



**Universidade Federal de Uberlândia**



**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

**TEREZA CRISTINA BITTENCOURT NOSSA**

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR PARA A  
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO  
DE ARAXÁ – M.G.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise e Planejamento Sócio-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia (MG)  
Instituto de Geografia  
2004

# SUMÁRIO

---

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Quadros.....	vii
Anexos.....	viii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos.....	5
1.1.1. Objetivo Geral.....	5
1.1.2. Objetivos Específicos.....	5
1.2. Justificativa.....	6
1.3. Localização.....	10
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
2.1. Resíduos Sólidos.....	11
2.1.1. Conceituação e Classificações.....	11
2.1.2. Formas de Tratamento e Disposição Final.....	16
2.2. Aterro Sanitário.....	20
2.2.1. Conceituação.....	20
2.2.2. Classificação.....	21
2.2.3. Características Funcionais.....	22
2.2.4. Etapas Básicas para Implementação.....	22
2.2.5. Componentes.....	25
2.2.6. Concepções.....	30
2.2.7. Problemas Associados.....	32
2.3. Mapeamento Geotécnico.....	38
2.3.1. Considerações Gerais.....	38

2.3.2. Técnicas de Avaliação do Terreno.....	39
2.3.3. Metodologias Estrangeiras.....	39
2.3.4. Metodologias Brasileiras.....	49
2.3.5. Metodologias para a Elaboração de Cartas para a Disposição de Resíduos Sólidos.....	62
2.4. Geoprocessamento.....	67
2.4.1. Cartografia Digital.....	67
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>70</b>
3.1. Considerações Gerais.....	70
3.2. Atributos Restritivos para a Disposição de Resíduos Sólidos.....	71
3.2.1. Atributos Seleccionados.....	75
3.2.1.1. Atributos do Meio Físico.....	75
3.2.1.2. Atributos Operacionais.....	85
3.3. Materiais Utilizados.....	86
3.4. Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa.....	87
3.5. Ensaio de Laboratório.....	104
3.5.1. Tipos de Amostras.....	104
3.5.2. Tipos de Ensaio.....	106
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....</b>	<b>109</b>
4.1. Clima.....	109
4.2. Vegetação.....	109
4.3. Hidrografia.....	110
4.4. Geomorfologia.....	112
4.5. Substrato Rochoso.....	115
4.5.1. Granitóides.....	115
4.5.2. Grupo Araxá.....	117
4.5.3. Complexo Alcalino-Carbonatítico.....	119
4.6. Materiais Inconsolidados.....	120
4.6.1. Perfis de Alteração.....	120
4.6.1.1. Materiais Identificados.....	123

<b>5. ANÁLISES DOS RESULTADOS</b> .....	135
5.1. Elaboração da Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos.....	135
5.2. Classes de Adequabilidade para a Disposição de Resíduos Sólidos.....	136
5.3. Análises de Adequabilidade para Recobrimento de Aterros Sanitários.....	141
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	146
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	150

**Agradeço a Deus, pois sem ele nada teria sido possível;  
À minha família, que apesar da distância está sempre  
presente em meus pensamentos;  
Ao Maestro, que através do Conhecimento Logosófico,  
proporcionou inúmeros câmbios em minha vida.**

## AGRADECIMENTOS

---

Para concluir o processo de execução desta dissertação, muitos foram os que contribuíram. Devo, assim meus agradecimentos:

- Em especial à minha mãe “*in memorian*” e ao meu pai, grandes responsáveis pela finalização de mais esta etapa da minha vida, e à minha irmãzinha Ana Verena, que é a luz que ilumina o meu caminho;
- Ao professor Luiz, meu orientador, o meu abraço e a minha admiração;
- À professora e amiga Maria Elisa pelos intercâmbios, sugestões, palavras de afeto e disponibilização do laboratório de geotecnia da UFU, para a realização dos ensaios, o que contribuiu de forma efetiva para a conclusão do meu trabalho;
- À Celeste, Chico e família, grandes amigos-irmãos que sempre me apoiaram em todas as fases do meu trabalho, estando sempre presentes na minha vida;
- À professora Maria Auxiliadora Ribeiro, reitora do UNIARAXÁ, pelo incentivo e apoio dado ao trabalho;
- Ao Carlos, pela digitalização dos mapas e por estar sempre disponível para retificações e correções;
- Ao professor e amigo Igo, pelo apoio, estando sempre presente apesar da distância;
- Ao João Bosco, responsável pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Prefeitura de Araxá, pelo apoio oferecido nos trabalhos de campo, disponibilizando veículo com motorista;
- À professora e amiga Regina, pelas correções preliminares e sugestões dadas ao trabalho;
- Ao Hildor, o (SEER, 1999), pelo acompanhamento no trabalho de campo preliminar de reconhecimento da área e discussões que muito contribuíram para o entendimento das litologias aflorantes;
- Ao Paulo Otuki e à Odilon que cederam as fotografias aéreas de Araxá, as quais foram utilizadas para a geração do fottomosaico georreferenciado da área;

- **Aos técnicos do Laboratório de Geotecnia da UFU, Veloso e Romes, pelos ensaios realizados, que possibilitaram a obtenção dos índices físicos das amostras coletadas na área;**
- **Ao colega Marcelo, pela ajuda nos trabalhos de campo iniciais, quanto à captura dos pontos de controle da área, com o auxílio do GPS;**
- **Ao colega Basílio, pelo envio de sugestões de trabalhos a serem pesquisados;**
- **Ao Thiago, pela conversão dos mapas em formato A0 para o formato A1 e pela arte final dos CDs.**

## LISTA DE FIGURAS

---

1. Mapa de localização da área de estudo.....	10
2. Fluxograma representativo das interações entre os aterros sanitários e o meio ambiente.....	35
3. Metodologia do IPT para elaboração de carta geotécnica: etapas e produtos.....	51
4. Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	88
5. Ficha de campo elaborada para facilitar o registro dos principais aspectos característicos de um perfil de alteração para a finalidade de mapeamento geotécnico.....	91
6. Visão prévia do fotomosaico (direita) e imagem de detalhe da porção norte do fotomosaico (esquerda), exemplificando o processo de acomodação das feições.....	95
7. Imagem mostrando a locação de pontos de controle em fotografia aérea.....	96
8. Detalhe e semi-detalhe dos pontos de controle capturados em campo e representados no fotomosaico no ambiente do Envi 3.5.....	97
9. Fotomosaico georreferenciado em ambiente Spring 3.5, para posterior exportação para o ambiente do Auto Cad Map 2.000 para diagramação.....	98
10. Afloramento de granitóides em uma pedreira desativada (Norte da área).....	117
11. Amostra representativa de mica xistos granadíferos do Grupo Araxá afloramento localizado na BR-262 (Norte da área).....	119
12. Descrição dos níveis de alteração típicos de materiais inconsolidados.....	123
13. Detalhe de um perfil típico de alteração mostrando a linha de seixos formada por fragmentos de quartzo e quartzito angulares, de espessura centimétrica, separando o material residual da base (Residual do Grupo Araxá) do material retrabalhado no topo (Cobertura de Superfícies Residuais). (Ponto 13 – Anexo IV).....	125



14. Perfil típico de alteração do Grupo Araxá. A linha inferior indica a separação entre a rocha inalterada xistosa (base) e o saprólito (topo) e a linha superior indica a separação entre o saprólito (base) e o material inconsolidado com estrutura da rocha (topo). (Ponto 9 – Anexo IV).....127
15. Perfil típico de alteração dos granitóides. A linha tracejada indica a separação entre o material residual com estrutura da rocha (base) e o material retrabalhado Cobertura de Superfícies Residuais (topo). (Ponto 5 – Anexo IV).....130
16. Perfil típico de alteração dos granitóides, localizado no interior de uma voçoroca no trecho norte da área. A linha tracejada indica a separação entre a cobertura de superfícies residuais (topo) e o material residual de granitóides sem estrutura da rocha (base). (Ponto de observação 29 Anexo IV).....132
17. Materiais inconsolidados sem estrutura da rocha róseo-avermelhados (topo), separados dos saprólitos amarelo - esbranquiçados (porção intermediária), com presença de materiais aluvionares esbranquiçados nos entornos da rede de drenagem (base). (Ponto de observação 17a Anexo IV).....133

## LISTA DE TABELAS

---

1. Resultados de ensaios de laboratório e índices físicos obtidos para as unidades de materiais inconsolidados.....143
2. Resultados de ensaios de laboratório e índices físicos obtidos em campo e laboratório para unidades de materiais inconsolidados.....144
3. Classificações utilizadas para avaliação dos resultados de ensaios granulométricos das unidades de materiais inconsolidados..... ...145

## LISTA DE QUADROS

---

1. Principais diferenças entre <i>liners</i> GLC e <i>liners</i> argilosos naturais.....	29
2. Impactos adversos e algumas medidas mitigadoras para aterros sanitários.....	33
3. Problemas produzidos pela instalação não criteriosa de aterros.....	34
4. Metodologia Espanhola: tipos de mapas geotécnicos em função da escala.....	47
5. Síntese das etapas do método do detalhamento progressivo.....	52
6. Seqüência dos trabalhos do método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.....	53
7. Metodologia de mapeamento geotécnico da EESC/USP.....	57
8. Síntese da análise comparativa entre os métodos de cartografia geotécnica da EESC/USP e do IPT.....	61
9. Critérios para avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário.....	65
10. Classes de atributos e características principais.....	67
11. Atributos e níveis usados na definição e delimitação de unidades de favorabilidade, apresentando heterogeneidade mínima.....	72
12. Atributos do meio físico considerados essenciais para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.....	75
13. Atributos do meio físico avaliados e suas classes de adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos na área.....	77
14. Adequabilidade de diferentes tipos de solos para recobrimento de aterros sanitários.....	80
15. Formas de obtenção dos atributos selecionados.....	84
16. Atributos operacionais avaliados e suas classes de adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos na área.....	85
17. Graus de coerência.....	92
18. Classificação do estado de alteração para perfis homogêneos de materiais.....	92

## ANEXOS

---

ANEXO I - Fotomosaico da Zona Urbana e Adjacências de Araxá-M.G.

ANEXO II - Mapa de Documentação da Área

ANEXO III - Mapa do Substrato Rochoso da Área

ANEXO IV - Mapa de Materiais Inconsolidados da Área

ANEXO V - Carta Preliminar para Disposição de Resíduos Sólidos Classe-II  
(ABNT/NBR-10.004/87) da Área

## RESUMO

---

O trabalho de avaliação preliminar de áreas para a disposição de resíduos sólidos no município de Araxá contempla o resultado do mapeamento geotécnico em escala 1:25.000, efetuado em uma área do município correspondente a 290 km<sup>2</sup>, compreendendo um polígono de cerca de 10 a 12 km de raio, estabelecido a partir do centro da cidade, balizado pelas seguintes coordenadas geográficas: 19°29'42 e 19°29'48 de latitude Sul e 47°01'38 e 46°52'57 de longitude Oeste. Os procedimentos iniciais consistiram em interpretação de fotografias aéreas e trabalhos de campo com captura de pontos de controle, que propiciaram a elaboração de um fotomosaico georreferenciado, utilizado para a produção da base cartográfica digital da área de estudo. Em seguida, foram efetuadas a delimitação, caracterização e avaliação das cinco unidades homogêneas de materiais inconsolidados presentes na área. Do total de unidades geotécnicas avaliadas, três correspondem aos materiais inconsolidados residuais (Residuais dos Mica Xistos do Grupo Araxá, Residuais dos Granitóides e Residuais de Pequena Espessura dos Granitóides) e duas representam os materiais inconsolidados retrabalhados (Coberturas de Superfícies Residuais e Depósitos Aluvionares – Coluvionares Indiferenciados), seguindo a sistemática fundamentada na proposta metodológica da Escola de Engenharia de São Carlos/USP. O trabalho teve como produto final a geração de dois mapas fundamentais: Mapa do Substrato Rochoso e Mapa de Materiais Inconsolidados e de uma Carta Derivada: Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos, sendo esta última elaborada através da análise e do cruzamento de informações obtidas sobre os atributos do meio físico e os atributos operacionais avaliados, o que possibilitou a classificação das unidades geotécnicas como favoráveis, moderadas e inadequadas para a disposição de resíduos sólidos na área. Os documentos gerados são de fundamental importância para o correto planejamento do uso e ocupação do meio físico para a finalidade proposta.

Palavras-chave: Mapeamento geotécnico, fotomosaico georreferenciado, unidades homogêneas, atributos do meio físico, resíduos sólidos.

## ABSTRACT

---

The preliminary evaluation work of areas for the disposal of solid waste in the municipality of Araxá takes into account the result of the engineering geological mapping in the scale of 1:25,000, carried out in a city area of 290 km<sup>2</sup>, comprising a polygon of approximately 10 a 12 km radius, determined from the city center, delimited by the following geographic coordinates: 19°29'42" and 19°29'48" of South latitude, and 47°01'38" and 46°52'57" of West longitude. The first procedures consisted of interpreting aerial photographs and fieldwork, capturing points of control, which enabled the making of a register photomosaic, used to produce the digital cartographic base of the studied area. Afterwards, the delimitation, characterization and evaluation of five homogenous units of unconsolidated materials, present in the area. From all the evaluated geotechnical units, three of them correspond to residual unconsolidated materials (Residual from Mica Schist from Araxá Group, Residual from Granitoids and Residual from Small Thickness of Granitoids) and two of them represent the reworked unconsolidated materials (Coverings of Residual Surfaces and Deposits Indefered Alluvium and Colluvium), following the systematics based on the methodological approach from the Engineering School of São Carlos/USP. This work resulted in the production of two fundamental maps: Rocky Substratum Map and Unconsolidated Material Map, and of a derived map: Map Preliminary for the Disposal of Solid Residues, the latter was elaborated through the analysis and the integration of obtained information about the physical environment attributes and the evaluated operational attributes, which enabled the classification of the geotechnical units as favorable, moderate and inadequate to the disposal of solid waste in the area. The documents produced are of vital importance to the correct planning of use and occupation of the physical environment for the proposed purpose.

Keywords: Engineering geological mapping, register photomosaic, geotechnical units, attributes of the environment physical and solid waste.

## 1. INTRODUÇÃO

---

Os avanços tecnológicos e principalmente o crescimento populacional têm contribuído para o aumento da produção de resíduos sólidos. Esse aumento, aliado à falta de consciência ambiental por parte da população, representa um dos maiores problemas da atualidade, e neste sentido, como e onde dispor ou tratar os resíduos sólidos?

O resultado desta situação é geralmente a contaminação<sup>1</sup> do meio ambiente, em função do acúmulo e da disposição inadequada dos resíduos no meio físico.

“O meio físico, o qual engloba solo, rocha, relevo, água, ar e as suas diferentes combinações, pode ser considerado o suporte para todas as formas de vida sobre a superfície da Terra e, ao mesmo tempo, o palco de todas as atividades humanas. O meio físico e o meio biótico coexistem em uma relação de interdependência, neste caso excluindo-se o homem como componente do meio biótico para formar um meio próprio, designado meio antrópico.”

(NISHIYAMA, 1998)

A partir de meados do século XIX, em decorrência de padrões de vida criados pela nova ordem social proveniente da Revolução Industrial, começaram a se destacar problemas de saúde pública e degradação ambiental pela disposição inadequada de resíduos sólidos (PHILIPPI JR., 1979).

---

<sup>1</sup>Contaminação: alterações geradas pela atuação de um ou mais poluentes, que podem alterar de maneira adversa algo de valor para o homem e está presente em teor suficientemente elevado para causar efeito adverso ao meio ambiente (AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 1969; in: HIRATA, 1994).

Segundo BROLLO (2001), nos anos 70 as políticas de controle de resíduos sólidos buscavam estabelecer normas referentes à forma mais adequada de coleta e, principalmente, de disposição final do material descartado. Nos anos 80, enfatizaram-se as formas de pré-tratamento e a destruição deste material. Atualmente, a tendência nos países industrializados é o estabelecimento de critérios e incentivos que permitam a implantação de programas de recuperação dos componentes dos resíduos.

Os modelos de gestão adotados pela maioria dos municípios para a administração de resíduos são resultantes de uma visão de inesgotabilidade dos recursos naturais. Esta é uma postura sócio-política que necessita de revisão a curto prazo, dentro da ótica do desenvolvimento sustentável<sup>2</sup>. Portanto, são necessárias mudanças comportamentais de consumo, não apenas no que diz respeito à quantidade, mas também em relação ao tipo de produto adquirido e aos processos industriais utilizados na confecção destes produtos.

A agenda 21 contém estratégias e medidas que visam à prevenção e recuperação de áreas sujeitas à degradação ambiental e propõe que:

“ A sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação cada vez maior de resíduos. Os Governos, juntamente com a indústria, as famílias e o público em geral, devem envidar um esforço conjunto para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados.”  
(SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1992).

---

<sup>2</sup>Desenvolvimento Sustentável: é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. Esta definição envolve três aspectos: o desenvolvimento econômico, uso e manutenção da potencialidade ambiental e a melhoria das condições sociais. (CHRISTOFOLETTI, 1996).



Segundo este documento, o manejo ambientalmente saudável de resíduos consiste não somente em práticas de disposição e aproveitamento seguro dos mesmos, como também em uma busca da resolução da causa fundamental do problema, ou seja, a mudança dos padrões não sustentáveis de produção e consumo. Isto, segundo esta concepção, implica na aplicação do conceito de “manejo integrado do ciclo vital”, cuja estrutura de ação deve estar apoiada em objetivos hierárquicos e centrada em quatro áreas:

- ❑ Redução dos resíduos;
- ❑ Aumento da reciclagem e reutilização;
- ❑ Disposição e tratamento visando ao menor impacto ambiental possível;
- ❑ Ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos.

Desta forma, de acordo com a Agenda 21, são condições básicas para que estes objetivos sejam alcançados:

- ❑ Estabelecimento de uma política de gerenciamento e monitoramento do lixo produzido;
- ❑ Desenvolvimento da capacidade nacional de pesquisa e implementação de novas tecnologias de manejo dos resíduos;
- ❑ Estabelecimento de incentivos para reduzir os padrões de produção e consumo não sustentáveis;
- ❑ Desenvolvimento de programas de conscientização, educação e informação da população em geral sobre princípios e práticas para a disposição de resíduos e seus impactos sobre o meio ambiente.

No Brasil, a disposição de resíduos sólidos, em geral, é efetuada de forma inadequada, pois não se leva em consideração os atributos<sup>3</sup> do meio físico, tais como: tipo litológico, espessura e textura de materiais inconsolidados,

---

<sup>3</sup>Atributos: qualidades pertinentes aos componentes do meio físico e que são considerados dados básicos e necessários para a sua classificação geológico-geotécnica (ZUQUETTE, 1987).

escoamento superficial, infiltração, profundidade do nível d'água (N.A.), processos erosivos, declividade do relevo e fatores climáticos, dentre outros; que interferem e são determinantes para a adequada seleção de áreas destinadas para tal finalidade. Esta prática tem implicado em um potencial considerável de degradação e contaminação ambiental (ZUQUETTE *et al.*, 1994).

Desta forma, segundo NISHIYAMA (1998), é necessária uma visão de conjunto e relações bastante aprimoradas entre os componentes do meio físico e seus comportamentos frente aos tipos de ocupação, de forma a permitir soluções adequadas aos possíveis problemas detectados, considerando-se a interação do meio físico com o meio sócio-econômico, problemas gerados e potenciais, para prevenção, mitigação e reorganização estrutural.

A área de estudo, localizada no município de Araxá (Figura 1), pouco difere do contexto nacional, pois apresenta uma grande deficiência quanto aos materiais cartográficos produzidos em escala de detalhe, possuindo apenas mapas topográfico e geológico na escala de 1:100.000 ou menores. Esta situação implicou na necessidade de se produzir um Fotomosaico Georreferenciado (Anexo-I), que foi utilizado para a geração do Mapa de Documentação, considerado como a base cartográfica da área (Anexo-II). A partir destes documentos elaborados inicialmente para a área de estudo, foram produzidos os mapas fundamentais<sup>4</sup>: Mapa do Substrato Rochoso (Anexo-III) e Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo-IV), bem como a carta derivada<sup>5</sup>: Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos (Anexo-V). Os documentos gerados podem auxiliar no planejamento do uso e ocupação do meio físico para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.

---

<sup>4</sup>Mapas Fundamentais: documentos gráficos que registram informações sobre os diferentes componentes do meio físico (ZUQUETTE, 1987).

<sup>5</sup>Cartas Derivadas: compreendem os produtos da integração das informações dos mapas básicos ou fundamentais, e são destinadas ao uso direto pelo usuário. São elaboradas com o objetivo de subsidiar o planejamento do uso e ocupação do meio físico, partindo dos atributos considerados essenciais para uma determinada finalidade (ZUQUETTE, 1993).

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

Realizar o mapeamento geotécnico preliminar de uma área do município de Araxá, delimitada por um polígono com 290 km<sup>2</sup>, através da metodologia desenvolvida por ZUQUETTE (1987), na escala 1:25.000, para a finalidade de disposição de resíduos sólidos (Anexo-V).

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar um fotomosaico georreferenciado da área de estudo (Anexo-I), na escala 1:25.000, através da utilização de fotografias aéreas na escala de 1:20.000 de 1998, aliada a atividades de campo e recursos de geoprocessamento. Ressalta-se que na faixa norte da área foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:25.000 de 1979, devido ao fato de não existirem fotografias aéreas mais recentes deste trecho.
  
- Gerar uma base cartográfica da área (Mapa de Documentação - Anexo-II), na escala 1:25.000, através da utilização do fotomosaico georreferenciado e de recursos de geoprocessamento, de forma a permitir o armazenamento e a atualização de dados e informações, além de viabilizar análises integradas dos materiais cartográficos a serem produzidos: mapas fundamentais e carta derivada.
  
