24	7591245.63	-3.64	
32	262921.98	7587630.81	-4.50	ROCHA, 2004
33	292765.95	7563866.18	-1.80	
34	264004.44	7583917.47	-4.00	
35	265224.09	7584186.02	-3.00	
36	262872.00	7584053.40	-4.00	
37	264580.17	7584317.50	-3.50	
38	265720.52	7583929.41	-4.00	
39	266558.70	7583653.80	-4.00	
40	272061.50	7584626.50	-2.50	
41	269551.77	7584211.68	-3.50	
42	271426.50	7581532.90	-4.50	
43	268415.11	7580967.18	-4.50	
44	261274.74	7590730.34	-3.50	
45	260788.31	7590427.22	-3.00	
46	261267.04	7590119.30	-3.00	
47	278986.75	7568044.90	-2.50	

48	279566.33	7571265.72	-3.50	
49	278826.19	7572937.48	-3.00	
50	278290.80	7574342.90	-3.00	
51	274713.60	7577140.60	-3.00	
52	273522.00	7591709.50	-3.00	
53	273828.23	7589071.59	-2.20	
54	268888.71	7589378.27	-3.00	
55	267104.13	7591853.08	-2.70	
56	253620.54	7588922.05	-3.50	
57	252396.18	7585781.13	-2.70	
58	264593.57	7576076.84	-3.00	
59	271577.12	7564553.88	-3.00	
60	273599.82	7567459.98	-2.00	
61	272791.42	7578111.11	-3.50	
62	270593.99	7578780.53	-4.50	
63	271318.26	7575019.44	-2.50	
64	249301.22	7580066.51	-3.00	
65	246054.54	7569588.65	-11.00	
66	248939.98	7582666.25	-4.00	
67	248646.55	7597779.14	-2.50	
68	262992.90	7588452.33	-4.00	
69	264636.84	7588454.53	-3.50	
70	266727.80	7588094.68	-3.00	
71	257752.07	7586125.99	-3.00	
72	257691.15	7583346.83	-4.00	
73	265666.85	7581032.50	-4.00	
74	262531.74	7577593.32	-3.00	
75	254450.00	7593780.00	-2.00	PROJIR, 1984
76	247920.00	7598000.00	-4.20	
77	249630.00	7594600.00	-3.26	
78	246105.00	7598250.00	-2.93	
79	245660.00	7595270.00	-1.55	
80	243470.00	7592340.00	-2.70	
81	251930.00	7596115.00	-1.50	
82	248195.00	7591665.00	-2.83	
83	250660.00	7589680.00	-2.40	
84	249245.00	7582815.00	-3.61	
85	252215.00	7585160.00	-4.20	
86	259320.00	7585620.00	-2.76	
87	254975.00	7585105.00	-3.70	
88	257455.00	7581770.00	-2.64	
89	255345.00	7577500.00	-2.90	
90	260210.00	7588770.00	-2.60	
91	256485.00	7588000.00	-3.82	
92	258060.00	7591350.00	-3.17	
93	255030.00	7589410.00	-2.80	
94	262670.00	7586690.00	-3.45	
95	262510.00	7591725.00	-2.22	
96	268055.00	7592275.00	-1.80	
97	273855.00	7595615.00	-0.80	
98	269170.00	7596010.00	-1.80	

99	273490.00	7592360.00	-2.86
100	269065.00	7589430.00	-1.77
101	277780.00	7588725.00	-1.37
102	278400.00	7589885.00	-2.57
103	278635.00	7587060.00	-2.10
104	266800.00	7585500.00	-4.00
105	272070.00	7584620.00	-2.69
106	275240.00	7583795.00	-2.00
107	260940.00	7583365.00	-5.20
108	268470.00	7580910.00	-3.50
109	271690.00	7581200.00	-2.15
110	277115.00	7581365.00	-2.83
111	260655.00	7579175.00	-2.73
112	265255.00	7579920.00	-2.15
113	274045.00	7579600.00	-2.50
114	280100.00	7578900.00	-1.35
115	246840.00	7580030.00	-1.30
116	245520.00	7577050.00	-1.35
117	251590.00	7578855.00	-1.82
118	258810.00	7576270.00	-3.50
119	262980.00	7577035.00	-3.23
120	276580.00	7577990.00	-2.30
121	249470.00	7576320.00	-2.40
122	265060.00	7574750.00	-3.68
123	271315.00	7575050.00	-2.15
124	283620.00	7574935.00	-2.28
125	249255.00	7572850.00	-2.70
126	256250.00	7572575.00	-2.90
127	267120.00	7572595.00	-5.00
128	276645.00	7572330.00	-1.80
129	281460.00	7572120.00	-2.30
130	288100.00	7573010.00	-0.86
131	244180.00	7574780.00	-1.50
132	245450.00	7571560.00	-2.75
133	259850.00	7570965.00	-1.70
134	246845.00	7568775.00	-1.57
135	272110.00	7569280.00	-2.07
136	279100.00	7567950.00	-2.25
137	269425.00	7567240.00	-1.30
138	273725.00	7566540.00	-1.60
139	282975.00	7566935.00	-1.76
140	243870.00	7566500.00	-1.94
141	247420.00	7566360.00	-3.00
142	252840.00	7574960.00	-1.25
143	249280.00	7599060.00	-2.10
144	254545.00	7601085.00	-0.50
145	257310.00	7598255.00	-3.00
146	260770.00	7594140.00	-4.80
147	265960.00	7594540.00	-2.00
148	266720.00	7598180.00	-1.40
149	270770.00	7596550.00	-2.25