- Caracterizar as unidades homogêneas<sup>6</sup> da área, delimitadas de acordo com os atributos do meio físico avaliados (Quadro 13).

---

<sup>6</sup>Unidades Homogêneas: unidades geotécnicas delimitadas que apresentam graus de heterogeneidade mínimos aceitáveis, de acordo com a escala do trabalho (ZUQUETTE, 1987).

- Produzir mapas geotécnicos fundamentais, na escala 1:25.000, dos seguintes componentes do meio físico: substrato rochoso e materiais inconsolidados<sup>7</sup> (Anexos - III e IV).
  
- Gerar uma carta geotécnica derivada preliminar, na escala 1:25.000, voltada para a disposição de resíduos sólidos (Anexo-V).

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

No que diz respeito aos resíduos sólidos domiciliares, a tendência verificada nos países desenvolvidos é a de redução cada vez maior do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, buscando-se soluções integradas para o setor, tais como: minimização e reaproveitamento na origem; coleta seletiva e reciclagem; compostagem; incineração; e disposição final dos resíduos últimos em aterros sanitários. Quanto aos resíduos sólidos industriais, a forma de solução mais comum para a sua disposição final é o aterro industrial, sendo atualmente utilizado de forma associada a vários tipos de tratamentos, muitas vezes compondo uma estrutura conhecida como central de tratamento de resíduos sólidos.

No Brasil ainda há um longo caminho a ser percorrido para que sejam implantadas ações que de fato contemplem o entendimento sistêmico para os resíduos sólidos. Nossa realidade ainda é a da existência de “lixões”, onde se misturam resíduos domiciliares, industriais, de serviços de saúde, que estão disseminados na maioria das regiões do país e em municípios de todos os portes. Em geral, estes lixões são encontrados em locais totalmente inadequados, como margens dos rios, interior de voçorocas, áreas de proteção de mananciais, entre outros, implicando em um enorme potencial de degradação e contaminação ambiental. Tal fato evidencia a importância de estudos e ações voltadas à disposição adequada de resíduos, em que sejam consideradas as fragilidades do meio físico.

---

<sup>7</sup>Materiais Inconsolidados: todo material sobrejacente à rocha, seja ele residual ou transportado. Englobam-se neste último grupo o colúvio e o material aluvionar (ZUQUETTE, 1987).

Desta forma, faz-se necessário a viabilização de estudos que orientem de forma adequada a obtenção, análise e inter-relação entre os componentes do meio físico, tais como substrato rochoso, materiais inconsolidados, águas superficiais e subsuperficiais, processos erosivos, declividade do relevo e fatores climáticos, com o intuito de minimizar os riscos envolvendo o meio ambiente.

O processo de avaliação de áreas para a disposição de resíduos sólidos envolve vários aspectos, muitas vezes conflitantes entre si, sejam eles ambientais, sócio-econômicos ou construtivos. Sendo assim, considerar todos os aspectos necessários e suas inter-relações, de forma objetiva, torna-se um processo difícil e complexo, devendo-se, portanto, hierarquizar os diversos atributos envolvidos, de forma a refletir a realidade.

Como a preocupação com o espaço territorial é dinâmica e a sua interação com o empreendimento igualmente sofre modificações com o decorrer do tempo, considera-se desejável que a metodologia utilizada seja automatizada, de maneira a permitir o controle ambiental da obra e do seu entorno, mesmo quando o empreendimento tiver sua vida útil finalizada. Assim, a automatização dos procedimentos e a informatização dos dados e informações poderão subsidiar, ainda, a recuperação e o controle de áreas já impactadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos.

Tendo em vista a adequada avaliação de áreas para a disposição de resíduos sólidos no município de Araxá, foi realizado um mapeamento geotécnico de uma área correspondente a 290 km<sup>2</sup>. A área de estudo foi delimitada em função da finalidade do trabalho, aliado à presença de fatores limitantes observados: no trecho norte, devido ao limite com o município de Perdizes; no trecho oeste, devido à localização das bacias de captação de água para abastecimento urbano presentes na área: Córrego Fundo e Córrego da Areia e no trecho sul, devido a presença de mineradoras de grande porte: BOUNGE (extração de fosfato) e a Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia – CBMM (extração de nióbio); bem como do Complexo Hidromineral do Barreiro, sendo, portanto, áreas consideradas impróprias para a finalidade do estudo.

Atualmente, os resíduos sólidos coletados na cidade de Araxá são dispostos em um aterro controlado, em operação desde o ano de 2003, localizado próximo a BR-146 (Araxá - Patos de Minas), distando cerca de 8 km da zona urbana da cidade.

Segundo WILHEIM (2002), o projeto para a construção do aterro sanitário<sup>8</sup> foi elaborado, com previsão para ser viabilizado assim que for aprovado. Este projeto contempla o tratamento adequado do chorume e dos gases produzidos no aterro, bem como a recuperação da área degradada, antigo lixão. Salienta-se que, cerca de 75% dos resíduos domiciliares coletados são compostos por matéria orgânica, o que favorece o seu reaproveitamento, através da compostagem ou outro método a ser viabilizado.

A prefeitura da cidade de Araxá pretende implementar concomitante à construção do aterro sanitário, um programa de coleta seletiva dos resíduos gerados, o qual se encontra em fase experimental, de forma a possibilitar a reciclagem de grande parte desse material, bem como reduzir o volume dos resíduos a serem dispostos no aterro sanitário a ser construído, e conseqüentemente, ampliar a sua vida útil.

A cidade de Araxá destaca-se no contexto nacional como pólo turístico, devido à presença do Parque Hidromineral do Barreiro. Desta forma, a adequada disposição dos resíduos sólidos gerados pela população da cidade é uma questão de grande importância, no sentido de preservar as fontes hidrominerais e seus entornos, com o propósito de evitar prováveis contaminações das águas superficiais e subsuperficiais, que possam comprometer tanto as atividades turísticas como a conservação do meio ambiente.

---

<sup>8</sup>Aterro Sanitário: 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 (ABNT-NBR-8419/84).

Diante das premissas apresentadas, foi proposto a realização de um trabalho de mapeamento geotécnico voltado para a disposição de resíduos sólidos, na escala 1:25.000, compreendendo a área referente ao polígono delimitado no município de Araxá (Figura 1).

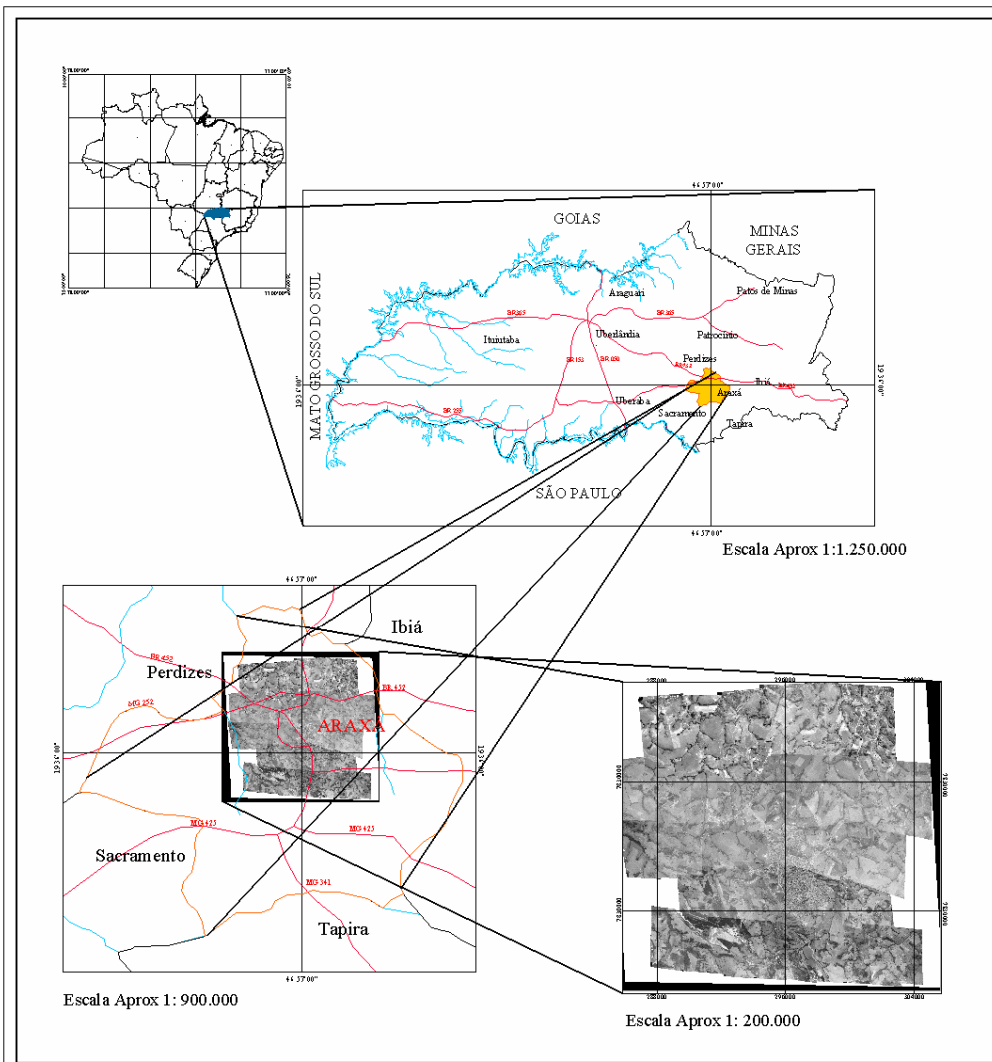
A realização do trabalho teve como fator limitante, a ausência de materiais cartográficos produzidos em escala adequada à finalidade proposta, 1:25.000 ou similares, uma vez que o mapa topográfico do município (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS, 1984) foi produzido na escala 1:100.000, o que implicou na necessidade de se gerar, em um primeiro momento, uma base cartográfica da área (Mapa de Documentação - Anexo-II) a partir de procedimentos de fotointerpretação, geoprocessamento e trabalhos de campo; para, em um segundo momento, se iniciar a produção dos mapas fundamentais: Mapa do Substrato Rochoso (Anexo - III) e Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo - IV) e da carta derivada: Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos (Anexo - V).

### **1.3. LOCALIZAÇÃO**

O município de Araxá, integrante da micro-região do Planalto de Araxá, situa-se na zona geográfica do Alto Paranaíba, a oeste do estado de Minas Gerais (IGA,1984). Abrange uma área de 1.166,5km<sup>2</sup> (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE DE ARAXÁ - MG, 1997), sendo composto pelo distrito de Itaipu e da Sede. Limita-se com os municípios de Perdizes a Norte / Nordeste, Ibiá a Leste, Tapira ao Sul e Sacramento a Sudeste.

A área de trabalho encontra-se inserida no município de Araxá, compreendendo um polígono com um círculo de influência de 10km a 12km de raio, com ponto central estabelecido no centro da cidade de Araxá (Igreja Matriz de São Domingos) (Anexo V), perfazendo uma área com 290Km<sup>2</sup>, balizada pelas seguintes coordenadas geográficas: 19°29'42" e 19°29'48" de latitude Sul e 47°01'38" e 46°52'57" de longitude Oeste (Figura 1).

### INSERÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE INTERESSE.

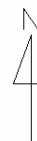


#### LEGENDA

- Principais Estradas de Acesso
- Rede de Drenagem
- Limite Político Administrativo
- Limite Político Município Araxá
- Fotomosaico Georreferenciado

#### INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Mapa do Estado de Minas Gerais: Projeção Polirônica, escala original 1:1.500.000.
- Mapa do Brasil: Projeção Polirônica, escala original 1:5.000.000
- Mapa de localização do Município de Araxá: Projeção Lat Long.
- Foto Mosaico Georreferenciado: Projeção Ortogonal UTM, DATUM SAD-69, Fuso 23, escala original 1:25.000.





## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

A estruturação e o desenvolvimento metodológico da presente dissertação foram fundamentados em aspectos conceituais e princípios relacionados aos seguintes temas: resíduos sólidos, aterro sanitário, mapeamento geotécnico e geoprocessamento. Desta forma, para subsidiar o entendimento e a aplicação da metodologia, bem como dos procedimentos propostos na dissertação são apresentados a seguir os aspectos relativos aos temas citados, considerando-se a finalidade de indicação preliminar de áreas para a adequada disposição de resíduos sólidos em consonância com a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável de territórios.

### **2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS**

#### **2.1.1. CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÕES**

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido podem ser definidos como resultantes das atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também são incluídos os lodos provenientes do sistema de tratamento de água e os gerados em equipamentos e instalações 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.” (ABNT/NBR-10.004/87).

Em termos conceituais, os resíduos sólidos são definidos como sendo constituídos de materiais das mais diferentes origens e processos, que são descartados após serem utilizados pelo homem nos diversos processos de consumo. Os rejeitos, por outro lado, são materiais em estado natural, ou transformados, que não têm valor para o homem, sendo descartados antes da sua utilização (KATAOKA, 2000).

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

Embora os países, em geral, adotem classificações particulares, estas têm por finalidade a definição da fonte ou origem dos resíduos e o seu grau de periculosidade frente a determinados padrões de qualidade ambiental e de saúde pública.

Desta forma, a classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem (SMA, 1998) apresenta as seguintes categorias:

#### □ **RESÍDUOS URBANOS**

Provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços de varrição e limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana e entulhos da construção civil e similares.

#### □ **RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

Provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração.

#### □ **RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE**

Decorrentes da atividade de transporte de cargas e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares.

#### □ **RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE**

Provenientes de atividades de natureza médico-assistencial, de centros de pesquisa e de desenvolvimento e experimentação na área de saúde, requerendo condições especiais quanto a acondicionamento, coleta, transporte e disposição final por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana, animal e ao meio ambiente.

#### □ **RESÍDUOS ESPECIAIS**

Decorrentes do meio urbano e rural que, pelo seu volume ou por suas propriedades intrínsecas, exigem sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final, de forma a evitar danos ao meio ambiente. Desta forma, são considerados especiais: resíduos de agrotóxicos e suas embalagens; pilhas e baterias; lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista; embalagens de medicamentos e medicamentos com prazos de validade vencidos; pneus; óleos lubrificantes e similares.

No Brasil, a classificação definida pela ABNT/NBR-10.004/87 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 sólidos em três grupos, com base em sua periculosidade, ou seja, de acordo com as características apresentadas pelo resíduo

que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. Desta forma, os resíduos são classificados da seguinte forma:

### **CLASSE - I (Resíduos Perigosos)**

Possuem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Apresentam risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento da mortalidade ou incidência de doenças. Também apresentam risco ao meio ambiente quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. São exemplos de classe-I os resíduos sólidos industriais perigosos.

### **CLASSE - II (Resíduos Não-Inertes)**

Podem ter características como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém não se enquadram como resíduos Classe I ou III. São exemplos de Classe - II os resíduos sólidos domésticos.

### **CLASSE - III (Resíduos Inertes)**

Abrange os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização, segundo a ABNT/NBR-10.006/87, não tenham quaisquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos internacionalmente. Enquadram-se nesta classe as rochas, tijolos, vidros, etc.

Alguns autores vêm propondo outras classificações, dentre as quais podemos citar as de SCHALCH (1990) e a de ZUQUETTE & GANDOLFI (1991).

Com base na ABNT/NBR-10.004/87, SCHALCH (1990) classificou os resíduos segundo:

- Sua origem: residencial, comercial, industrial, hospitalar (resíduos de serviço de saúde), especial e de feiras, varrições e outros.
- Do ponto de vista sanitário: orgânicos (material putrescível ou fermentável) e inertes (material não putrescível).
- Do ponto de vista econômico: resíduos aproveitáveis, resíduos para produção de compostos (resíduos orgânicos em geral), materiais recuperáveis e resíduos não aproveitáveis (resíduos inorgânicos em geral).
- Do ponto de vista da biodegradabilidade: facilmente degradável (matéria orgânica), moderadamente degradável (papel, papelão e outros produtos celulósicos), dificilmente degradável (tecido, couro, borracha e madeira) e não degradável (vidro, metal, plástico, rochas).

A classificação proposta por ZUQUETTE & GANDOLFI (1991) se aplica a resíduos normalmente produzidos em centros urbanos de médio porte (50.000 habitantes), enquadrados em dois grandes grupos:

- Contaminantes comuns: resíduos que, em função de suas características físico-químicas e de solubilidade, não apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente (Classe II e III da ABNT/NBR-10.004/87).
- Contaminantes perigosos: são divididos em contaminantes de baixa periculosidade e contaminantes altamente perigosos (Classe I da ABNT/NBR-10.004/87).
- a) Contaminantes de baixa periculosidade: são produzidos no Brasil em quantidades variáveis, tanto nos centros urbanos, como na zona rural, e podem ser classificados dentro de quatro subgrupos:

- Resíduos com baixo grau de radioatividade (até 370 Mbq/m<sup>3</sup>) e meia vida curta.
  - Pesticidas e similares: incluem os mais comuns utilizados na agricultura, como o  $\alpha$  e  $\beta$  endosulfan, endosulfan sulfato, B.H.C. ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ ), aldrin, dieldrin, D.D.D., D.D.T., endrin, endrin aldehyde, chordane, helptachlor, toxaphane, organofosforados e outros.
  - Resíduos com íons pesados: materiais que apresentam, em parte ou na totalidade, íons ou compostos dos seguintes elementos: Cd, Zn, Hg, Pb, Fe, Ni, Cu, Cr, arseniados, boratos, Se, Sb, As e Ti.
  - Resíduos tóxicos: resíduos apresentando os seguintes materiais: óleos, cianetos, benzenos, fenóis, álcalis, ácidos, combustíveis, restos hospitalares, plásticos e outros.
- b) Contaminantes altamente perigosos: enquadram-se neste grupo os resíduos radioativos usados em reatores e que apresentam grau de radioatividade maior que 370 Mbq/m<sup>3</sup>, meia vida longa e geração de temperatura pela radiação.

### 2.1.2. FORMAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

Os métodos mais comuns de tratamento e disposição de resíduos sólidos podem ser divididos em três categorias (HASAN, 1995 *apud* KATAOKA, 2000):

- Métodos Térmicos
- Disposição no Solo
- Disposição no Oceano

#### a) Métodos Térmicos

Das tecnologias térmicas utilizadas para o tratamento dos resíduos, a incineração e a pirólise são as mais comuns, sendo que a primeira é a mais difundida.

#### □ Incineração

É considerado um método de disposição provisório, uma vez que os resíduos a serem incinerados ficam provisoriamente dispostos em usinas de tratamento térmico. Tem como principal finalidade a redução do volume dos resíduos e a diminuição de seu teor de umidade. Consiste na queima de materiais a altas temperaturas, em geral acima de 900°C, em presença de uma mistura apropriada de oxigênio e durante um tempo pré-determinado (KATAOCA, 2000).

A combustão do material produz gases e cinzas e requer um manejo, tratamento e disposição especial, devido a sua periculosidade. Os gases provenientes da combustão podem conter dioxinas e furanos, organoclorados extremamente tóxicos e metais pesados na cinza em suspensão.

A presença de metais pesados na cinza de incineração (chumbo, cádmio, etc.) preocupa, uma vez que, após o envio deste resíduo para o aterro, os metais solúveis passam a fazer parte da lixívia e podem contaminar o lençol freático.

Apesar do custo de implantação e operação de incineradores ser muito elevado quando comparado ao de um aterro sanitário, esta técnica vem ganhando popularidade, pois, além da redução drástica do volume de resíduos a ser disposto, a incineração destrói vírus e bactérias e elimina a toxidade de certos resíduos como os PCBs (Bi Fenil Policlorados), dioxinas, resíduos combustíveis cancerígenos, mutagênicos, teratogênicos e patológicos.

Uma forma de diminuir os custos operacionais é a recuperação de parte da energia utilizada no processo de queima para a geração de vapor ou eletricidade.

#### □ Pirólise

É um outro método de tratamento térmico de resíduos, efetivado na ausência de oxigênio, utilizando-se de uma fonte externa de calor para promover

as reações endotérmicas, que se processam em uma faixa de temperatura entre 425-750°C (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Este tipo de tratamento térmico apresenta a vantagem, quando comparado com a incineração, de eliminar os transtornos causados pela formação de lixívia nos aterros e sua subsequente migração; também reduz significativamente o volume de resíduos a ser disposto no meio físico (KATAOKA, 2000).

a) Disposição no Solo

A disposição dos resíduos no solo é a prática mais difundida no mundo, especialmente nos países ou regiões de menor densidade populacional e de baixa renda.

Esta prática pode ser feita em superfície ou em subsuperfície. Os tipos mais utilizados de disposição em superfície são os aterros sanitários, o represamento superficial, o empilhamento de resíduos e a compostagem. Em subsuperfície, os métodos principais são as injeções profundas, a disposição em domos salinos, a disposição em formações com camadas salinas e a disposição em minas e cavernas. ZUQUETTE & GANDOLFI (1988) apresentam como alternativas para a disposição de resíduos: lagoas, tanques e fossas sépticas.

□ Compostagem

É o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal, por ação de agentes microbianos (IPT, 1995). Os produtos resultantes são substâncias humificantes que podem ser utilizadas como fertilizantes, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

A compostagem engloba cinco estágios:

- Preparação: separação dos materiais inertes da fração orgânica;



- Digestão: essência do processo, ocorre em biodigestores em condições aeróbicas;
- Cura: disposição do material digerido no ar, em um pátio pavimentado. Após esta etapa, o composto passa a apresentar características de húmus;
- Acabamento: operações de peneiramento para a separação de materiais indesejáveis (pequenos fragmentos de vidro, metais e outros);
- Armazenagem: estocagem do material para comercialização.

Esta é uma prática importante que apresenta como vantagens uma economia na utilização do aterro e o reaproveitamento agrícola da matéria orgânica, reciclando os nutrientes para o solo.

Sob o ponto de vista sanitário e ecológico, o aterro sanitário e a compostagem constituem-se nas práticas mais adequadas de disposição e tratamento dos resíduos sólidos.

#### b) Disposição no Oceano

Segundo BASÍLIO (2001), nos EUA, até 1972, esta foi uma prática muito comum. Neste ano, um decreto denominado “Marine Protection and Sanctuaries Act”, regulamentou esta forma de disposição, proibindo o lançamento no mar de determinadas categorias de resíduos, dentre elas:

- Resíduos nucleares com alto nível de radioatividade;
- Materiais biológicos, químicos ou radiológicos produzidos para fins bélicos;
- Materiais inertes persistentes que fiquem em suspensão e podem interferir nas atividades de pesca, navegação e outras atividades oceânicas;
- Materiais pouco caracterizados.

Atualmente, esses materiais precisam ser incinerados, sendo posteriormente transportados em navios para os sítios deposicionais, encarecendo o processo e tornando-o menos atrativo.

## **2.2. ATERRO SANITÁRIO**

### **2.2.1. CONCEITUAÇÃO**

Segundo BENVENUTO (1995), o aterro sanitário é a forma ideal para a disposição dos resíduos sólidos no meio ambiente, em função de a segurança sanitária e ambiental a ser garantidas diariamente, e durante toda a vida útil do empreendimento, mesmo após sua desativação.

No entanto, alguns dos fatores limitantes desta forma de disposição são: a escassez de áreas adequadas, próximas aos centros urbanos; a disponibilidade de material de cobertura diária e condições climáticas de operação durante todo o ano (LIMA, 1985).

Mas o que vem a ser um “aterro sanitário?”

Aterro Sanitário é uma forma de disposição final dos resíduos sólidos, que utiliza princípios de engenharia e normas operacionais específicas para confinar de maneira segura os resíduos à menor área e reduzir ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de solo de 15 a 30 cm de espessura, ao final de cada dia de trabalho, minimizando-se assim impactos ambientais e evitando danos à saúde e à segurança pública (ABNT/NBR-8419/84; LIMA, 1985 e 1988; DANIEL, 1993; TCHONBANOGLOUS *et al.* 1993; BIDONE & POVINELLI, 1999).

Alguns autores consideram aterros sanitários como locais de “purificação do lixo”, ou seja, locais onde o lixo deve ser tratado, de forma que, ao ser disposto no meio ambiente, sejam minimizados os riscos de contaminação e seu volume seja reduzido, otimizando, desta maneira, a utilização do aterro sanitário (NUNES, 1994; BENVENUTO, 1995; IPT, 1995).

### 2.2.2. CLASSIFICAÇÃO

Os aterros podem ser classificados, segundo a forma de disposição final, em aterros comuns, aterros controlados e aterros sanitários (LUZ, 1981; ELIS, 1998).

#### □ Aterros comuns

Caracterizados pela descarga de lixo sem qualquer estudo prévio, cuidados na proteção ao meio ambiente ou tratamento, são também denominados lixões, lixeiras, vazadouros. Esse tipo de disposição favorece a proliferação de insetos que seriam vetores de doenças, geração de odores e contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo escoamento superficial e infiltração de chorume (líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica). Além disso, não há qualquer controle sobre os tipos de resíduos recebidos (lixo hospitalar, industrial, etc.) e, ainda, é comum a presença de catadores e às vezes até criação de animais. Este método de disposição do lixo é o mais usado no Brasil.

#### □ Aterros controlados

Assemelham-se com a prática anterior, sendo que neste caso, o lixo recebe uma cobertura diária de material inerte. Esta cobertura, entretanto, é realizada de forma aleatória, não resolvendo satisfatoriamente os problemas de poluição gerados pelo lixo, uma vez que não apresentam impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento dos gases e dos líquidos gerados (chorume).

Este método é preferível ao lixão, mas, devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, a qualidade é inferior à do aterro sanitário.

#### □ Aterros Sanitários

Já definidos anteriormente, são executados de acordo com critérios e normas de engenharia e atendem a padrões de segurança pré-estabelecidos.

### **2.2.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS**

A boa funcionalidade de um aterro sanitário está diretamente relacionada às características do meio físico, pois, a depender das condições climáticas, geomorfológicas, geotécnicas e hidrogeológicas, esta funcionalidade pode ser totalmente inviabilizada, seja pela falta de material de empréstimo ou pela má escavabilidade do solo, por exemplo.

No entanto, mesmo que a escolha do local seja criteriosa, nem sempre se consegue o local ambiental e operacionalmente perfeito. Mas, remediações podem ser feitas, como, por exemplo, para locais em que há cursos d'água nos arredores do aterro sanitário (MARQUES, 1999), recomenda-se que seja feita a drenagem desses cursos d'água, bem como das águas pluviais.

### **2.2.4. ETAPAS BÁSICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO**

Segundo MARQUES (*op. cit.*), para que haja a implementação adequada de um aterro sanitário, é necessário que o local escolhido para destinação final dos resíduos sólidos seja preparado de forma a minimizar os impactos ambientais, tanto no ambiente deposicional como nas imediações do empreendimento.

#### □ Drenagem de cursos d'água

Depois de identificados, os cursos d'água e nascentes são drenados, evitando-se assim, sua percolação para dentro do futuro aterro. Para isso, é feita a escavação de uma vala que será revestida com manta de geotêxtil, evitando-se a colmatação do dreno. Em seguida, é colocado um lastro de brita para

preenchimento da vala. Se o volume de água for muito grande, tubos de concreto com diâmetro pré-definido devem ser assentados.

□ Terraplenagem para desmatamento e regularização da área

É executada com tratores. Consiste basicamente na derrubada de árvores e conformação do terreno ao projeto (inclusive com troca de solo quando for de má qualidade), deixando-se preparadas as valas da drenagem de fundo do líquido percolado.

□ Camada de regularização e instalação da manta

Após a drenagem das nascentes e águas pluviais, ela deve ser isolada do resto do corpo do aterro propriamente dito, através de uma camada impermeabilizante. Esta camada pode ser feita com material argiloso e/ou com manta de Polietileno de Alta Densidade - PEAD. Esta manta é estendida na base do aterro, até as ombreiras das encostas. A manta instalada será coberta com aproximadamente 1 m de solo, que deverá protegê-la contra a ação de tratores.

A importância da manta está no fato de ela impedir a infiltração e contaminação do chorume no solo e principalmente nas águas subterrâneas.

□ Drenos de fundo do líquido percolado (chorume)

Esta drenagem tem por objetivo coletar todo o chorume produzido no aterro, conduzindo-o a uma caixa de coleta provida de um medidor de vazão, além de manter a estabilidade do aterro.

Esses drenos são projetados basicamente em forma de espinha de peixe e executados nas valas previamente revestidas de manta de PEAD, em camada dupla e revestida por uma camada de solo, que receberá uma camada de brita onde

será assentado um tubo de concreto, completando-se com lixo permeável até o total preenchimento da vala.

GOMES *et al.* (1998) recomendam uma série de medidas para que haja um controle e monitoramento adequado de um aterro sanitário:

- Controlar as características dos resíduos sólidos a serem admitidos no aterro sanitário. As informações relativas à matéria orgânica, produtos recicláveis e lixo hospitalar são fundamentais para a caracterização dos volumes do chorume gerado, bem como para a adoção de outros procedimentos de coleta e tratamento do lixo (coleta seletiva, compostagem, etc.);
- Acompanhar a eficiência dos sistemas de drenagem de águas pluviais e de líquidos percolados, pois a drenagem das águas pluviais garante uma redução na produção de chorume, enquanto a drenagem de chorume garante a não contaminação do lençol freático;
- Acompanhar a qualidade dos efluentes a serem gerados pelo sistema de tratamento para que, quando forem liberados ao meio físico, apresentem um potencial de contaminação reduzido;
- Monitorar a qualidade das águas subterrâneas;
- Realizar estudos geotécnicos complementares, a fim de analisar o comportamento do aterro quanto a recalques, deformabilidade horizontal e geração de poro-pressões, bem como estabelecer análises de estabilidade das massas de solo compactado.

### 2.2.5. COMPONENTES

#### □ Células Sanitárias

Segundo BIDONE & POVINELLI (1999), os resíduos sólidos recebidos em um aterro são espalhados e compactados em camadas dentro de uma área confinada. Ao final de cada dia de trabalho são recobertos completamente por uma camada fina e contínua de solo que é também compactada. Os resíduos compactados e a cobertura de solo formam uma célula sanitária.

A célula sanitária é construída a partir da disposição do lixo em um terreno previamente preparado. A cada três viagens de descarregamento, o lixo é empurrado de baixo para cima contra um barranco ou em uma célula anterior e distribuído pelo seu talude. O talude deve ter inclinação de 1:1 ou 1:2 e a altura da célula deve variar de 2 a 4 m. O lixo espalhado é então compactado no sentido ascendente, proporcionando maior uniformidade na compactação.

Ao final do dia, ou quando a coleta estiver concluída, o lixo deve receber uma cobertura (15 a 30 cm) de solo, para evitar a propagação de vetores. Ao final, o aterro receberá uma cobertura de 40 a 60 cm de argila bem compactada, que servirá de “selo”, encerrando assim a execução do mesmo ou da célula em desenvolvimento.

#### □ Drenos

BIDONE & POVINELLI (*op. cit.*) ressaltam que, durante a formação das células sanitárias e devido ao fato de a matéria orgânica se decompor, são produzidos chorume e biogás (metano - CH<sub>4</sub> e carbônico - CO<sub>2</sub>), por isso são instalados, no interior dessas células, drenos horizontais de chorume e drenos verticais de chorume e gás.

Os drenos verticais são formados pela superposição de tubos perfurados de concreto e envoltos por brita n.º 04. Na prática, os diâmetros desses tubos

variam de 0,20 m a 1,00 m, em função da altura do aterro. Estes drenos atravessam todo o aterro no sentido vertical e são colocados em diferentes pontos. É recomendada a instalação de drenos verticais com espaçamento de 30m a 50m e providenciada a queima dos gases na sua extremidade para evitar o mau cheiro e verificar a eficiência dos drenos.

Os drenos horizontais têm a função de complementar o sistema de drenagem do líquido percolado, que são valas abertas com retro-escavadeiras nas camadas de lixo.

Os aterros também devem apresentar um sistema de drenagem de nascentes, que corresponde ao conjunto de dispositivos de drenagem que visa captar e conduzir de forma adequada todas e quaisquer surgências de água existentes na área do aterro (MARQUES, 1999).

#### □ Bermas

Correspondem às plataformas e terraços horizontais que são executados ao longo das faces dos taludes, normalmente quando as alturas do aterro excedem 15,0 m. Em aterros de alturas médias e elevadas, tais bermas são implantadas entre todas as camadas de resíduos. As bermas têm a função de contribuir para a estabilidade do maciço, além de permitir a instalação dos dispositivos de drenagem superficial e os instrumentos de drenagem de gases e de monitoramento do aterro.

#### □ Impermeabilização (*Liners*)

Alguns aterros operavam com o princípio “*dilute and disperse*” (diluir e dispersar), sendo permitido que o “percolado” atravessasse o solo até o substrato rochoso. Este princípio parte do pressuposto de que o solo e o substrato rochoso atuam como um filtro e atenuam o percolado antes que ele alcance qualquer corpo d’água. O princípio também assume que a quantidade de percolado produzida por



um aterro é relativamente pequena se comparada ao volume de água em um aquífero, de forma que é rapidamente diluído pelas águas (ALKER *et al.*, 1995).

No entanto, sabe-se que a disposição direta dos resíduos no solo permite que as substâncias geradas a partir da sua decomposição sejam solubilizadas pelas águas pluviais, resultando na contaminação do solo e do lençol freático. Assim sendo, é de fundamental importância a impermeabilização (uso de *liners*) no local de disposição.

*Liners* são materiais (naturais ou sintéticos) usados para revestir o fundo de um aterro e consistem de camadas de argila compactada e/ou geomembranas, projetadas para prevenir a migração do chorume do aterro (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

LEITE (1998) acrescenta que *liner* é todo o conjunto selante construído a fim de separar e proteger o meio físico de contaminações potenciais.

Os *liners* (bases e barreiras protetoras) são utilizados quando se deseja reter ao máximo a percolação de um líquido (chorume, rejeitos líquidos, hidrocarbonetos e outros) de forma que ele não atinja as águas naturais, reduzir poro-pressões na porção jusante do dique e prevenir a erosão por infiltração. Essas bases são aplicadas no fundo de reservatórios, de lagoas ou aterros, e as barreiras representam as paredes de contenção (FOLKES, 1982).

A escolha de um determinado *liner* é influenciada pelos seguintes fatores (LEITE & ZUQUETTE, 1995):

- Uso a que se destina;
- Ambiente físico;
- Química da solução percoladora e da água subterrânea;
- Vida útil do projeto;
- Taxa de infiltração;
- Restrições físicas.

Para FOLKES (1982) os mecanismos primários pelos quais um sistema de bases ou barreiras (*liners*) pode mitigar os efeitos da migração de contaminantes são: diluição, tempo de permanência e retardamento.

ROWE (1998) classifica os *liners* em cinco categorias: depósitos argilosos naturais; *liners* argilosos compactados; paredes de isolamento; depósitos rochosos naturais e coberturas sintéticas. Com exceção das coberturas sintéticas, todos os outros tipos de *liners* são formas naturais de minimizar a migração de contaminantes, geralmente através da compactação de argilas.

Segundo MARQUES (1999), duas alternativas de impermeabilização podem ser consideradas: a utilização de solos argilosos (solos com reduzidas condutividades hidráulicas) e a utilização de geossintéticos (material sintético oriundo da indústria petroquímica), de forma isolada ou combinada.

Na área de proteção ambiental, o tipo de geossintético é escolhido em função do papel a ser desempenhado, que são basicamente: separação, reforço, drenagem, filtração, impermeabilização e proteção (GOMES & PALMEIRA, 1993).

De acordo com GOMES & PALMEIRA (*op. cit.*), KAYABAH (1996), LEITE (1998) e MARQUES (*op. cit.*), os principais tipos de geossintéticos normalmente utilizados em obras de disposição de resíduos sólidos urbanos, são: geotêxtil, geogrelha, geodreno, geomembrana e geotela.

Os *liners* geossintéticos argilosos (GCL's – “Geosynthetic Clay Liners”) consistem de uma fina camada de bentonita (material argiloso com elevado potencial expansivo e capacidade de absorção de água) solidarizada a uma ou mais camadas de geossintéticos (geotêxteis, geomembranas, etc.). SHARMA & LEWIS (1994) apresentam, no Quadro1, algumas das principais diferenças entre os *liners* geossintéticos-argilosos e os *liners* de materiais naturais.

QUADRO 1: Principais diferenças entre *liners* GCL e *liners* argilosos naturais.

CARACTERÍSTICAS	LINERS GCL	LINERS ARGILOSO NATURAIS
Materiais	Bentonita, adesivos, geotêxteis e geomembranas	Solos naturais ou misturas de solo e bentonita
Aspectos construtivos	-Manufatura em fábricas e instalado no campo -Instalação simples e rápida	- Construído no campo - Construção lenta e complexa
Espessura	Aproximadamente: 10 mm	De 0,5m a 1,0 m
Características de condutividade hidráulica	$10^{-10}$ a $10^{-8}$ cm/s (valores típicos)	$10^{-8}$ a $10^{-7}$ cm/s (valores típicos)
Teor de umidade durante a fase construtiva	-Essencialmente seco; -Não produz água de consolidação; -Não sofre fissuramento e dissecação	- Quase saturada; -Pode produzir água de consolidação; - Sujeito a processos de dissecação e fissuramento
Custo	De US\$ 5,00 a 11,00 por metro quadrado	Altamente variável – estimado em US\$ 8,00 a 32,00 por metro quadrado
História de uso	Recente	Muitas décadas

Fonte: SHARMA & LEWIS (1994).

Para TSAI & VESILIND (1998), a impermeabilização dos *liners* pode falhar das seguintes maneiras:

- Se for perfurado por equipamentos pesados durante a construção ou por objetos cortantes (lixo);
- A argila pode reagir com certos constituintes do lixo;
- O percolado pode modificar a condutividade hidráulica com o passar do tempo;
- Recalques desiguais podem causar ruptura de cisalhamento.

LANGER (1989, 1994, 1995) enfatiza a importância da análise de segurança. Este conceito considera as possibilidades de ruptura de um *liner* (que pode ocorrer durante a escavação, operação e pós-operação), e também meios para evitar tais rupturas. A análise de segurança inclui os seguintes aspectos:

- Análises da efetividade de cada barreira com métodos analíticos apropriados para cada sistema de barreira;
- Análises dos processos físicos, geoquímicos e hidrogeológicos que ocorrem como um resultado da influência dos diferentes sistemas de barreiras, enfatizando a influência delas no transporte de substâncias perigosas;
- Análise abrangente de segurança do depósito no qual as interações de todas as barreiras são avaliadas para determinados eventos teóricos (acidentes, ruptura de barreiras) que podem liberar substâncias perigosas para o ambiente, isto é, identificação de possíveis padrões de liberação e os efeitos resultantes (análises de ruptura).

Diante de algumas deficiências associadas aos *liners* artificiais, como a possibilidade de corrosão pelo percolado, e o comportamento incerto dessas barreiras diante das elevadas temperaturas geradas por processos exotérmicos no aterro, além dos altos custos desta prática, ALLEN (1998) defende o princípio “*dilute e disperse*” (diluir e dispersar), que, em condições locais apropriadas, barreiras geológicas naturais, investigações cuidadosas do local e um eficiente sistema e coleta do percolado para controlar a sua taxa de infiltração, pode proteger satisfatoriamente as águas subterrâneas. Isto é, um local cujos principais atributos do meio físico (permeabilidade, nível d’água, direção do fluxo, etc.) estejam em níveis satisfatórios, pode dispensar o uso de *liners* artificiais, sem o risco de esse tipo de impermeabilização romper e provocar um impacto ambiental.

#### **2.2.6. CONCEPÇÕES**

Para BENVENUTO (1995) e McBEAN *et al.* (1995), o projeto de aterro sanitário deve considerar a concepção bio-físico-química da disposição, estabelecendo-se a maneira pela qual o lixo deverá ser tratado. Assim esses autores apresentam três concepções básicas de digestão ou decomposição dos componentes orgânicos e velocidades associadas aos processos: anaeróbico, semi-aeróbico e biológico.

A concepção anaeróbica ou metanogênica corresponde ao processo pelo qual as bactérias digerem os componentes orgânicos, gerando ao final metano, gás carbônico e água, com velocidades, em geral, baixas (USA e Brasil).

A concepção semi-aeróbica corresponde a uma variação do processo aeróbico puro, que significa digerir o lixo em ambiente aeróbico, com recirculação do percolado, produzindo, principalmente, gás carbônico e água e em menor tempo do que o anaeróbico tradicional (Japão). ANEX (1996) apresenta detalhes desta recirculação e acrescenta que este processo aumenta a estabilização do aterro, em termos de controle na produção de gás metano (recuperação de energia), redução do percolado e aceleração do recalque do lixo, que provavelmente aumenta o volume útil do aterro.

A concepção biológica está relacionada ao ambiente anaeróbico com a introdução de bactérias aceleradoras do processo de digestão, gerando metano, gás carbônico e água, com digestão em um intervalo de tempo menor do que o anaeróbico tradicional, porém com maiores custos (Europa e Brasil).

A importância destas concepções está no fato de que cada uma exige projetos diferentes com peculiaridades inerentes a cada tipo de tratamento. Assim, um aterro sanitário deve ser constituído dos seguintes componentes:

- Sistema de tratamento: dos resíduos a serem dispostos; de base (fundação); dos líquidos percolados e de gases;
- Sistema de drenagem: de fundação; das águas pluviais; dos líquidos percolados e de gases;
- Sistema viário interno;
- Cobertura;
- Operação e disposição;
- Análise da estabilidade dos maciços de terra, fundações e dos resíduos sólidos;
- Monitoramento;
- Fechamento final ou término de operação do aterro.

### 2.2.7. PROBLEMAS ASSOCIADOS

O maior impacto ambiental de um aterro sanitário é originado pelo processo de degradação biológica dos resíduos aterrados, que gera líquidos e gases, podendo provocar a poluição do ar, das águas superficiais e subterrâneas, pela ação do chorume, além da formação de gases nocivos, odor desagradável e comprometimento do aspecto estético da paisagem. Contudo, nem todos os aterros apresentam tais possibilidades, principalmente aqueles em que os líquidos e gases são monitorados continuamente (CHRISTENSEN, 1989; OGATA, 1983; LIMA, 1985).

Segundo dados de MORELI (2000), especialistas apontam a contaminação dos cursos d'água superficiais e do lençol freático como os principais problemas ambientais causados por aterros sanitários, principalmente aqueles irregulares.

Os métodos de tratamento e disposição final de resíduos sólidos são utilizados com o intuito de degradá-los, transformando-os em substâncias mais simples e inertes ao homem e ao meio ambiente. No entanto, esses processos de tratamento acabam gerando efluentes que podem estar na forma líquida, sólida ou gasosa, causando impactos ambientais e, portanto, requerendo medidas mitigadoras (BALDERRAMA, 1993).

BALDERRAMA (*op. cit.*) mostra alguns efeitos desfavoráveis que podem advir de aterros sanitários e algumas medidas mitigadoras utilizadas (Quadro 2).

QUADRO 2: Impactos adversos e algumas medidas mitigadoras para aterros sanitários.