150	274110.00	7599260.00	-1.98	
151	249185.00	7604780.00	-2.98	
152	253020.00	7602670.00	-3.05	
153	260445.00	7601030.00	-1.20	
154	263740.00	7601600.00	-1.90	
155	267595.00	7603040.00	-1.00	
156	270930.00	7601600.00	-3.58	
157	260175.00	7605230.00	-1.20	
158	271400.00	7605265.00	-2.50	
159	262921.98	7587630.81	-4.50	ROSA <i>et al.</i> , 2004
160	264004.44	7583917.47	-4.00	
161	265224.09	7584186.02	-3.00	
162	262872.00	7584053.40	-3.00	
163	264580.17	7584317.50	-3.50	
164	265720.52	7583929.41	-4.00	
165	266558.70	7583653.80	-4.00	
166	272061.50	7584626.50	-2.50	
167	269551.77	7584211.68	-3.50	
168	271426.50	7581532.90	-4.50	
169	268415.11	7580967.18	-4.50	
170	261274.74	7590730.34	-3.50	
173	278986.75	7568044.90	-2.50	
174	279566.33	7571265.72	-3.50	
175	278826.19	7572937.48	-3.00	
176	278290.80	7574342.90	-3.00	
177	274713.60	7577140.60	-3.00	
178	273522.00	7591709.50	-3.00	
179	273828.23	7589071.59	-2.20	
180	268888.71	7589378.27	-3.00	
181	267104.13	7591853.08	-2.70	
182	253620.54	7588922.05	-3.50	
183	252396.18	7585781.13	-2.70	
184	264593.57	7576076.84	-3.00	
185	271577.12	7564553.88	-3.00	
186	273599.82	7567459.98	-2.00	
187	272791.42	7578111.11	-3.50	
188	270593.99	7578780.53	-4.50	
189	271318.26	7575019.44	-2.50	
190	249301.22	7580066.51	-3.00	
191	246054.54	7569588.65	-11.00	
192	248939.98	7582666.25	-4.00	
193	248646.55	7597779.14	-2.50	
194	262992.90	7588452.33	-4.00	
195	264636.84	7588454.53	-3.50	
196	266727.80	7588094.68	-3.00	
197	257752.07	7586125.99	-3.00	
198	257691.15	7583346.83	-4.00	
199	265666.85	7581032.50	-4.00	
200	262531.74	7577593.32	-3.00	
201	292765.95	7563866.18	-1.84	
202	290865.06	7562639.11	-4.00	

203	289347.11	7561588.47	-4.00
204	287828.52	7560797.09	-4.50
205	243382.07	7638799.54	-8.00
206	244104.69	7634027.43	-2.60
207	260988.28	7608950.92	-11.00
208	260163.51	7607747.97	-3.50
209	263042.50	7597345.88	-7.50
210	261292.08	7598590.93	-8.50
211	260737.31	7603212.82	-9.00
212	262344.75	7594192.53	-4.50
213	289886.34	7594399.81	-2.50
214	258666.22	7595970.02	-5.00
215	261412.60	7596151.95	-4.50
216	250147.80	7607463.80	-8.00
217	253963.25	7603247.87	-19.00
218	255571.79	7601729.80	-13.00
219	257070.93	7595837.95	-10.00
220	240676.87	7587935.88	-8.50
221	242578.71	7586140.16	-2.50
222	231314.06	7595243.66	-1.00
223	234277.04	7596977.40	-0.50
224	238045.78	7600994.05	-3.00
225	241854.35	7600928.37	-5.30
226	231799.52	7578855.94	-5.00
227	230215.52	7579767.87	-16.00
228	237433.41	7580113.34	-2.00
229	246494.44	7585229.74	-8.00
230	222173.62	7561960.13	-6.00
231	222823.24	7562470.48	-10.00
232	239519.32	7581126.08	-23.00
233	269685.30	7608376.43	-10.00
234	263597.17	7608524.11	-6.00
235	259133.72	7614636.30	-14.00
236	257426.70	7621079.40	-9.50
237	267890.85	7606289.37	-9.00