<b>IMPACTO ADVERSO</b>	<b>MEDIDA MITIGADORA</b>
Poeiras	Umedecimento periódico do solo.
Odores	Garantir uma rápida e segura cobertura dos resíduos, manter uma distância adequada entre as residências e o aterro, levando em conta a direção e a velocidade dos ventos.
Chorume (percolados)	Sistema de drenagem e captação dos líquidos resultantes da decomposição dos resíduos.
Geração de gás metano	Instalação de um sistema de captação.
Tráfego de veículos	Assegurar acesso adequado ao aterro.
Oposição pública	Desenvolver programas educacionais sobre a necessidade e o funcionamento do aterro sanitário.

Fonte: ROBINSON (1986).

CUNHA & CONSONI (1995) apresentam no Quadro 3 os problemas mais freqüentes observados em aterros sanitários, que estão ligados a fatores como:

- Imperfeito conhecimento das características do meio físico (rocha, solo, água, etc.) e dos resíduos ali dispostos, resultando num projeto inadequado;
- Negligência no monitoramento das condições ambientais e operacionais do aterro;
- Sobrecarga da capacidade inicial do projeto.

QUADRO 3: Problemas produzidos pela instalação não criteriosa de aterros.

<b>TIPO</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>CAUSA</b>
Contaminação das águas subterrâneas	Falha na impermeabilização de base (aterro / lagoa de tratamento de chorume)	-Impermeabilização (solo / manta) incompatível com os percolados; -Má compactação.
	Recalques (aterro / lagoa de tratamento de chorume)	-Solo natural com propriedades inadequadas; -Recalques devido às alterações (carga, aumento da umidade, agressão ao solo, etc.)
	Elevação do nível d'água acima da base do aterro	-Dados insuficientes ( nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc.) -Mau dimensionamento do sistema de drenagem.
Potencialização de processos do meio físico	Escorregamento / Erosão	-Cortes nas encostas em altos ângulos; -Cortes contra a foliação da rocha ou fraturamentos; -Alterações na vegetação marginal; -Deficiências de compactação dos aterros e resíduos dispostos.
	Assoreamentos	-Erosões dos cortes (solos de fácil alteração / instabilização); -Carreamentos devido a deficiências na drenagem superficial; -Denudação da vegetação / alterações nas áreas marginais.
Conflitos de uso e ocupação	Restrições Ambientais	-Utilização de áreas com restrições ambientais diversas (APAs, áreas de mananciais, etc.)
	Desconforto à população	-Proximidade de núcleos populacionais / habitações; -Problemas advindos de má operação (odores, moscas, etc.); -Sobrecarga da infra-estrutura local; -Subestima da expansão urbana.
Elevação de custos	Desapropriações	-Necessidade de desapropriação de áreas de terceiros, devido à não existência de áreas do empreendedor aptas às instalações do aterro; -Necessidade de remoção de pessoal, com possíveis indenizações.



Elevação de custos	Implantação	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Necessidade de medidas de engenharia para corrigir deficiências naturais do local escolhido;</li> <li>-Deficiência de materiais de empréstimo e de construção;</li> <li>-Necessidade de infra-estrutura (estradas, energia elétrica, etc.);</li> <li>-Necessidade de detalhamento de estudos mal realizados anteriormente.</li> </ul>
	Operação e Encerramento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ausência de solo adequado para a cobertura das células de resíduos;</li> <li>-Elevadas distâncias a serem percorridas diariamente no transporte dos resíduos, entre a área geradora e o local de disposição;</li> <li>-Escolha de local com baixa vida útil para a instalação;</li> <li>-Ações corretivas para eventuais problemas na operação;</li> <li>-Sistemas de monitoramento necessários, conforme o local escolhido.</li> </ul>

Fonte: CUNHA & CONSONI (1995).

ZUQUETTE *et al.* (1997) apresentam um fluxograma (Figura 2) que mostra os aspectos que interferem no meio físico, orientando assim os estudos destinados à seleção de atributos e conseqüente elaboração de cartas derivadas orientativas para o zoneamento de uma região quanto ao comportamento dos materiais para a finalidade de implantação de aterros sanitários.

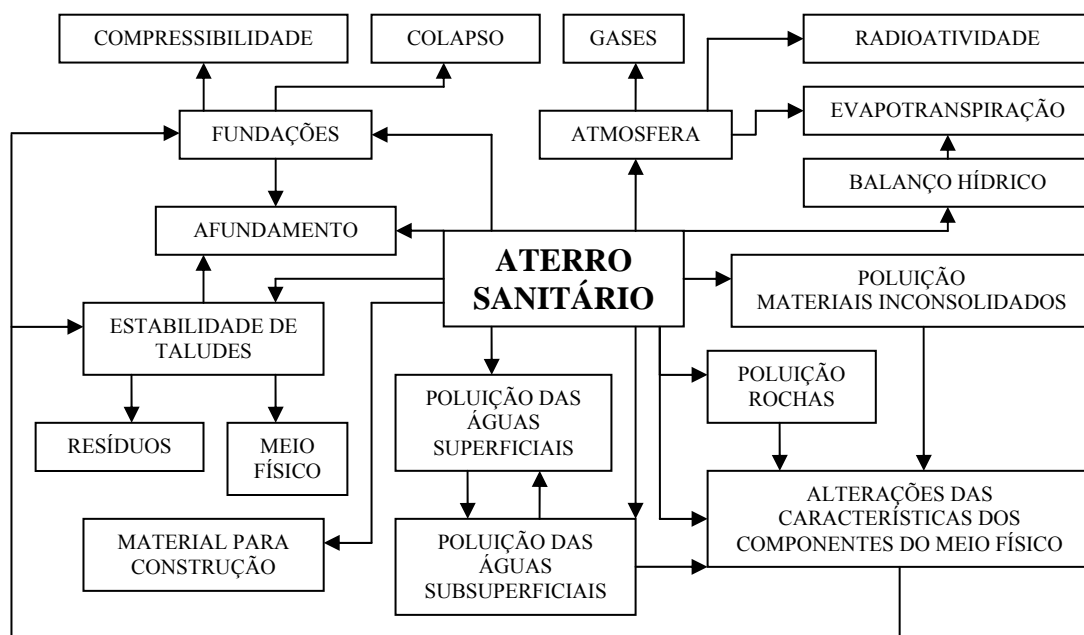


FIGURA 2: Fluxograma representativo das interações técnicas entre os aterros sanitários e o meio ambiente.

Fonte: ZUQUETTE *et al.* (1997).

NUNES (1994) e IPT (2000) apresentam as atividades potencialmente causadoras de impactos ambientais, de acordo com as etapas em que se encontra o empreendimento: implantação, operação e desativação.

a) Etapa de Implantação

Esta etapa apresenta as seguintes atividades potencialmente causadoras de impactos ambientais sobre o meio físico:

- Geração de gases, material particulado e ruído (a partir de equipamentos);
- Erosão pela água;
- Assoreamento do corpo d'água;
- Morte / incômodos à fauna;
- Remoção / degradação da cobertura vegetal;
- Poluição do solo com óleos e graxas;
- Incômodos devidos à desapropriação de imóveis;
- Poluição do solo e das águas pela disposição de águas residuárias;
- Alteração da percepção da paisagem;
- Intensificação do trânsito em vias de acesso;
- Degradação de áreas de empréstimo de solo / descarte de solo excedente;
- Geração de resíduos sólidos domiciliares: nas edificações diversas; e não inertes e / ou perigosos: na estação de tratamento de efluentes e nas oficinas da central de tratamento.

b) Etapa de Operação

- Saída de material esvoaçante a partir de veículos transportadores de lixo e da frente de operação do aterro;
- Geração de gases, material particulado e ruído pelos equipamentos;
- Intensificação do trânsito em vias de acesso;
- Remoção / degradação de cobertura vegetal ( área de disposição, área de empréstimo / descarte do solo);

- Poluição do solo com óleos e graxas;
- Geração de gases e odores ( decomposição do lixo, sistema de tratamento de efluentes);
- Espalhamento de lixo ao longo das vias de acesso à estação de tratamento (perdas e lançamentos clandestinos);
- Alteração do escoamento superficial;
- Proliferação de vetores;
- Assoreamento de corpos d'água;
- Morte / incômodos à fauna;
- Alteração da percepção da paisagem;
- Depreciação de imóveis proximais;
- Erosão pela água;
- Poluição do solo e das águas subterrâneas e compostos produzidos pelo lixo, devido à recepção de resíduos incompatíveis com a central de tratamento;
- Degradação da área de empréstimo / descarte de solo excedente;
- Geração de resíduos (inertes, domiciliares e não inertes e / ou perigosos).

c) Etapa de Desativação

- Morte / incômodo à fauna;
- Geração de gases, material particulado e ruído pelos equipamentos;
- Geração de gases e odores ( pelo aterro e sistema de tratamento de efluentes);
- Poluição do solo e das águas subterrâneas (percolados);
- Deterioração das estruturas do aterro;
- Erosão pela água;
- Assoreamento de corpos d'água;
- Poluição do solo e das águas subterrâneas (águas residuárias);
- Geração de resíduos (não inertes e / ou perigosos);
- Uso futuro incompatível.

## **2.3. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO**

### **2.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Adotado nos mais diferentes países como base para a implementação das diversas formas de ocupação, o mapeamento geotécnico tem por finalidade o levantamento, avaliação e análise de atributos do meio físico.

A INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT (1976) define atributo como uma qualidade ou propriedade inerente a alguma coisa; ou, como caracterizado por ZUQUETTE (1987), atributos são qualidades pertinentes aos componentes do meio físico que são utilizadas para caracterizá-los, constituindo-se em elementos básicos do mapeamento geotécnico, que devem ser colocados em um mapa com informações que representem a sua distribuição espacial.

Uma das grandes dificuldades do profissional de mapeamento é definir, isolar e identificar os atributos relevantes para as finalidades a que se propõe o documento cartográfico elaborado.

Segundo ZUQUETTE (1993), a partir de 1913, com a representação das variações dos componentes do meio físico em espaço tridimensional, apresentado por Langen na Feira de Construção de Leipzig (Alemanha), todos os trabalhos de mapeamento, apesar das diferentes denominações, tem em comum um conjunto de ações que são: obtenção, avaliação, análise e classificação dos atributos do meio físico, sendo utilizado, em todo o mundo, para as mais diferentes finalidades de ocupação.

No Brasil, por influência dos países de língua francesa e inglesa, introduziu-se a denominação: cartografia geotécnica (*cartographie geotechnique*) e mapeamento geotécnico (*engineering geological mapping*) para designar o ato de se mapear o meio físico, segundo os preceitos definidos anteriormente.

Na segunda metade da década de 60 proliferaram os trabalhos de mapeamento, desenvolvendo-se então metodologias e sistemáticas que serviram de base para o aparecimento de novas metodologias voltadas às condições específicas de cada país ou região.

### **2.3.2. TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO TERRENO**

A maioria dos sistemas de avaliação do terreno parte do princípio de que áreas com geologia similar e sob condições climáticas semelhantes irão apresentar solos e rochas com parâmetros homogêneos e, conseqüentemente, propriedades e comportamentos análogos frente às solicitações de obras de engenharia, conforme afirmam FINLAYSON & BUCHLAND (1987). Segundo estes autores, o processo de análise do terreno deve, primeiramente, ter como característica a habilidade de classificar a superfície do terreno com base na similaridade e homogeneidade de certos atributos e, secundariamente, permitir a previsão e a avaliação das propriedades do terreno que sejam significativas para a atividade que nele se deseja implantar.

O objetivo deste método é o de dividir a área objeto de estudo em unidades homogêneas cada vez menores a partir da fotointerpretação, tomando por base sua uniformidade em termos de feições do terreno. Este zoneamento permite caracterizar geotecnicamente os materiais associados por meio da análise de informações geotécnicas anteriores e de ensaios de campo e laboratório (LOLLO, 1995).

### **2.3.3. METODOLOGIAS ESTRANGEIRAS**

#### **❖ Metodologia PUCE (Pattern, Unit, Component, Evaluation)**

A partir de 1950 muitos sistemas de avaliação do terreno começaram a se desenvolver na Austrália, culminando com a formalização, por GRANT (1965), do sistema PUCE.

Este sistema inicia-se com a fointerpretação da área, à qual se segue um período de trabalho de verificação de campo. O resultado é a divisão da superfície do terreno em classes com base na geologia, amplitude do relevo, densidade e tipo de drenagem. Posteriormente, estas unidades podem ser subdivididas com base nos *landforms*<sup>9</sup>, solos e vegetação (GRANT & FINLAYSON, 1978).

As seguintes classes de terreno são reconhecidas:

Província: pode ser determinada com certa facilidade a partir de um mapa geológico na escala de 1:250.000 e corresponde a uma área apresentando as seguintes características:

- ❑ Presença de rochas de origem sedimentar ou vulcânica apresentando uniformidade geológica em nível de grupo;
- ❑ Rochas de origem plutônica com litologias e idades uniformes;
- ❑ Aluviões e colúvios ocorrendo em uma única divisão de drenagem (bacia);
- ❑ Material eólico com litologia uniforme em uma área continental.

Padrão ou Modelo de Terreno: corresponde a uma paisagem uniforme apresentando topografia, associações de solos e formações vegetais recorrentes. Mostra uma amplitude de relevo local consistente, bem como padrões característicos e densidade de drenagem uniforme. Essas características devem ser passíveis de reconhecimento em fotografia aérea, quando em escala adequada.

Unidades de Terreno: apresentam *landforms* uniformes, possuindo associações de solo e formações vegetais características. Segundo ZUQUETTE (1993), os *landforms* são classificados com base em uma associação de encostas características e uma consistência em termos de amplitude de relevo local.

---

<sup>9</sup>*Landforms*: porções do terreno originadas a partir de processos naturais e distinguíveis das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo (ZUQUETTE, 1987).

Componentes de Terreno: são identificados em uma área apresentando perfil de encosta característico (côncavo ou convexo), perfil de solo litologicamente uniforme e ocorrem em um ambiente estrutural uniforme, com associação de solo e vegetação distintivos para uma dada camada.

Assim, neste sistema, as classes são definidas com base em critérios naturalmente reconhecidos e apresentam uma hierarquia em que cada classe é composta por uma associação repetitiva de membros da classe seguinte. Ou seja, a província consiste de uma associação repetitiva de padrões de terreno, que por sua vez consiste de uma associação repetitiva de unidades de terreno e assim sucessivamente.

Segundo ZUQUETTE (1993), a metodologia PUCE pressupõe a adoção dos seguintes critérios:

- O sistema tem por base a análise geomorfológica do terreno;
- Em cada membro, de cada classe de terreno, as propriedades devem ser homogêneas em toda a sua extensão;
- Cada classe de terreno deve apresentar todos os seus membros homogêneos;
- Todas as suas classes de terreno deverão ser objeto de uma avaliação rigorosa quanto à sua natureza, e os seguintes critérios precisam ser obedecidos para o seu reconhecimento:
  - As classes e suas feições devem ser facilmente reconhecidas e medidas;
  - Os critérios utilizados podem ser qualitativos e/ou quantitativos;
  - O sistema deve ser hierárquico para que possa ser ordenado nos diferentes níveis de detalhes exigidos nos trabalhos de planejamento ambiental;
  - Os seguintes fatores devem ser considerados para a classificação dos terrenos: características das encostas (geomorfologia), geologia, características da vegetação e dos solos;
  - O sistema de nomenclatura utilizado deve ser numérico, e os números devem representar parâmetros de terreno. Isto é necessário para que os dados possam ser armazenados em sistemas computacionais, o que facilita o tratamento e a recuperação dos mesmos.

### ❖ Metodologia da IAEG ( International Association of Engineering Geology and the Environment )

A necessidade de normatização de procedimentos para a elaboração de mapas geotécnicos, principalmente com relação ao uso de uma terminologia precisa baseada em definições cientificamente comprovadas, bem como uma avaliação exata de todos os fenômenos apresentados nos mapas geotécnicos, tem sido uma constante preocupação dos profissionais envolvidos neste campo.

Em 1968, uma comissão formada por membros da IAEG iniciou seus trabalhos com o objetivo de formular normas de procedimentos para mapeamento que fossem adequadas técnica, econômica e socialmente para a maioria dos países. Os resultados foram apresentados em duas partes. A primeira foi publicada pela IAEG (1976) e propõe uma classificação dos mapas geotécnicos em função do seu conteúdo, da escala e da finalidade e estabelece as características geológicas que devem ser representadas nestas cartas, quais sejam: dados relacionados às rochas e solos, condições hidrogeológicas, condições geomorfológicas e fenômenos geodinâmicos.

A segunda parte foi publicada no Boletim nº 24 da IAEG e apresenta simbologia indicada para uso nos documentos gráficos e um sistema de classificação para os diferentes parâmetros (ZUQUETTE 1993).

#### Classificação IAEG dos mapas geotécnicos

De acordo com a IAEG, os mapas geotécnicos podem ser classificados em função do seu uso, conteúdo e escala.

- Segundo a finalidade a que se destinam, são classificados em:
  - Mapas de finalidade especial: podem retratar um aspecto geotécnico específico, como, por exemplo, a profundidade do substrato rochoso, ou podem servir para uma finalidade específica, como a construção de um determinado tipo de obra de engenharia;



- Mapas de multifinalidade: apresentam informações de aspectos geotécnicos amplos, para diferentes usos nos estudos preliminares de engenharia.
  
- Quanto ao conteúdo temos:
  - Mapas analíticos: têm, em geral, seu conteúdo retratado no título, dando informações precisas sobre o meio ou uma avaliação relativa dos seus componentes;
  
  - Mapas sintéticos: podem ser de duas categorias:
    - Mapas das condições geotécnicas: descrevem todas as condições geotécnicas do meio físico;
    - Mapas de zoneamento geotécnico: avaliam e classificam o meio físico, delimitando áreas geotecnicamente homogêneas.
  
  - Mapas auxiliares: documentos de apoio, como as cartas de documentação, cartas de contorno estrutural, cartas de isópacas, etc.;
  
  - Mapas complementares: documentos básicos, como mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos e outros.
  
- Quanto à escala os mapas são classificados como:
  - De grande escala: 1:10.000 ou maiores;
  - De média escala: menores que 1:10.000 e maiores que 1:100.000;
  - De pequena escala: menores do que 1:100.000.

### ❖ Metodologia Francesa ou de Sanejouand

Segundo ZUQUETTE (1993), a França destaca-se como um dos países europeus onde o desenvolvimento da cartografia geotécnica foi mais efetivo. Os mapeamentos iniciais foram desenvolvidos por técnicos do BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) e, posteriormente, pelo LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Em 1967, foi sancionada na França a lei de orientação a construções, sendo criados os SDAU (Schémas Directeurs d'Aménagement et d'Urbanism), cuja função era a de orientação e ordenamento do território e das extensões dos aglomerados urbanos. Paralelamente foram criados os POS (Plans d'Occupation de Sols), responsáveis pela aplicação dos SDAU e pela produção de regras gerais de ocupação do meio físico.

Em 1972, SANEJOUAND, após a análise de vários trabalhos publicados na França e em outros países, publicou “A Cartografia Geotécnica na França”, obra que tem sido utilizada como indicativa da metodologia francesa de mapeamento geotécnico.

Nesta metodologia, cujo objetivo é a produção de documentos cartográficos para serem utilizados tanto para fins regionais como para situações específicas, analisam-se os fatores geológicos, geomorfológicos e geotécnicos. São produzidos dois conjuntos de documentos: um de caráter básico, denominado de mapas de fatores, e outro constituído por cartas de aptidão, voltadas a vetores. Os documentos básicos são compostos pelas cartas de documentação, do substrato rochoso, dos materiais de cobertura, mapas geológicos e geomorfológicos. Da interpretação dos mapas de fatores, são produzidas as cartas de aptidão voltadas a vetores, tais como: escavabilidade, erosividade, fundações e outras.

ZUQUETTE (1993) enfatiza alguns aspectos inerentes à aplicação desta metodologia, tais como: a necessidade de um bom conhecimento das regras de interpolação e extrapolação das informações e a preocupação com a posição espacial das unidades de terreno.

A maior utilização desta metodologia em relação à da IAEG se deve, segundo ZUQUETTE & GANDOLFI (1988), aos seguintes motivos:

- Não fixação de limites mínimos e máximos para as informações consideradas na definição de áreas homogêneas;
- A simbologia utilizada na elaboração dos mapas é de escolha dos mapeadores, permitindo a produção de documentos mais simples e que atendam melhor à finalidade a que se propõem;
- A análise dos componentes do meio físico fundamenta-se, principalmente, em aspectos qualitativos (informações semânticas e pragmáticas).

#### ❖ **Metodologia ZERMOS**

É uma metodologia específica para zonas expostas aos riscos de movimentação do solo e do subsolo (ZUQUETTE, 1987). Normalmente, é empregada em várias áreas com acentuadas variações nas inclinações das encostas, envolvendo escorregamentos de terras e desabamentos, abatimentos de terrenos devido a obras antigas ou a situações naturais, abatimentos superficiais, atividades sísmicas, erupções vulcânicas e marés destruidoras.

Os mapas elaborados deverão analisar, em um dado momento, os movimentos de terrenos ou os fatores de instabilidade revelados pelos dados obtidos na área, com o intuito de fornecer um zoneamento de risco.

ZUQUETTE (1987) definiu “risco” como um perigo, um inconveniente possível, implicando na aparição eventual de um acidente ligado a uma força maior, tendo o homem um papel marcante como agente instabilizador do meio físico.

Os principais agentes desencadeadores de riscos naturais são a expansão demográfica desordenada, os fenômenos naturais introdutores do risco, a delimitação da zona submetida ao risco e os fatores da graduação do risco (sobreposição de efeitos e fenômenos geodinâmicos de alto risco).

Segundo esta metodologia, não se deve reproduzir a geologia regional, mas retratar os potenciais de estabilidade presentes e futuros, aliado ao fato de que se deve fazer um levantamento e análise dos fatores naturais permanentes, como litologias, estruturas, drenagens, encostas, e dos fatores temporais, como a vegetação e sobrecargas ocasionais, estimando-se a estabilidade do terreno. Prosseguindo, pode-se propor um zoneamento da estabilidade da área.

São propostas três fases de trabalho, a saber:

- Levantamento bibliográfico e oral da existência de riscos na área estudada;
- Estudo geomorfológico via fotointerpretação;
- Estudo e controle dos fatores naturais permanentes e temporais, em geral mapeáveis em escala 1:50.000.

Para escalas maiores que 1:50.000, de interesse local de ocupação, podem ser elaboradas as chamadas “plantas ZERMOS”, que possuem duas finalidades: informar, pois retratam o local e explicam os fenômenos, e orientar, por meio de recomendações específicas para cada caso.

A metodologia de elaboração destas plantas consiste em um levantamento fotogeológico, adicionado a dados geológicos regionais, e deve identificar as possíveis áreas instáveis.

#### ❖ **Metodologia Espanhola**

A cartografia geotécnica na Espanha teve início no começo da década de 50 e se afirmou a partir de 1967 com a implantação do 3º Plano de Desenvolvimento Espanhol, que, em linhas gerais, estabeleceu a cartografia geotécnica como um fator primordial no desenvolvimento territorial (urbano, industrial, etc.).

Foram propostos quatro tipos de mapas geotécnicos básicos (Quadro 4) que, segundo ZUQUETTE (1993), atendem a duas finalidades: auxílio e

assessoramento aos estudos de planificação e informações básicas para qualquer tipo de construção.

QUADRO 4: Metodologia Espanhola: tipos de mapas geotécnicos em função da escala.

TIPO DE MAPA	ESCALA	NÍVEIS DE UTILIZAÇÃO	FINALIDADE	INFORMAÇÕES CONSIDERADAS
Geotécnico Geral	1:200.000	Nacional e regional	Planejamento regional	Litológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e geotécnicas
Geotécnico Básico	<1:200.000 e >1:25.000	Regional e urbano	Planejamento regional e urbano	Litológicas, geodinâmicas, relevo, hidrogeológicas, ambientais e de riscos naturais
Geotécnico Seletivo	<1:25.000 e >1:5.000	Local	Planificação de unidades urbanas	Características qualitativas e semi-quantitativas dos solos e das rochas
Geotécnico Específico	1:5.000 ou maiores	Local	Projetos estruturais de obras urbanas, industriais, de comunicação e hidráulicas	Dados quantitativos dos solos e rochas (ensaios de laboratório e “in situ”)

Fonte: ZUQUETTE (1993).

#### ❖ Sistemática de Mathewson e Font

Foi proposta em 1973 com o objetivo de sistematizar os estudos de geologia ambiental utilizados em estudos de planejamento (ZAINÉ, 2000). Tem por base a ordenação de informações geológicas para o uso do solo.

Parte do princípio de que as análises para a avaliação da adequabilidade dos terrenos devem ser feitas de modo a refletir as maneiras mais seguras e econômicas de ocupação. Assim, os dados devem ser apresentados em termos das limitações do meio físico às solicitações impostas, e devem ser entendidos pelo planejador em termos de valores sócio-econômicos (ZUQUETTE, 1987).

Segundo esta sistemática, as informações devem ser retratadas e analisadas de maneira ordenada.

Os mapas de 1ª ordem (observacionais) são obtidos através de estudos gerais e estão representados, entre outros, por: mapas topográficos, litológicos, geológicos, tectônicos e estruturais, de solos agrícolas e de drenagem superficial. Devem ser analisados frente às prováveis influências que possam exercer sobre uma determinada região.

Os mapas de 2ª ordem devem fornecer dados para obras, refletindo as características dos materiais. Pode-se realizar uma série deles, como: mapas de capacidade de infiltração, estabilidade de taludes, recursos de engenharia, dificuldades de escavação, qualidade da rocha, qualidade do solo, resistência à compressão simples, etc. As análises das informações contidas neles devem ser feitas com base nas influências que os resultados terão sobre as diversas situações do meio físico.

A partir dos dois primeiros grupos podem ser confeccionados mapas de 3ª ordem, de natureza interpretativa, e que tratam da adequabilidade do terreno para os mais diversos usos. São muito utilizados por planejadores, destacando-se: a carta para depósitos de rejeitos, de riscos geológicos, de adequabilidade para residências, de adequabilidade para instalações subterrâneas, para estradas, entre outras.

Os mapas de 4ª ordem refletem todo o estudo feito anteriormente, delimitando áreas favoráveis a cada forma de ocupação, sendo usados em planejamento.

#### ❖ **Metodologia de Matula & Letko**

Foi postulada em 1980 e consiste em um sistema que tem por base a definição de um grupo de “geofatores”, aos quais se atribuem valores de acordo

com o grau de incompatibilidade no processo de urbanização (ZUQUETTE, 1987).

Caso a influência no processo seja nula, deve ser atribuído o valor 1; caso exija medidas corretivas, o valor atribuído será 2 e caso inviabilize qualquer obra, seu valor será 3.

Do cruzamento dos “geofatores” com os valores dos atributos obtém-se a caracterização dos processos:

Geofatores A - Riscos para a urbanização: são considerados os processos neotectônicos ou sísmicos e os processos geodinâmicos externos, obtendo-se um mapa de zoneamento de riscos geológicos para a urbanização.

Geofatores B - Limites de áreas para a construção e hidrogeologia: são analisados atributos hidrogeológicos (drenagem, nível hidrostático, corrosividade), a qualidade do solo para fundações (capacidade de carga, compressibilidade) e condições geomorfológicas (formas de relevo, declividade, dissecamento). O produto final é o mapa de zoneamento de adequação para a urbanização.

Geofatores C - Urbanização e recursos a serem protegidos: consideram-se os atributos ligados à fertilidade dos solos, à água disponível e as reservas de materiais de construção. O resultado se expressa no mapa de zoneamento de recursos e proteção ao desenvolvimento urbano.

#### **2.3.4. METODOLOGIAS BRASILEIRAS**

É creditada a HABERLEHNER (1966) a atividade pioneira de mapeamento geotécnico no Brasil, que culminou com a publicação de um artigo denominado “Princípios de Mapeamento Geotécnico”, durante o 20º Congresso Brasileiro de Geologia realizado na cidade do Rio de Janeiro, em 1966.

Mas foi somente após 1988 que, no Brasil, os trabalhos de mapeamento geotécnico começaram a ser produzidos em maior escala. Hoje, diversos grupos

desenvolvem atividades neste campo, dentre eles o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S/A (IPT), o Departamento de Geologia Aplicada do Instituto de Geociências da UNESP (IGCE/UNESP), o Departamento de Geotecnia da Universidade de Brasília, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a Universidade Federal de Santa Catarina, a Universidade Federal de Pernambuco, a Universidade Federal do Paraná, a Universidade Federal do Alagoas e a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Merecem destaque a UFRJ, o IPT, o IGCE/UNESP e a EESC/USP, pela criação de metodologias específicas.

#### ❖ **Metodologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro /UFRJ**

A base metodológica do grupo de profissionais do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (DG/UFRJ) pode ser consultada em BARROSO (1986). Trabalhos nas escalas de 1:50.000 a 1:10.000 ou maiores, tem sido desenvolvidos para a cidade do Rio de Janeiro e áreas próximas, com ênfase em movimentos de massa e processos de ocupação urbana. As cartas contêm informações geológicas e alterações antrópicas.

#### ❖ **Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A - IPT**

A base metodológica da cartografia geotécnica desenvolvida pela Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A (DG/IPT) foi sintetizada por PRANDINI (1995), tendo sido elaborada a partir de situações específicas de problemas ocorridos em vários municípios brasileiros. Apresenta, como característica fundamental, uma grande preocupação com a aplicabilidade prática dos documentos produzidos e com a natureza dos dados obtidos sobre o meio físico, no sentido de permitir não só a resolução do problema, como também o seu gerenciamento futuro.



Dentro da filosofia de produção de cartas geotécnicas como expressão prática do conhecimento geológico aplicado à solução de problemas impostos pela ocupação do meio físico, PRANDINI (1995) assim resume seus objetivos:

- Prever o desempenho da interação entre a ocupação e o meio físico, bem como entre os conflitos e as diversas formas de uso;
- Estabelecer medidas preventivas e corretivas que venham a minimizar os riscos e custos desnecessários nos empreendimentos de uso do solo.

As etapas de elaboração, e as cartas geotécnicas resultantes, segundo a metodologia do IPT, podem ser resumidas na Figura 3.

FIGURA 3: Metodologia do IPT para elaboração de carta geotécnica: etapas e produtos.

<b><u>ETAPAS</u></b>	<b><u>PRODUTOS</u></b>
<p style="text-align: center;"><b><u>LEVANTAMENTO PRELIMINAR</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificação dos problemas existentes e/ou previstos</li> <li>▪ Compilação de dados</li> </ul>	<p>Mapa preliminar (esboço geotécnico)</p>
↓	
<p style="text-align: center;"><b><u>INVESTIGAÇÃO ORIENTADA</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificação dos fatores condicionantes dos problemas</li> <li>▪ Mapeamento destes fatores</li> <li>▪ Definição das escalas de trabalho</li> </ul>	<p>Mapas temáticos dirigidos</p>
↓	
<p style="text-align: center;"><b><u>COMPARTIMENTAÇÃO FINAL</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análise integrada dos fatores mapeados</li> <li>▪ Delimitação dos terrenos com comportamento homogêneo frente ao seu uso</li> </ul>	<p>Unidades geotécnicas</p>
↓	
<p style="text-align: center;"><b><u>ANÁLISE DAS MEDIDAS DE CONTROLE</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Levantamento das práticas e técnicas de implantação e manutenção dos usos do solo</li> <li>▪ Proposição de medidas preventivas ou corretivas</li> </ul>	<p>Diretrizes para o uso do solo</p>
↓	
<p style="text-align: center;"><b><u>REPRESENTAÇÃO</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Representação cartográfica e linguagem adequada ao uso</li> </ul>	<p>Carta geotécnica (mapa final e quadro-legenda)</p>

Fonte: ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998).

❖ **Metodologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP**

A metodologia de mapeamento geológico-geotécnica, denominada de “Método de Detalhamento Progressivo”, foi proposta por CERRI (1996) para aplicação em áreas urbanas e prevê a realização dos trabalhos em etapas sucessivas (Quadro 5), que determinam os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente.

QUADRO 5: Síntese das etapas do método do detalhamento progressivo.

	<b>1ª ETAPA GERAL</b>	<b>2ª ETAPA INTERMEDIÁRIA OU DE SEMI-DETALHE</b>	<b>3ª ETAPA DETALHE</b>
<b>P R O D U T O S</b>	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala 1:50.000 ou 1:25.000.	Cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos na escala 1:25.000 (1ª etapa = 1:50.000) ou 1:10.000 (1ª etapa = 1:25.000).  Detalhamento da caracterização do meio físico realizado na etapa anterior, com identificação dos problemas geológico-geotécnicos instalados.	Estudos geológico-geotécnicos temáticos específicos na escala 1:5.000 ou maior, se necessário.  Com base nos resultados das etapas anteriores, são selecionados os temas técnicos e áreas para estudo de detalhe.
<b>O B J E T I V O S</b>	Caracterização do meio físico com a identificação de suas limitações e potencialidades ante as necessidades impostas pelo uso urbano do solo.	Fornecer subsídios para um adequado planejamento e gestão do uso urbano do solo.	Subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados e/ou a implantação de novos empreendimentos.
<b>Á R E A  D E  E S T U D O</b>	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo (10 a 20 anos), e áreas adjacentes (nas quais é fundamental a caracterização do meio físico).	Já urbanizada, com perspectiva de urbanização a médio prazo, em áreas de adensamento e/ou expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico da 1ª etapa.	Restrita: podem ser realizados vários estudos nas respectivas áreas de interesse. A definição da área é função dos estudos temáticos.

Á R E A  D E  E S T U D O	A definição da área de estudo é função: a) do porte do núcleo urbano. b) das características do meio físico.	A definição da área é função: a) das prioridades do meio físico b) das características do meio físico  Em regiões metropolitanas e núcleos urbanos de grande porte, priorizar setores destas áreas, mesmo que descontínuos.	
Q U A N T I F I C A Ç ÃO	<b>Somente quando viável</b>  Ante o objetivo e condições de execução do trabalho. Deve ser restrita a aspectos mais gerais, como, por exemplo, a profundidade do nível freático ou a espessura de unidades de cobertura.	<b>Desejável</b>  Declividade, profundidade do N.A., espessura de unidades de cobertura, profundidade do topo rochoso, etc.)	<b>Indispensável</b>  Exceto nos casos em que a capacitação técnica acumulada (teórica e/ou empírica), seja plenamente suficiente para permitir a adequada elaboração de projetos de engenharia.

Fonte: ZAINÉ (2000).

ZAINÉ (2000) complementa a metodologia de CERRI (1996), detalhando os passos a seguir e apresentando, para cada uma das etapas, a seqüência dos trabalhos, os produtos cartográficos gerados, o material utilizado e os ensaios e quantificações a se realizar (Quadro 6).

QUADRO 6: Seqüência dos trabalhos do método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.

<b>ETAPAS DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO</b>	<b>MAPAS GERADOS</b>	<b>MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO</b>	<b>ENSAIOS / QUANTIFICAÇÃO</b>
<u>1ª etapa</u> (Geral)	Geológico-Geotécnico      Zonas de proteção e problemas ambientais ↓ Seleção de áreas para semi-detalhe	Mapa topográfico 1:10.000 Base 1:25.000 Aerofotos 1:25.000	

<p><u>2ª etapa</u> (Semi-detalhe)</p>	<p>Declividades ↓ Profundidade do N.A. subterrâneo ↓ Coberturas Inconsolidadas ↓ Avaliação de suscetibilidade e adequabilidade ↓ Definição e/ou orientação de estudos de detalhe ↓ Demanda / Prioridade ↓</p>	<p>Mapa topográfico 1:10.000 Base 1:10.000 Aerofotos 1:5.000</p>	<p>Cálculos de declividade  Sondagens verticais  Dados de sub-superfície</p>
<p><u>3ª etapa</u> (Detalhe)</p>	<p>↓ Estudos de detalhe ↓ Estudo geológico-geotécnico para caracterização de área de disposição de resíduos</p>	<p>Planta de detalhe (1:5.000) com a localização dos ensaios e futuras instalações</p>	<p>-Granulometria -Índices físicos -Ensaio de Adensamento -Análises físico-químicas (solo e água) -Análise mineralógica -SPT resistência à penetração</p>

Fonte: ZAINE (2000).

❖ **Metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos / USP (ZUQUETTE, 1987/ 1993)**

O mapeamento geotécnico é considerado por ZUQUETTE (1987) como um processo que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos ou outros. Por caracterizar-se como um campo de interface entre as diversas áreas do conhecimento e as informações geotécnicas, deve analisar o meio físico como um todo, com o objetivo de avaliar suas limitações e seus potenciais (ZUQUETTE, 1993).

Em 1987, ZUQUETTE elaborou uma proposta metodológica de mapeamento geotécnico adaptada às condições brasileiras. A análise da proposta metodológica da IAEG mostrou que sua aplicação em países de baixa renda torna-se bastante difícil, devido a alguns aspectos, dentre os quais se destacam: falta de base topográfica em escala adequada, pouco conhecimento técnico dos profissionais envolvidos com as atividades de planejamento, legislação ambiental inadequada e dispersão das raras informações existentes (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1990).

Na metodologia de ZUQUETTE (1987), o estudo e a especificação das unidades geotécnicas passam pelas etapas de levantamento e análise de informações existentes, seguido do conhecimento dos atributos e da identificação de unidades que apresentam heterogeneidade mínima.

Na concepção de ZUQUETTE & GANDOLFI (1992), uma metodologia de mapeamento, para ser eficiente, deve ser conduzida no sentido de atender os seguintes pressupostos básicos:

- Os atributos considerados, sua classificação e seus níveis de heterogeneidade aceitáveis variam em função da escala escolhida;
- A obtenção dos atributos quantitativos ou qualitativos deve seguir uma ordem;
- Para que não ocorram excessos ou deficiências localizadas, as informações devem ser homogeneizadas;
- Para a amostragem é imprescindível a definição prévia de como, o que e onde amostrar;
- Deve-se definir as atividades a serem desenvolvidas nas fases envolvidas no mapeamento (preliminar, de escritório, de campo e conclusiva);
- Necessidade de um mapa topográfico adequado (documento básico) para que a elaboração de mapas específicos e a execução de estudos técnicos relativos ao meio ambiente possam ser efetivados;
- Determinação do nível de generalização das informações mais adequado para o estudo em questão;

- Desenvolvimento dos trabalhos a um custo que possa ser considerado baixo em função do tipo de mapeamento;
- Orientação dos trabalhos envolvidos nas diferentes fases consideradas para cada escala;
- Determinação das possibilidades de uso para cada faixa de escalas.

Os atributos que devem ser levantados permitem a produção de documentos que podem ser enquadrados em quatro classes:

- Mapas Fundamentais Básicos: representam os componentes do meio físico, biológico e antrópico e são essenciais na confecção dos diversos tipos e mapas geotécnicos. Dentre eles, destacam-se: o mapa topográfico, o mapa geológico e o mapa hidrogeológico.
- Mapas Opcionais Básicos: incluem uma grande variedade de documentos que, dependendo das características físicas da área trabalhada e dos objetivos do mapeamento, podem ser enquadrados como básicos fundamentais. Pertencem a este grupo: o mapa de declividade, o pedológico, o geomorfológico, o climático, o geofísico, o de uso e ocupação do solo, o de materiais inconsolidados, entre outros.
- Mapas Auxiliares: no mapeamento geotécnico, o mapa auxiliar mais utilizado é o de documentação, onde estão localizados os pontos de amostragem, sondagens, pontos de ensaios, postos meteorológicos e poços profundos.
- Cartas Derivadas e Interpretativas: resultam da análise e interpretação dos dados contidos nos documentos das classes anteriormente citadas. São elaboradas para uma condição pré-definida e devem, sempre, refletir o resultado de uma análise das características básicas do meio. Dentro deste grupo, estão: cartas de zoneamento geotécnico, de erodibilidade, de disposição de rejeitos sépticos, de escavabilidade, de obras enterradas, de vulnerabilidade de aquíferos, de estabilidade de taludes, de irrigação, de materiais de construção e outras.

A base da Metodologia da EESC/USP, resumida por ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998), pode ser observada no Quadro 7, que corresponde a um esquema evidenciando os procedimentos globais do processo de mapeamento geotécnico. Na primeira parte estão retratados os tipos de documentos cartográficos que podem ser realizados e as recomendações básicas necessárias à sua obtenção. Na seqüência, citam-se os tipos de documentos que podem ser obtidos, em cada nível, quando se consideram os atributos do meio físico, biológico e sócio-econômico.

A metodologia da EESC/USP foi desenvolvida buscando-se atender os seguintes objetivos:

- Baixo custo de execução e aplicação;
- Definição dos atributos a serem considerados e dos meios para obtê-los;
- Utilização dos resultados obtidos para confecção de documentos voltados a uma das seguintes finalidades: estabilidade de taludes naturais, fundações, implantação de estradas, irrigação, disposição de rejeitos sépticos, obras enterradas, escavabilidade;
- A forma de investigação do meio físico deve ser a análise, ou seja, o estudo do conjunto, individualizando os seus componentes, e não a síntese, que visa refletir o conjunto por um único resultado.

QUADRO 7: Metodologia de mapeamento geotécnico da EESC/USP.

<b>NÍVEL DO DOCUMENTO</b>	<b>RECOMENDAÇÕES BÁSICAS</b>	<b>TIPOS DE DOCUMENTOS</b>
<b>I</b>	A obtenção dos atributos e a execução dos documentos podem ser feitas por diferentes procedimentos e métodos.	Fundamentais Básicos: registram as variações do meio físico, biológico e antrópico (sócio-econômico) através da variação espacial dos atributos.
<b>II</b>	Representar as informações em um único documento (deve ocorrer uma seleção dos atributos); escalas pequenas são as mais indicadas (1:100.000).	Fundamentais de Síntese: sintetizam as informações de uma região sem análise para fins específicos.

<b>III</b>	<p>Considerando-se as variações espaciais, pode-se realizar:</p> <p>a) Carta de Zoneamento Geotécnico Geral (C.Z.G.G.) b) Cartas de Zoneamento Geotécnico Específico (C.Z.G.E.)</p> <p>Deve-se ter como objetivo a delimitação de unidades que apresentem graus de heterogeneidades mínimas aceitáveis.</p> <p>Recursos que podem ser utilizados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matriz bi e tridimensionais;</li> <li>▪ Árvore Lógica;</li> <li>▪ Sobreposição controlada;</li> <li>▪ Métodos Determinísticos;</li> <li>▪ Combinação de Recursos.</li> </ul> <p>Para a C.Z.G.G. há necessidade de se definir uma hierarquia de componentes e atributos e as hierarquias de influência.</p>	Cartas Derivadas e Interpretativas
<b>IV</b>	<p>São cartas (4,5,6) elaboradas a partir dos documentos das fases anteriores. Devem ser considerados os tipos de <i>hazards</i> e as áreas que podem ser atingidas (5,6). Para a carta (4), considerar documentos referentes aos elementos ocupacionais.</p> <p>O melhor mecanismo para a obtenção das cartas (4,5,6) é a superposição controlada (manual ou automatizada).</p>	Cartas Analíticas Básicas: elaboradas a partir de um conjunto de informações sobre os componentes básicos de um meio, considerando-os normalmente relacionados à avaliação da probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de um ou mais processos naturais.
<b>V</b>	Cartas elaboradas a partir de análises das anteriores	Prognósticos de riscos, de problemas e de limitações; são elaboradas considerando-se a interação de características dos constituintes do meio ambiente.
<b>VI</b>	As cartas devem ser elaboradas considerando-se os níveis de vantagens e as limitações das diferentes zonas.	Cartas de procedimentos quanto à ocupação e controle dos riscos.
<b>VII</b>	Os documentos devem ser elaborados considerando-se os aspectos do meio ambiente, fatores sócio-econômicos e antrópicos. Podem ser elaborados para escalas desde 1:50.000 até 1:2.000.	Cartas de Viabilidade (Potencial) para usuários: elaboradas com base em todas as informações do meio ambiente, considerando-se as relações entre os diferentes vetores de ocupação.
<b>VIII</b>	Devem ser elaboradas com base nos documentos das fases anteriores e estudos das necessidades futuras, quanto ao vetor considerado (ocupação urbana, água, etc.)	Cartas Orientativas Conclusivas: são elaboradas para tomadas de decisão administrativa ou econômica.



NÍVEL DO DOCUMENTO	MEIO FÍSICO				
I	Mapa do Substrato rochoso, Mapa de Qualidade das Águas Mapa de Documentação	Mapa de Materiais Inconsolidados Carta de Declividade Mapa das Bacias Hidrográficas Mapa Cinemático (Pluviosidade, etc.)	Mapa de <i>Landforms</i> Mapa de Geologia Estrutural / Relevo	Mapa de Feições do Tectógeno Mapa das Condições Hidrogeológicas	Mapa do Inventário de Feições decorrentes de Processos naturais
II	Mapa das condições Geológico-Geotécnicas (M.C.G.G.)				
III	Cartas de Zoneamento Geotécnico Geral (C.Z.G.G.)				
	Cartas de Zoneamento Geotécnico Específico (C.Z.G.E.)				
	Carta para (3) Fundações	Carta de (3) Potencial a Erosão	Carta de (3) Potencial Subterrânea	Carta para Disposição(5) de Rejeitos e Resíduos	Carta de Potencial(3) para Estocagem Subterrânea
	Carta para(3) Exploração das Águas	Carta de (3) Potencial de Escoamento Superficial e Infiltração	Carta para (3) Irrigação  Carta de Zonas (3) de Recargas	Carta de Potencial a (3) Corrosividade  Cartas para Exploração(3) das Águas	Carta para (3) Estradas  Carta para (3) Escavabilidade
Carta das (3) Condições de Drenabilidade	Carta de (3) Potencial para Minerais e Materiais de Construção Civil	Carta de Potencial de (3) Movimentos de Massa  Carta de Classificação(3) de Bacias Hidrográficas quanto a Problemas Ambientais	Carta de Potencial de (3) Movimentos de Massa  Carta de Classificação(3) de Bacias Hidrográficas quanto a Problemas Ambientais	Carta de (3) Potencial para Minerais e Materiais para Construção	
(3) - Para Elaboração destes documentos é fundamental a definição de pesos para os diferentes atributos					
IV	Carta de Probabilidade de Ocorrência de Eventos Naturais		Carta das Possibilidades de Ocorrer Eventos Perigosos ( <i>Hazards</i> ) nas Unidades (5)	Carta das Áreas ( <i>Hazard</i> Área) sujeitas aos Eventos Perigosos (tipo x áreas) (6)	
	Carta das Áreas Degradadas		Carta de Diagnósticos de Zonas Degradadas		Cartas de Passivos Ambientais (meio físico)
V	Carta de Zoneamento Geoambiental (1)	Carta com as áreas que apresentam restrições para um tipo de ocupação específica (5)		Carta de Vulnerabilidade (1) das Águas Carta de Riscos Específicos Totais(1)	

<b>VI</b>	Carta que retrata os procedimentos construtivos e cuidados para implementar a ocupação (2)			
	Viabilidade para aeroportos, Reservatórios, barragens e captação d'água	Viabilidade para parques industriais	Viabilidade para Agropecuária e Hortifrutigranjeiros	Viabilidade para Aterros Sanitários
	Viabilidade para construções residenciais		Viabilidade para obras enterradas	
<b>VII</b>	Hierarquização das unidades considerando somente os atributos do meio físico		Priorização e hierarquização das áreas para as diferentes finalidades (específica ou global)	
<b>NÍVEL DO DOCUMENTO</b>	<b>MEIO BIOLÓGICO</b>		<b>MEIO SÓCIO-ECONÔMICO</b>	
<b>I</b>	Mapa de Fauna		Mapa dos equipamentos urbanos existentes (linhas vitais)	Mapa de densidade populacional
	Mapa de Flora		Mapas das áreas públicas	Mapa dos diferentes tipos de ocupação: tipos que podem provocar eventos perigosos; ocupações comuns; ocupações futuras.
<b>II</b>	Carta de hierarquização das áreas quanto a preservação		Mapa dos índices sócio-econômicos	
<b>III</b>	Carta de vulnerabilidade dos elementos de ocupação frente aos eventos perigosos (4)		Carta de passivos ambientais (meio biótico)	
<b>IV</b>	Carta de riscos totais (1) Carta dos níveis de riscos para as diferentes zonas ambientais (2)			
<b>V</b>	Carta com os procedimentos de segurança para cada zona (2)			
	(1) Podem ser elaboradas para os elementos de ocupação atuais e que serão implantados no futuro Documentos que devem ser elaborados para escalas maiores que 1:50.000			
<b>VI</b>	Viabilidade para proteção ambiental ou para exploração de recursos naturais			
<b>VII</b>	Cartas que retratem as expectativas da relação custo / benefício Cartas de zoneamento das condições globais do meio ambiente e problemas futuros			

Fonte: ZUQUETTE & NAKAZAWA (1998).

ZAINE (2000) faz uma análise comparativa entre a metodologia de mapeamento geotécnico da EESC/USP e do IPT, que bem evidencia a finalidade dos documentos produzidos por ambas: planejamento e uso do solo nos

cartogramas da EESC/USP e identificação e correções de problemas decorrentes da interação entre o meio físico e a ocupação antrópica nos documentos elaborados pelo IPT (Quadro 8).

QUADRO 8: Síntese da análise comparativa entre os métodos de cartografia geotécnica da EESC/USP e do IPT.

<b>ASPECTO ABORDADO</b>	<b>EESC/USP</b>	<b>IPT</b>
Escala e área total mapeada	Mapas ou cartas geotécnicas, com predomínio de escalas de 1:100.000 e 1:50.000	Mapas geotécnicos que, independentemente da dimensão da área de estudo, adotam escalas de 1:5.000 e 1:10.000. (Embora existam áreas com mapas em diferentes escalas, não há uma relação entre eles nos moldes do detalhamento progressivo).
Número de zonas / unidades geotécnicas definidas	Apresentam um número elevado de zonas / unidades geotécnicas	Apresentam um número relativamente baixo de unidades geotécnicas
Parâmetros geotécnicos	A quantificação de parâmetros geotécnicos por meio de ensaios de laboratório é muito utilizada.	Não apresentam quantificação de parâmetros por meio de ensaios de laboratório
Número de documentos cartográficos	Apresentam uma série de mapas/cartas geotécnicas (ex.: carta de zoneamento geotécnico geral e específico)	Em geral, apenas uma carta geotécnica é apresentada ao final dos trabalhos
Processos geológicos	Não necessariamente consideram análise dos processos geológicos instalados e/ou potenciais para a elaboração dos cartogramas	Na elaboração das cartas, os processos geológicos instalados e/ou potenciais são considerados desde o início dos trabalhos
Finalidade	Destinam-se ao planejamento do uso do solo	Apresentam cartas geotécnicas dirigidas, que visam uma aplicação mais imediata, pois partem da identificação dos problemas

Finalidade		decorrentes da interação entre o meio físico geológico e a ocupação, buscando ainda a correção dos problemas. Também se destinam ao planejamento do uso do solo.
Método	Tem por base as metodologias clássicas (IAEG, Sanejouand e PUCE)	Dirigem o trabalho de forma específica

Fonte: ZAINÉ (2000).

### 2.3.5. METODOLOGIAS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo PEJON & ZUQUETTE (1991), a disposição de resíduos sólidos urbanos, independente do tipo, quantidade e do porte da cidade, tem sido feita de maneira inadequada e sem qualquer preocupação com o meio físico. Apontam os seguintes fatores como os responsáveis diretos por este comportamento:

- Falta de conhecimento regional das características do meio físico e do meio ambiente como um todo;
- Não caracterização e separação dos tipos de resíduos;
- Interpretação inadequada das normas existentes (ABNT/NBR - 8419/84 e ABNT/NBR - 10.004/87) para a escolha dos locais;
- Pequena quantidade de estudos nos aterros em funcionamento;
- Falta de fiscalização e punição, pelos órgãos públicos, dos responsáveis pela disposição inadequada dos resíduos;
- Ausência total ou parcial de manifestação da população no que concerne a questões de poluição do meio ambiente;
- Falta de noção dos administradores quanto à gravidade do problema, o mesmo ocorrendo com a maioria dos profissionais ligados aos órgãos públicos.

O Brasil ressenete-se de uma norma adequada que especifique uma metodologia para disposição de resíduos sólidos de forma adequada. Existem apenas algumas publicações de pesquisadores e de alguns órgãos como a CETESB e o IPT. As normas existentes e fixadas pela ABNT foram criticadas por ROHDE (1989), pois não determinam os critérios ou estabelecem roteiros técnicos para as caracterizações geológico-geotécnicas e climatológico-ambientais, imprescindíveis à escolha de locais adequados à disposição de resíduos.

BENVENUTO (1995) relaciona as principais informações e dados básicos que devem ser considerados na implantação de um aterro sanitário. Além dos dados de inventário do meio físico, como geologia, pluviometria, regime de ventos, etc., são necessárias análises criteriosas com relação à tendência de urbanização futura da área e à previsão do crescimento populacional, pois estes fatores controlarão a vida útil do aterro, que não deve ser inferior a 10 anos em áreas já em utilização e 20 anos para áreas novas.

De acordo com as normas da ABNT (ABNT/NBR-10.004/87 e ABNT/NBR - 8419/84) e da CETESB, em vigor, as restrições a serem observadas na escolha do local de implantação de um aterro sanitário são as seguintes:

- Condutividade hidráulica inferior a  $10^{-5}$  cm/s;
- Distância mínima dos centros urbanos de 500m (condicionada à direção dos ventos);
- Profundidade mínima do lençol freático de 1,5m a partir da base do aterro;
- Distância mínima de 200m dos corpos d'água superficiais.

De acordo com ROCCA (1993), a escolha de locais para implantação de aterros deve atender:

- Ao planejamento do desenvolvimento econômico, social e urbano da região;
- Às diretrizes fixadas para o uso e ocupação do solo;
- À proteção da saúde pública;
- À defesa do meio ambiente.

Os aspectos a serem verificados e analisados e que condicionam a seleção de áreas para a disposição de resíduos são:

- Grau de urbanização e compatibilidade da vizinhança;
- Valor de mercado do terreno;
- Distância dos pontos geradores de resíduos;
- Condições de trafegabilidade;
- Características hidrogeológicas;
- Potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas;
- Localização quanto a mananciais de abastecimento de água.

ROCCA (1993) recomenda como sistemática para a produção de mapas para seleção de áreas com a finalidade de construção de aterros sanitários um processo semelhante ao utilizado em planejamento territorial, ou seja, a confecção de um mapa para cada variável que ocorre na região em estudo, que será diferenciada por uma cor, cuja graduação (tonalidades) define os valores de qualidade desta variável. A superposição dos mapas individuais permitirá a identificação dos locais mais favoráveis à implantação de aterros.

Segundo a metodologia desenvolvida por pesquisadores do IPT (1995), a seleção de áreas para instalação de aterros sanitários deve seguir três etapas:

- Levantamento geral de dados: em que são pesquisadas informações já existentes nas prefeituras ou outros órgãos públicos referentes à população, características do lixo e sua coleta, e transporte;
- Etapas de pré-seleção de áreas: em que é analisado um conjunto de dados sobre o meio físico e sócio-econômico, decisivos para a definição de áreas potencialmente favoráveis à disposição de resíduos. As informações que devem ser analisadas são de caráter:
  - Geológico-geotécnicas: feições estruturais e unidades geológico-geotécnicas regionais;

- Pedológicas: tipos de solo, identificação dos apropriados para material de cobertura e dos processos que atuam no meio físico;
- Relevo: declividade dos terrenos, compartimentação geomorfológica e formas de relevo;
- Hidrológicas e hidrogeológicas: profundidade do lençol freático, áreas de recarga, mananciais, bacias e corpos d'água de interesse ao abastecimento público e áreas de proteção de mananciais;
- Climáticas: regime de chuvas, série histórica da precipitação e direção e intensidade dos ventos;
- Legislativas: localização das áreas de proteção ambiental, áreas de proteção de mananciais, parques, reservas, áreas tombadas e de zoneamento urbano;
- Sócio-Econômicas: valor da terra, uso e ocupação dos terrenos, distância em relação aos centros urbanos, integração com a malha viária, aceitação da população e suas entidades organizadas.

A análise dos dados coletados na fase de pré-seleção permite a definição de áreas potencialmente favoráveis para a disposição de resíduos e que serão individualizadas após trabalhos de campo. A comparação dos resultados obtidos após esta fase com os critérios para avaliação das áreas para instalação de aterros sanitários definidos no Quadro 9 resultará na classificação de áreas em uma das seguintes categorias: recomendada, recomendada com restrições e não-recomendada, de acordo com o grau de adequabilidade atingido, em função da análise das informações sobre o meio físico e características sócio-econômicas.

QUADRO 9: Critérios para avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário.

DADOS NECESSÁRIOS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	RECOMENDADA	RECOMENDADA (COM RESTRIÇÕES)	NÃO RECOMENDADA
Vida útil	> 10 anos	10 anos, a critério do órgão ambiental	
Distância do centro atendido	> 10 km	10 - 20 km	> 20 km

Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambientais e correlatas
Zoneamento urbano	Crescimento mínimo	Crescimento intermediário	Crescimento máximo
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valorização da terra	Baixa	Média	Alta
Aceitação da população e de entidades ambientais e não-governamentais	Boa	Razoável	Inaceitável
Distância dos cursos d'água	> 200m	Com aprovação do órgão ambiental responsável	

Fonte: IPT (1995).

- Etapa de estudos para viabilização de áreas pré-selecionadas: corresponde a uma etapa de trabalho de campo objetivando conhecer com detalhes as características do meio físico nas áreas pré-selecionadas, utilizando-se de técnicas de investigação empregadas comumente pela geologia de engenharia.

ZUQUETTE (1993) e ZUQUETTE *et al.* (1994) propõem uma metodologia de mapeamento geotécnico para a disposição de resíduos sólidos, voltada às condições brasileiras (áreas vastas e necessidade de caracterização a custos baixos), em que as características do meio físico são classificadas de acordo com seu grau de adequabilidade, em intervalos definidos de variação. Os trabalhos preliminares de seleção devem produzir um mapa geotécnico específico com escalas entre 1:100.000 a 1:25.000 e considerar os atributos envolvidos, seus níveis e as formas de disposição (aterro sanitário, tanque e fossa séptica ou lagoa).

No caso específico de zoneamento para a finalidade de disposição de resíduos de forma adequada, são analisados alguns atributos (ZUQUETTE *et al.* 1994), que permitem a definição e a delimitação de unidades, que são classificadas como: favorável, moderada, severa e restritiva (Quadro 10).



QUADRO 10: Classes de atributos e características principais.

<b>CLASSES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>FAVORÁVEL</b>	As características naturais dos atributos apresentam níveis adequados para a disposição de resíduos.
<b>MODERADA</b>	Alguns atributos da área em estudo não apresentam condições favoráveis à disposição de resíduos. Entretanto, é possível a correção a custos baixos e mecanismos tecnológicos comuns.
<b>SEVERA</b>	Mais de 50% dos atributos naturais apresentam condições inadequadas para a disposição de resíduos. A correção só é possível com a utilização de recursos tecnológicos especiais.
<b>RESTRITIVA</b>	A maioria dos atributos naturais da área apresenta condições inadequadas à disposição de resíduos. Faz-se necessária a utilização de mecanismos tecnológicos muito especiais, e os custos envolvidos são altos e os impactos ambientais intensos.

Fonte: ZUQUETTE *et al.* (1994).

## **2.4. GEOPROCESSAMENTO**

### **2.4.1. CARTOGRAFIA DIGITAL**

#### ❖ Fotointerpretação e Mosaico

A fotointerpretação trata, principalmente, do reconhecimento e da identificação dos objetos e do julgamento do seu significado através de análises cuidadosas e sistemáticas.

As fotografias aéreas, segundo FILHO (2001), são mais freqüentemente utilizadas para fins de mapeamento planialtimétrico para extensas áreas, uma vez que estas apresentam uma grande precisão e agilidade no levantamento e são economicamente mais viáveis em termos de custo do que os levantamentos com a utilização de instrumentos de campo. Desta forma, as fotografias aéreas são produtos de uma projeção ou perspectiva central e o mapa é o produto de uma

projeção ortogonal. Assim, o mapa possui uma base estável e a fotografia aérea está sujeita a distorções e deslocamentos.

O processo de mosaicagem utilizado corresponde à utilização de um conjunto de fotografias aéreas que abrangem toda a área de interesse. Desta forma, cada imagem incorpora suas próprias distorções geométricas.

No presente trabalho, o processo de mosaicagem foi realizado em meio digital, sendo denominado de mosaicagem digital (FILHO, *op. cit.*).

O mosaico corresponde ao agrupamento de um ou mais fragmentos de aerofotos recortadas e sistematicamente acopladas com o propósito de formar uma imagem global da área que foi fotografada. Estas, por sua vez, revelam propriedades particularmente úteis para os projetos de planejamento (monitoramento de áreas verdes e preservação ambiental), diagnóstico da evolução do crescimento urbano e análises de recursos naturais, tais como: rochas, solos, florestas, entre tantos.

Para a obtenção do fotomosaico georreferenciado, optou-se pela realização do registro das fotografias aéreas em meio digital através da utilização do software de processamento de imagens ENVI 3.5, no qual foram realizados os procedimentos necessários para o registro.

Neste trabalho houve a necessidade de se realizar a ortorretificação das fotografias. Este processo se constituiu no tratamento da distorção radial existente nas imagens. Dessa forma, a região do centro da imagem possui uma distorção aproximada a zero, aumentando radialmente nas bordas da imagem. Essa distorção radial acontece devido ao fato de que o centro de perspectiva da imagem não se encontra no infinito, então a projeção em que se adquire estes dados é cônica.

Na tentativa de diminuir o erro existente nas fotografias aéreas resultantes da distorção radial, e na ausência de material necessário (cartas topográficas em escala adequada e malha de altimetria suficientes), para realizar a

ortorretificação, foi estabelecido um procedimento alternativo e de baixo custo que tenta diminuir ao máximo a distorção radial presente na imagem. Este processo constitui em uma adequação das fotografias aéreas a um sistema de projeção ortogonal, tendo sido efetuado, como base para a sua realização, um controle de campo, através da captura de pontos de controle com a utilização do G.P.S., e registro das imagens utilizando-se o software de processamento digital de imagens ENVI 3.5.

### ❖ **Registro e Correção Geométrica**

Segundo o ENVI 3.5 (2001), as imagens produzidas por sensores remotos, fotografias aéreas ou imagens de satélite apresentam distorções espaciais, não possuindo precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados.

A correção geométrica e o georreferenciamento (ENVI 3.5, 2001) correspondem ao ajuste de uma imagem ou de um arquivo vetorial a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência (latitude / longitude).

O processo de registro do SPRING 3.5 (INPE, 2001) corresponde a uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas de uma imagem (x,y) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Este processo elimina as distorções existentes em cada tipo de plataforma.

Para a realização do registro faz-se necessário a escolha de “pontos de controle”, que consistem em pontos previamente definidos nas fotografias aéreas e posteriormente capturados em campo com o auxílio do G.P.S. e a distribuição destes de forma homogênea na área de interesse.

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Para atingir o objetivo deste trabalho foi estabelecida uma seqüência de procedimentos voltados ao aproveitamento de dados de mapeamento geotécnico, com o propósito de produzir dois mapas fundamentais: Mapa do Substrato Rochoso (Anexo-III) e Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo-IV), bem como uma carta derivada: Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos (Anexo-V), gerada a partir do cruzamento múltiplo de informações obtidas através da avaliação dos atributos do meio físico e dos atributos operacionais da área (Quadros 13 e 16, respectivamente).

Para implementar a proposta, foi escolhida uma área no município de Araxá, delimitada por um polígono com 290 km<sup>2</sup>, na escala 1:25.000 (Figura 1), utilizando-se a metodologia proposta por ZUQUETTE (1987, 1993) e ZUQUETTE *et al.* (1994), de forma a possibilitar a avaliação de áreas para a disposição de resíduos sólidos urbanos, voltada às condições brasileiras. Ressalta-se que, apesar do mapeamento em questão ter sido efetuado na escala 1:25.000, os mapas foram plotados em formato A1, por uma questão de redução de custos, e desta forma foram apresentados na escala 1:35.000. Esta metodologia foi selecionada, devido aos seguintes aspectos:

- Estar voltada à produção de mapas em escala regional (1:25.000 a 1:100.000) indicativos das potencialidades do meio para o fim desejado;
- Considerar atributos do meio físico e operacionais, que podem ser obtidos por meio de mecanismos simples e de baixo custo;
- Permitir a variação das faixas e limites dos atributos envolvidos, em função do meio físico, das características de ocupação da área e dos tipos de resíduos a serem depositados.

### **3.2. ATRIBUTOS RESTRITIVOS PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A análise dos mapas produzidos no município na escala de 1:100.000, mapa topográfico (IGA, 1984) e mapa geológico regional de mesma escala (SEER, 1999), bem como de fotografias aéreas de 1979 - Aerofotos Cruzeiro S.A. (escala 1:25.000), compreendendo a faixa norte da área e fotografias aéreas de 1998 - Instituto Brasileiro do Café - IBC (escala 1:20.000), perfazendo o restante da área, que, aliada à fotointerpretação e atividades de campo, permitiu a seleção de atributos e a sua classificação e análise, de forma a caracterizar as condições geotécnicas do meio físico que interferem na disposição de resíduos sólidos urbanos.

AGUIAR (1997) destaca que a compatibilização dos atributos ao objetivo do trabalho deve reger os passos seguintes, verificando-se nesta oportunidade aqueles que efetivamente participarão dos documentos cartográficos finais, de forma a não comprometer o cronograma de execução ou aumentar a complexidade da análise para a determinação das unidades finais.

A escolha dos atributos deve ser bastante criteriosa e calcada em um seguro embasamento teórico, sendo realizada previamente a qualquer etapa de coleta de dados. Isto evitará que sejam envidados esforços em sua obtenção e análise que acabem por se mostrar desnecessários, implicando no aumento de custos e do tempo de execução dos trabalhos. Por vezes o excesso de atributos pode até levar a resultados enganosos, que obscureçam a realidade ou mesmo favoreçam falsas representações.

A seleção e hierarquização de atributos do meio físico visam identificar as áreas favoráveis, moderadas e inadequadas para a disposição de resíduos sólidos, de forma a orientar o poder público quanto à construção de aterro sanitário em local adequado.

ZUQUETTE (1987) e ZUQUETTE *et al.* (1994) apresentam uma metodologia geral e específica, respectivamente, que regem a delimitação de

unidades geotécnicas voltadas à disposição de resíduos sólidos e, voltada para as condições brasileiras (áreas extensas, com baixos custos para a sua caracterização), na qual trabalhos preliminares de seleção produzem uma carta geotécnica específica em escalas entre 1:100.000 e 1:25.000.

Esta metodologia propõe uma lista de 34 atributos (Quadro 11), que devem ser considerados para uma adequada instalação de aterros sanitários. Para cada atributo são definidos intervalos de variação de acordo com a adequabilidade das áreas previamente selecionadas.

QUADRO 11: Atributos e níveis usados na definição e delimitação de unidades de favorabilidade, apresentando heterogeneidade mínima.

Componentes Atributos / Classes		Aterro Sanitário			
		Favorável	Moderado	Severo	Restritivo
Substrato Rochoso	(1) Litologia			Arenito	Calcário
				Aquíferos	Aquíferos
	(2) Profundidade (m)	> 15	5 - 15	< 5	< 3
	(3) Descontinuidades			Muito fraturado	Muito fraturado
Materiais Inconsolidados	(4) Textura	Argilo-arenoso	Areno-argiloso	Arenoso	Muito arenoso
	(5) Variação do perfil de alteração	Heterogêneo	Heterogêneo	Homogêneo	Homogêneo
	(6) Mineralogia	Mineral argiloso do tipo 2 x 1	Mineral argiloso do tipo 1 x 1	Minerais inertes	Minerais inertes
	(7) Blocos de rocha	Poucos e pequenos	Pouco e pequenos	Muitos e pequenos	Muitos e grandes
	(8) pH e ΔpH	> 4 / negativo	> 4 / negativo	> 5 / negativo	< 4 / positivo
	(9) Salinidade (mhos/cm)	< 16	< 16	> 16	Alto
	(10) C.T.C. (meq/100g)	> 15	5 - 15	< 5	< 2
	(11) Condições de compressibilidade	Não	Não	Na camada superficial	Na camada superficial
	(12) Material colapsível	Não ocorre	Na camada superficial (2m)	Na camada superficial (4m)	Na camada superficial (6m)
	(13) Índice de erodibilidade	Baixo	Baixo	Alto	Muito alto

<b>Materiais Inconsolidados</b>	(14) Fator de retardamento	Alto	Intermediário	Baixo	Baixo	
	(15) Características para compactação	Bom	Bom	Inadequado	Inadequado	
<b>Água</b>	(16) Nível da água subterrânea (m)	> 10	> 6	< 4	< 2	
	(17) Direção do fluxo de água subterrânea	1	1	2 ou 3	> 3	
	(18) escoamento superficial	Laminar	Laminar (baixo)	Laminar (alto)	Concentrado	
	(19) Permeabilidade (cm/s)	$10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$	$> 10^{-3}$	$> 10^{-2}$	
	(20) Área de recarga	Não			Ocorre	
	(21) Distância de poços e fontes (m)	> 500	400	> 300	< 300	
	(22) Condições de drenabilidade	Boa			Inadequada	
	<b>Relevo</b>	<b>Processos</b>	(23) Erosão	Não		Intenso potencial
(24) Escorregamento			Não		Potencial	Ocorre
(25) Subsidência			Não			Ocorre
<b>Feições</b>		(26) Cavernas	Não			Ocorre
		(27) Declividade (%)	2 - 5	< 2 e > 5	> 15	> 20
		(28) <i>Landforms</i>	Encostas suaves		Encostas íngremes / zonas de inundação	Encostas muito íngremes / zonas de inundação
		(29) Distância entre os limites das bacias de drenagem	(> 200m)	(> 100m)	Próximo	Coincidente
		(30) Zona Úmida	Não			Ocorre
		(31) Zona de inundação	Não		Tempo de retorno > 20 anos	Tempo de retorno < 20 anos
		<b>Características climáticas</b>	(32) Evapotranspiração	Alta	Intermediária	Baixa
(33) Direção do vento					Em direção à área urbana	
(34) Precipitação (mm)				> 2000 por ano	> 3000 por ano	

Fonte: ZUQUETTE *et al.* (1994).

A análise integrada realizada considerando-se os atributos do meio físico e os atributos operacionais possibilitou classificar a área mapeada quanto às características de adequabilidade necessárias para a disposição de resíduos sólidos, nas seguintes classes:

- **Favorável:** os atributos apresentam condições que facilitam e favorecem a implantação de aterros sanitários para a adequada disposição de resíduos, e que exigirão investigações rotineiras de baixo custo e reúnem condições de baixa probabilidade de problemas ambientais.
  
- **Moderada:** existem alguns atributos que não apresentam níveis adequados para a disposição de resíduos, e as investigações geológico-geotécnicas devem ser cuidadosas. Porém correções tecnológicas para a sua utilização podem ser realizadas com baixos custos e recursos tecnológicos comuns.
  
- **Inadequada:** a maioria dos atributos da área não apresentam níveis adequados para a disposição de resíduos. Recursos tecnológicos muito especiais e altos custos são necessários para a adequação da área. Sua ocupação pode provocar desastrosos impactos ambientais.

A classificação adotada quanto à adequabilidade de áreas para a disposição de resíduos sólidos, foi modificada de ZUQUETTE (1987) e ZUQUETTE *et al.* (1994).

Segundo os autores citados, o agrupamento de atributos nas classes favorável, moderada, severa e restritiva (Quadro 10) é uma aproximação que objetiva facilitar a separação das áreas mais adequadas para esta finalidade. A definição dos níveis que separam as classes da cada atributo foi idealizada em função das características do meio físico brasileiro, onde há um predomínio do clima tropical e manto de alteração com espessuras que podem atingir mais de 50 metros.

Foi realizada uma alteração na classificação proposta a fim de atender de forma objetiva à finalidade do trabalho. Desta forma, a classe “severa” foi



suprimida, em função de que as características desta classe se assemelham muito com as especificidades da classe “moderada”, dificultando a delimitação adequada entre ambas na prática. As classes “favorável” e “moderada” foram mantidas, por serem bem delimitadas e caracterizadas de acordo com as características da área, e a classe “restritiva” foi substituída pela classe “inadequada”, cuja terminologia melhor se enquadra para especificar áreas não adequadas para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.

### **3.2.1. ATRIBUTOS SELECIONADOS**

#### **3.2.1.1. ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO**

Segundo ZUQUETTE & GANDOLFI (1992) é importante se efetuar uma seleção dos atributos do meio físico a serem trabalhados, de acordo com as características da área e a finalidade proposta. Para a finalidade específica de disposição de resíduos sólidos, foram selecionados doze atributos considerados fundamentais e cinco atributos considerados secundários (Quadro 12).

QUADRO 12: Atributos do meio físico considerados essenciais para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.

ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO	RESÍDUOS SÓLIDOS	
	FUNDAMENTAIS	SECUNDÁRIOS
Litotipo / Grupo litológico	x	
Profundidade do substrato rochoso	x	
Textura do material inconsolidado	x	
Mineralogia do material inconsolidado	x	
Presença de blocos de rocha	x	
C.T.C. (Capacidade de troca catiônica)	x	
Expansibilidade		x
Compressibilidade		x
Características de compactação	x	
Nível da água subterrânea (N.A.)	x	
Direção do fluxo da água superficial e/ou subterrânea	x	

Permeabilidade	x	
Declividade	x	
<i>Landforms</i>	x	
Dados climáticos		x
Fraturamento estrutural		x
Bacias hidrográficas		x

Fonte: ZUQUETTE & GANDOLFI (1992).

Estes atributos fazem parte da metodologia específica de mapeamento geotécnico para a disposição de resíduos sólidos voltada para as condições brasileiras, proposta por ZUQUETTE *et al.* (1994), em que as características do meio físico são classificadas de acordo com seu grau de adequabilidade em intervalos definidos de variação.

A seleção dos atributos a serem considerados na área de trabalho seguiu o princípio de hierarquização, que, segundo ZUQUETTE *et al.* (1997), é um procedimento fundamental que permite a definição e a delimitação de áreas com grande segurança, e que deve obedecer aos seguintes princípios:

- Seleção dos atributos que devem ser tratados e os quais têm significado para a região em análise;
- Definição da real importância dos atributos e de seus limites para os fins da análise.

Os atributos do Quadro 12 foram analisados, dentre aqueles considerados fundamentais e secundários para a adequada disposição de resíduos sólidos, de forma a destacar os que poderiam ser controladores e que melhor caracterizassem a área de estudo. Desta forma foram avaliados nove atributos (Quadro 13), considerando-se as sugestões efetuadas por ZUQUETTE & GANDOLFI (1992). São eles: litologia e profundidade do substrato rochoso; textura, características de compactação e permeabilidade dos materiais inconsolidados; *landforms*; declividade; nível da água subterrânea (N.A.) e distância das redes de drenagem.

Os nove atributos que foram avaliados na área encontram-se representados no Quadro 13.

Quadro 13: Atributos do meio físico avaliados e suas classes de adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos na área.

ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO AVALIADOS (FUNDAMENTAIS)	CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS (RESÍDUOS SÓLIDOS)		
	FAVORÁVEL	MODERADA	INADEQUADA
(1) Litologia	Mica xistos e Granitóides	NE	NE
(2) Profundidade do substrato rochoso (m)	> 10	10 - 5	< 5
(2) Textura do material Inconsolidado (Tipo de material inconsolidado)	Argilo-arenosa CSR	Areno-siltosa RGAxq RGR RGP	Arenosa DACI
(3) Características de compactação (Tipo de material inconsolidado)	Adequado CSR	Adequado RGR e RGP	Inadequado RGAxq e DACI
(%) de minerais micáceos	< 2	2 - 10	> 10
(5) Permeabilidade estimada* para solos naturais (cm/s) (Ordem de grandeza)	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-3} < 10^{-4}$	$> 10^{-3}$
(6) <i>Landforms</i>	Platôs e encostas suaves	Interflúvios moderadamente estreitos e encostas moderadamente íngremes	Interflúvios muito estreitos, planícies de inundação, terraços fluviais e encostas muito íngremes
(7) Declividade estimada** (%)	2 - 5	> 5 - 10	< 2 e > 10
(8) Nível da água subterrânea (N.A.) estimado*** em relação à base do aterro (m)	> 10	5 - 10	< 5
(9) Distância da rede de drenagem (m)	$\geq 300$	< 300 - 200	< 200

Fonte: Adaptado de ZUQUETTE *et al.* (1994).

Obs.: NE: não encontrado na área.

RGAxq: Residuais do Grupo Araxá.

RGP: Residuais de Granitóides.

RGR: Residuais de Granitóides de Pequena Espessura.

CSR: Cobertura de Superfícies Residuais.

DACI: Depósitos Aluvionares - Coluvionares Indiferenciados.

\* : Segundo CASAGRANDE & FADUM (1940). In: U.S.D.I.B.R. (1987).

\*\* : Segundo ZUQUETTE (1987) & ZUQUETTE *et al.* (1997).

\*\*\* : Segundo MARQUES (1999).

Entre os atributos não avaliados para a área de trabalho, considerados fundamentais por ZUQUETTE & GANDOLFI (1992) (Quadro 12), foram identificados o atributo blocos de rocha que não foi considerado, uma vez que não

apresenta representatividade na área de estudo, e, portanto, não irá influenciar na análise proposta; a direção do fluxo da água superficial e/ou subterrânea que não foi selecionado, uma vez que se encontra diretamente relacionado com outros atributos avaliados, como *landforms*, declividade e profundidade do N.A. e o atributo capacidade de troca catiônica que também não foi avaliado devido ao fato dos solos de países tropicais apresentarem valores de C.T.C., em geral, baixos e de não interferir diretamente na delimitação preliminar de áreas para a finalidade proposta.

Considerando-se os atributos não avaliados para a área, definidos como secundários por ZUQUETTE & GANDOLFI (*op. cit.*) (Quadro 12), foram identificados o atributo referente aos dados climáticos que não foi considerado em todos os seus aspectos por não existirem dados suficientes na área quanto às características, tipo e intensidade das chuvas registradas diariamente, sendo consideradas apenas as características inerentes à direção relativa dos ventos em relação à distância da zona urbana, devido aos odores gerados, e desta forma, foi avaliado como um atributo operacional para a disposição de resíduos sólidos (Quadro 16). O atributo bacias hidrográficas foi avaliado apenas no que concerne àquelas utilizadas para a captação de água para abastecimento urbano presentes na área (Córrego Feio e Córrego da Areia) (Anexo V), sendo, portanto, avaliado como um atributo operacional (Quadro 16). Neste caso, foi considerado como atributo do meio físico avaliado, a distância das redes de drenagem (Quadro 12), devido ao fato de que na escala de trabalho (1:25.000), a delimitação de bacias hidrográficas inviabilizaria o objetivo proposto. Os atributos expansibilidade e compressibilidade não foram selecionados por não interferirem diretamente na determinação da favorabilidade de áreas para a disposição de resíduos sólidos; e o atributo fraturamento estrutural não foi determinado, devido ao fato de que predominam na área materiais retrabalhados e materiais de alteração da rocha, e desta forma, a ocorrência de pequena quantidade de afloramentos de rocha não possibilita a obtenção deste atributo de acordo com uma malha de amostragem confiável.

Os atributos selecionados e avaliados no trabalho foram descritos segundo ZUQUETTE (1987) e LEITE & ZUQUETTE (1996), com adaptações efetuadas para atender as características da área mapeada.

□ **Substrato Rochoso**

▪ **Litologia**

Qualquer litologia que apresente alto coeficiente de permeabilidade deve ser evitada. O tipo de substrato é importante por indicar a ocorrência da real ou potencial existência de um aquífero livre e a sua espessura, quando possível. Áreas descobertas de material inconsolidado devem ser rigorosamente analisadas, principalmente com relação à permeabilidade. Rochas de granulação grossa não são adequadas por condições óbvias de permeabilidade e porosidade, com exceção das rochas que apresentem curva granulométrica bem graduada com pedregulho, areia e finos, que se comportam como filtros naturais de poluentes. Rochas pelíticas são as mais indicadas pois, devido à presença relativamente grande de finos, a permeabilidade terá valores muito baixos, como também haverá um retardamento da solução percolante devido à adsorção de íons pelas partículas de argila e pela dispersão hidrodinâmica.

▪ **Profundidade**

A profundidade e as características do substrato rochoso são de grande importância para que possíveis direções preferenciais de fluxo sejam determinadas, assim como o contato entre o material inconsolidado e o substrato, e algumas descontinuidades do maciço.

A profundidade favorável deve ser maior que 10 m. Espessuras de até 5m podem ser aceitas com restrições e menores do que 5m devem ser evitadas.

□ **Materiais Inconsolidados**

▪ **Textura**

Para ser utilizado na base do aterro, o material inconsolidado deve ter pelo menos um total de 25% de finos (silte e argilas). Os solos argilo-arenosos são os mais adequados, principalmente se apresentarem coeficientes de permeabilidade (K) com ordem de grandeza inserida no seguinte intervalo ( $10^{-6}$  cm/s  $< k < 10^{-4}$  cm/s). Solos grossos (pedregulhos e areias) não são indicados por serem muito porosos e permeáveis, porém solos com textura média, isto é, areno-argilosos ou areno-siltosos bem graduados, com baixa permeabilidade, especificada no intervalo acima, podem ser utilizados. Solos com alto teor de matéria orgânica são totalmente descartados, devido à alta compressibilidade, à baixa resistência ao cisalhamento e por estarem sujeitos à redução de volume decorrente dos processos de degradação da matéria orgânica.

Para que o material inconsolidado possa ser utilizado para recobrimento de aterros, pode-se considerar o Quadro 14.

QUADRO 14: Adequabilidade de diferentes tipos de solos para recobrimento de aterros sanitários.

<b>FUNÇÃO</b>	<b>SEIXO LIMPO</b>	<b>SEIXO SILTO-ARGILOSO</b>	<b>AREIA LIMPA</b>	<b>AREIA SILTO-ARGILOSA</b>	<b>SILTE</b>	<b>ARGILA</b>
Evitar a ação e a proliferação de animais e roedores, de esburacar o aterro	Boa	Razoável a boa	Boa	Medíocre	Medíocre	Medíocre
Evitar insetos	Medíocre	Razoável	Medíocre	Boa	Boa	Excelente
Minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro	Medíocre	Razoável a boa	Medíocre	Boa	Boa	Excelente
Minimizar a saída de gás	Medíocre	Razoável a boa	Medíocre	Boa a excelente	Boa a excelente	Excelente
Dar aspecto agradável ao aterro e evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Crescimento de Vegetação	Medíocre	Boa	Razoável a boa	Excelente	Boa a excelente	Razoável a boa

Fonte: ZUQUETTE (1987).

- **Características de Compactação**

Ensaio de compactação Proctor Normal são necessários para a delimitação de áreas que apresentem material inconsolidado compactado a ser utilizado como material de empréstimo para o recobrimento dos resíduos sólidos ou como camada de base para a fundação dos sítios de disposição.

Este atributo está relacionado com as características do material inconsolidado, desta forma, materiais granulares apresentam normalmente valores de massa específica seca máxima ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) elevados, devendo ser evitados para a utilização como camada de base de aterros. No entanto, estes materiais podem ser utilizados para outras finalidades, como por exemplo, material de pavimentação.

- **Permeabilidade**

Reflete a velocidade com que os líquidos fluem em materiais porosos. Está relacionada com a granulometria, mineralogia, gênese do material e características do líquido. Valores de  $k$  maiores que  $10^{-2}$  cm/s devem ser evitados por facilitarem o rápido movimento dos poluentes líquidos, podendo atingir o lençol freático em curto espaço de tempo. Neste caso, haverá a necessidade de se buscar uma solução técnica que minimize a infiltração, por exemplo, o uso de revestimentos de *liners*. Solos com  $k$  menor que  $10^{-6}$  cm/s também devem ser evitados, pois eles podem retardar o movimento dos poluentes e produzir a saturação do solo nas vizinhanças do terreno. O coeficiente  $k$  entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$  cm/s é o mais indicado por permitir a velocidade condutiva do fluxo para a degradação do poluente.

□ **Feições do Relevo**

▪ **Landforms**

Deve ser evitada a instalação de aterros sanitários no limite ou nas proximidades de dois *landforms* diferentes, pois essas áreas representam anomalias que podem alterar significativamente os outros atributos. Os platôs e as encostas suaves são favoráveis por geralmente apresentarem uma considerável espessura de cobertura inconsolidada. Os interflúvios muito estreitos e as encostas muito íngremes devem ser evitados por apresentarem pouca ou nenhuma espessura de material inconsolidado. As planícies de inundação e os terraços fluviais são inadequados devido à sua localização (próximo às drenagens), com declividade quase sempre inferior a 2%, e por apresentarem, em geral, nível d'água muito raso.

▪ **Declividade**

Áreas com declividades de 2-5% são consideradas favoráveis e 5-10% moderadas. Enquanto que áreas com declividades inferiores a 2% devem ser evitadas, pois aumentam a infiltração das águas pluviais, aliado ao fato de que o escoamento superficial dessas águas não é eficiente, formando-se áreas alagadiças e a captação do chorume não é favorecida. Declividades superiores a 10%, também devem ser evitadas, pois são mais susceptíveis à erosão, a movimentos de massa gravitacionais e a percolação de chorume, além de serem menos favoráveis ao movimento das máquinas.

Este atributo foi estimado segundo ZUQUETTE (1987) & ZUQUETTE *et al.* (1997), (Quadro 15), devido à ausência de mapas topográficos em escala compatível com a escala adotada, estimado segundo uma análise dos *landforms* através de métodos de fotointerpretação e verificações de campo.



□ Água

▪ Nível da Água (N.A.)

A profundidade do nível da água considerada equivale à distância máxima que o contaminante terá que percorrer até atingir a zona saturada. Envolve também o conhecimento da oscilação sazonal da água, bem como o gradiente espacial, velocidade e direção do fluxo. É recomendável que a base do aterro deva estar ao menos 10 m acima do N.A. mais alto, sendo que para materiais inconsolidados que não tenham a capacidade de retenção é recomendável o uso de uma base protetora (*liner*). A mesma recomendação é feita para situações em que o material inconsolidado não é adequado e possui espessura inferior a 10m. As flutuações do N.A. devem ser consideradas, pois quando a água atinge profundidades inferiores às estabelecidas no nível mínimo, pode diluir e transportar os compostos que se encontravam na zona não saturada, causando a contaminação do lençol freático. Em situações em que os solos apresentam espessuras inferiores a 10m e N.A. inferior a 15m, é necessário que as flutuações não atinjam valores superiores a 5 metros.

A escassez de dados do N.A. na área estudada dificultou a obtenção deste atributo, sendo necessário considerar que, segundo MARQUES (1999), nos locais onde a espessura do material inconsolidado fosse maior que 10m e estivesse próximo de drenagens, o N.A. estaria a menos de 5m de profundidade, caso contrário o N.A. estaria a mais de 5m de profundidade. Nos locais onde a espessura do material inconsolidado estivesse entre 5-10m e próximo de drenagens, o N.A. estaria entre 2-5m de profundidade, caso contrário o N.A. estaria a mais de 5m de profundidade. Nos locais onde a espessura do material inconsolidado estivesse entre 2-5m e próximo de drenagens, o N.A. estaria a menos de 2m de profundidade, caso contrário o N.A. estaria entre 2-5m de profundidade. Para os locais de ocorrência de material aluvionar e onde a espessura do material inconsolidado fosse menor que 2m, admitiu-se que o N.A. também poderia estar a menos que 2m de profundidade.

▪ **Distância da Rede Drenagem**

Estes dados são importantes para evitar a contaminação das redes de drenagem superficiais. Desta forma, considerando-se a disposição de resíduos sólidos, pode-se classificar as áreas como favoráveis, com distâncias maiores que 300m, moderadas entre 200m e 300m e inadequadas com distâncias inferiores a 200m.

ZUQUETTE & GANDOLFI (1990) e ZUQUETTE *et al.* (1997) orientam a forma de obtenção de vários atributos, dentre os quais destacam-se os nove atributos avaliados na área (Quadro 15).

QUADRO 15: Formas de obtenção dos atributos selecionados.

<b>ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO</b>	<b>FORMAS DE OBTENÇÃO</b>
1. Litologia	Fotointerpretação; Trabalhos de campo
2. Profundidades / Espessuras	Trabalhos de campo: cortes, tradagens; Fotointerpretação; Sondagens alternativas: penerômetro simples do tipo Boro; Trado mecânico-manual; Geofísica
3. Textura	Trabalhos de campo; Ensaio de granulometria
4. Características de Compactação	Ensaio
5. Permeabilidade	Trabalhos prévios; Estimativas / analogias; Observações de campo; Investigações em laboratório (ensaio)
6. <i>Landforms</i>	Fotointerpretação
7. Declividade	Mapa topográfico; Trabalhos de campo (inclinômetro); Fotogrametria / fotointerpretação
8. Profundidade do N.A. (Nível da Água)	Idem ao item 2; Trabalhos prévios
9. Distância da Drenagem	Fotointerpretação

Fonte: ZUQUETTE (1987) & ZUQUETTE *et al.* (1997).

### **3.2.1.2. ATRIBUTOS OPERACIONAIS<sup>12</sup>**

Podem conter, caso necessário, uma análise do meio físico, de forma a melhor caracterizá-los. Estes atributos podem tornar inadequadas áreas previamente delimitadas como sendo moderadas ou favoráveis para esta finalidade, devendo, portanto, serem considerados para a delimitação final da área.

De acordo com as características da área foram avaliados nove atributos operacionais, considerando-se a classificação de adequabilidade de áreas para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, definidas como: favorável, moderada e inadequada; mediante a distância destes atributos ao local delimitado para a construção do aterro sanitário (Quadro 16).

QUADRO 16: Atributos operacionais avaliados e suas classes de adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos na área.

ATRIBUTOS OPERACIONAIS	CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS DE ACORDO COM A DISTÂNCIA DO ATERRO SANITÁRIO (m)					
	FAVORÁVEL		MODERADA		INADEQUADA	
(1) Centro da cidade (raio de influência)	> 5000 - 10000		3000 - 5000 e > 10000 - 12000		< 3000 e > 12000	
(2) Bacias de captação de água para abastecimento urbano	Fora da área da bacia		---		Área da bacia	
(3) Áreas de extração mineral	> 2000		1000 - 2000		< 1000	
(4) Áreas ocupadas (zona urbana)	> 2000		1000 - 2000		< 1000	
(5) Estradas rodoviárias e estradas de ferro	> 250		100 - 250		< 100	
(6) Áreas Industriais	> 1000		500 - 1000		< 500	
(7) Aeroportos	> 2000		1000 - 2000		< 1000	
(8) Áreas de turismo, lazer e/ou proteção ambiental (APA)	> 2000		1000 - 2000		< 1000	
(9) Direção relativa dos ventos predominantes em relação à área urbana.	Contrária	Favorável	Contrária	Favorável	Contrária	Favorável
	> 1000	> 2000	500-1000	> 1000 - 2000	< 500	< 1000

<sup>12</sup>Atributos Operacionais: São fatores inerentes à operacionalidade da adequada disposição de resíduos sólidos, em função de atividades antrópicas e de infra-estrutura implementadas na área.

As áreas classificadas como favoráveis reúnem condições satisfatórias para a disposição de resíduos sólidos, desde que sejam respeitadas as limitações pertinentes aos atributos do meio físico. Os atributos considerados moderados necessitam ser avaliados com cautela em função das restrições oferecidas. Por outro lado, as áreas classificadas como inadequadas apresentam atributos com potencial de risco de poluição e contaminação do solo e da água, bem como transtornos para a população local, como odores desagradáveis e a presença de insetos, desaconselhando-se a construção de aterros sanitários nestes locais.

### **3.3. MATERIAIS UTILIZADOS**

Para a realização do trabalho em questão, foram utilizados todos os materiais disponíveis previamente produzidos, tanto na área de estudo, como na região como um todo. Estes materiais compreendem: trabalhos acadêmicos, diferentes tipos de mapas, fotografias aéreas com datas e escalas diferenciadas, bem como dados de investigação diversificados, a saber:

- Mapa topográfico do município de Araxá, publicado pelo IGA - Instituto de Geociências Aplicadas (1984), em escala 1:100.000. Foi utilizado para a composição da base cartográfica do trabalho (Anexo - II).
- Mapa geológico regional em escala 1:100.000 (SEER, 1999), abrangendo os municípios de Araxá, Perdizes, Sacramento e Ibiá. Foi empregado para auxiliar na elaboração do mapa de substrato rochoso da área de estudo (Anexo - III).
- 36 fotografias aéreas monocromáticas em escala 1:20.000 - Aerofotos Cruzeiro S.A., de 1998, e 08 fotografias aéreas em escala 1:25.000 do Instituto Brasileiro do Café – IBC, de 1979, correspondentes à faixa norte da área, perfazendo um total de 44 fotografias aéreas trabalhadas. As fotografias aéreas constituíram-se em um instrumento de fundamental importância para a obtenção de informações acerca do meio físico (atributos), através da aplicação de técnicas de fotointerpretação (SOARES & FIORI, 1976;

LOLLO, 1995), utilizando-se o estereoscópio durante a realização do trabalho, tanto em campo como em laboratório. Foram empregadas para a obtenção do fotomosaico georreferenciado da área (Anexo - I).

□ GPS (Global Position System) da marca Garmin<sup>TM</sup>, utilizado para a captura dos 161 pontos de controle em campo, com o intuito de ajustar as fotografias aéreas no processo de mosaicagem digital.

### **3.4. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA**

Ao longo do trabalho, produtos preliminares, intermediários e finais foram obtidos, de forma a possibilitar uma avaliação das técnicas e métodos propostos e sua adequação para se alcançar os objetivos da pesquisa.

Para a geração da carta geotécnica preliminar voltada para a disposição de resíduos sólidos a partir de dados obtidos através do mapeamento geotécnico realizado, propõe-se, como primeiro passo, o estabelecimento de uma seqüência de etapas de trabalho, conforme definida no fluxograma da Figura 4.

#### **□ Levantamento e Análise de Informações Existentes**

Consistiram no levantamento de materiais bibliográficos sobre mapeamento geotécnico, resíduos sólidos, aterro sanitário, perfis de alteração, atributos do meio físico e outros, bem como materiais cartográficos, tais como: mapas geológico e topográfico, obtidos na escala de 1:100.000, fotografias aéreas, nas escalas de 1:25.000 e 1:20.000 e outras informações da área estudada.

O levantamento de informações permitiu a definição dos procedimentos para o mapeamento geotécnico, voltado para a disposição de resíduos sólidos na área.

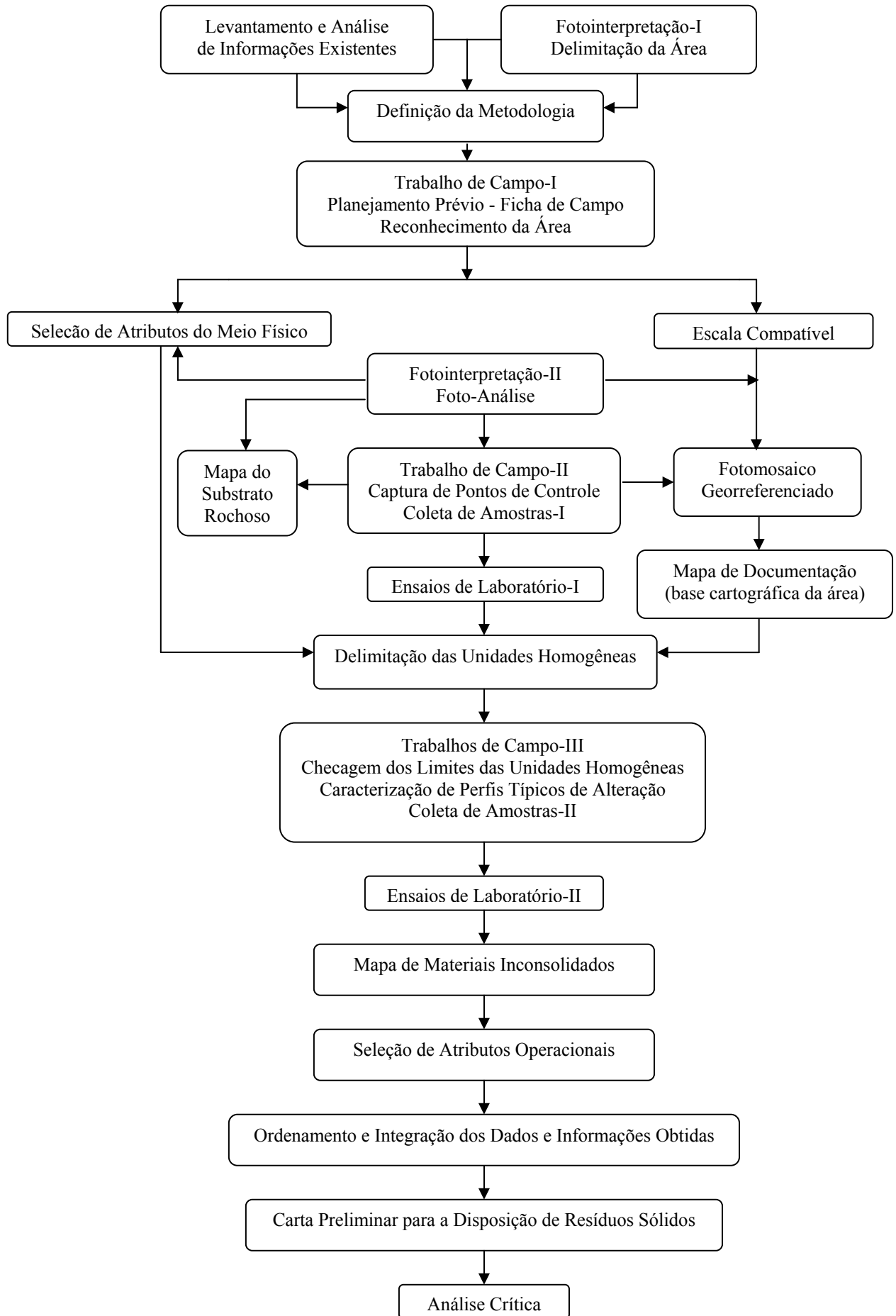


FIGURA 4: Fluxograma das etapas metodológicas adotadas para a realização de mapeamento geotécnico para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.

### □ **Fotointerpretação – I: Delimitação da Área**

Concomitante ao levantamento de materiais bibliográficos e cartográficos da área, realizou-se a primeira fase de fotointerpretação, que consistiu na delimitação da área de estudos, bem como em traçar os canais de drenagem e observar os tipos de acessos e sua localização na área, utilizando-se as 44 fotografias aéreas selecionadas.

### □ **Definição da Metodologia**

Foi selecionada a metodologia desenvolvida por ZUQUETTE (1987), uma vez que atende perfeitamente aos objetivos do trabalho em questão, devido ao fato de apresentar as seguintes características:

- Servir a multifinalidades, tais como: obras de engenharia, saneamento, agroindústrias, disposição de resíduos sólidos, etc.;
- Permitir o acréscimo de informações;
- Apresentar baixos custos;
- Aplicar-se à grande diversidade do meio físico e à extensão territorial da área;
- Fornecer informações úteis à proteção do meio ambiente;
- Auxiliar no desenvolvimento de projetos específicos (por exemplo, irrigação);
- Fornecer informações aos administradores públicos relativos à orientação da ocupação do solo;
- Realizar amostragens dirigidas dentro da área e em cada unidade considerada homogênea;
- Desenvolver-se satisfatoriamente para áreas pequenas ( $< 750 \text{ km}^2$ ), com o objetivo de selecionar as áreas problemáticas e orientar a ocupação regional e urbana (escalas entre 1:50.000 e 1:10.000);
- Ter sido testada com resultados satisfatórios em várias regiões do território brasileiro e em trabalhos com objetivos similares.

## □ **Trabalho de Campo - I**

Os trabalhos de campo foram realizados em três etapas distintas, com o objetivo de sanar dúvidas sobre o processo de fotointerpretação efetuado previamente e, sobretudo, caracterizar os componentes do meio físico, através da descrição dos tipos litológicos e das unidades homogêneas de materiais inconsolidados, amostrar os diferentes tipos de materiais inconsolidados que ocorrem nos perfis de alteração, bem como realizar a captura de pontos de controle com o G.P.S., de forma a possibilitar o georreferenciamento da área.

### ▪ **Planejamento Prévio - Elaboração de uma Ficha de Campo**

Foi elaborada uma ficha de campo (Figura 5), contendo todos os aspectos referentes aos atributos do meio físico a serem observados e avaliados para a finalidade do trabalho, com o objetivo de registrar estes atributos e as suas características, de forma a facilitar e agilizar as anotações das observações efetuadas em campo. Posteriormente, viabilizou-se um roteiro seqüencial para o levantamento de campo, através de um zoneamento fotogeológico, de forma a contemplar a quantidade de etapas e locais propícios para a coleta de amostras, além de contribuir com a minimização do tempo necessário para esta atividade.

### ▪ **Reconhecimento da Área**

Nesta etapa foi realizado um reconhecimento prévio da área, de forma a observar as principais litologias, bem como os tipos e características tátil-visuais dos materiais inconsolidados presentes, aliado a uma visão geral dos *landforms* e padrões de drenagem presentes na área de estudo.



### FICHA DE CAMPO

DATA:	/ PONTO (N <sup>o</sup> ):	/ FOTO (N <sup>o</sup> ):
LOCALIZAÇÃO:		
COORDENADAS (GPS):		
AMOSTRAS (TIPO): DEFORMADA <input type="checkbox"/> (N <sup>o</sup> ): _____ / INDEFORMADA <input type="checkbox"/> (N <sup>o</sup> ): _____		
MATERIAL COLETADO: AFLORAMENTO NATURAL <input type="checkbox"/> / CORTE DE ESTRADA <input type="checkbox"/> / TRADAGEM <input type="checkbox"/>		
LANDFORMS: PLANO <input type="checkbox"/> / SUAVE ONDULADO <input type="checkbox"/> / ONDULADO <input type="checkbox"/> / ESCARPADO <input type="checkbox"/>		
COBERTURA VEGETAL: NATURAL <input type="checkbox"/> / AGRICULTURA PERENE <input type="checkbox"/> / REFLORESTAMENTO <input type="checkbox"/> / PASTAGEM <input type="checkbox"/>		
ÁREAS DESCOBERTAS: AGRICULTURA TEMPORÁRIA <input type="checkbox"/> / ZONA URBANA <input type="checkbox"/> / MINERAÇÃO <input type="checkbox"/>		
MOVIMENTO DE TERRENOS : TRANSLACIONAL <input type="checkbox"/> / ROTACIONAL <input type="checkbox"/>		
PROCESSOS EROSIVOS: ESCORREGAMENTO <input type="checkbox"/> / EROÇÃO LAMINAR <input type="checkbox"/>		
FEIÇÕES EROSIVAS: SULCOS <input type="checkbox"/> / RAVINAS <input type="checkbox"/> / VOÇOROCAS <input type="checkbox"/>		
FEIÇÕES DEPOSICIONAIS: COLÚVIO <input type="checkbox"/> / TALUS <input type="checkbox"/> / CONE DE DEJEÇÃO <input type="checkbox"/> / DEPÓSITO DE CANAL "STRICTU SENSU" <input type="checkbox"/> / PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO <input type="checkbox"/>		
EXPOSIÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO: VEREDAS <input type="checkbox"/> / CAMPO DE MURUNDUS <input type="checkbox"/> / PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO <input type="checkbox"/> / BASE DE FEIÇÕES EROSIVAS <input type="checkbox"/>		
PROFUNDIDADE DO N. A. (m): OBSERVADO <input type="checkbox"/> : _____ / ESTIMADO <input type="checkbox"/> : _____		
<u>SUBSTRATO ROCHOSO</u>		
LITOLOGIAS: MICAXISTO <input type="checkbox"/> / QUARTZITO <input type="checkbox"/> / FILITO <input type="checkbox"/> / GNAISSE <input type="checkbox"/> / OUTROS: _____		
ASSOCIAÇÃO: _____ / CONTATO: GRADACIONAL <input type="checkbox"/> / BRUSCO <input type="checkbox"/>		
UNIDADES: GRUPO ARAXÁ <input type="checkbox"/> / GRUPO IBIÁ <input type="checkbox"/> / COMPLEXO GRANITO-GNÁISSICO <input type="checkbox"/> / COMPLEXO ALCALINO CARBONATÍTICO <input type="checkbox"/> / OUTROS: _____		
ESTRUTURAS: FRATURAS <input type="checkbox"/> / FALHAS <input type="checkbox"/> / DOBRAS <input type="checkbox"/> ATITUDE: _____		
GRAUS DE COERÊNCIA: EXTREMAMENTE RESISTENTE (C1A) <input type="checkbox"/> / MUITO RESISTENTE (C1B) <input type="checkbox"/>		
RESISTENTE (C2) <input type="checkbox"/> / MEDIANAMENTE RESISTENTE (C3) <input type="checkbox"/> / ROCHA BRANDA (C4) <input type="checkbox"/>		
MUITO BRANDA (C5A) <input type="checkbox"/> / EXTREMAMENTE BRANDA (C5B) <input type="checkbox"/>		
OBSERVAÇÕES: _____		
_____		
<u>MATERIAL INCONSOLIDADO</u>		
GÊNESE: RESIDUAL <input type="checkbox"/> / TRANSPORTADO: COLÚVIO <input type="checkbox"/> / ALUVIÃO <input type="checkbox"/> / TALUS <input type="checkbox"/>		
TEXTURA: ARENOSA <input type="checkbox"/> / ARENO-ARGILOSA <input type="checkbox"/> / ARGILO-ARENOSA <input type="checkbox"/> / ARGILOSA <input type="checkbox"/> / SILTOSA <input type="checkbox"/>		
MINERALOGIA: QUARTZO <input type="checkbox"/> / FELDSPATO <input type="checkbox"/> / MICA <input type="checkbox"/> (TIPO): _____		
MINERAIS PESADOS <input type="checkbox"/> : _____ / MINERAIS SECUNDÁRIOS <input type="checkbox"/> : _____		
FRAGMENTOS DE ROCHA <input type="checkbox"/> (TIPO): _____		
GRAU DE ALTERAÇÃO: ROCHA SÃ <input type="checkbox"/> / POUCO ALTERADA <input type="checkbox"/> / ALTERADA MODERADAMENTE <input type="checkbox"/>		
/ ALTAMENTE ALTERADA <input type="checkbox"/> / ALTERADA COMPLETAMENTE <input type="checkbox"/> / SOLO <input type="checkbox"/>		
PERFIL DE ALTERAÇÃO / DESCRIÇÃO DE SEÇÕES-TIPO: _____		
CONTINUIDADE VERTICAL: HOMOGÊNEO <input type="checkbox"/> / HETEROGÊNEO <input type="checkbox"/> (N <sup>o</sup> DE CAMADAS): _____		
DESCRIÇÃO (BASE → TOPO): _____		
_____		
_____		
CONTINUIDADE LATERAL / RELAÇÕES ESPACIAIS: _____		
_____		
_____		
ESPESSURA (m): _____ / COR: _____		
OBSERVAÇÕES: _____		
_____		
_____		

FIGURA 5: Ficha de Campo elaborada para facilitar o registro dos principais aspectos característicos de um perfil de alteração, para a finalidade de mapeamento geotécnico.

Os limites utilizados para a detecção tanto do grau de coerência dos litotipos registrados, como do grau de alteração dos perfis das unidades homogêneas de materiais inconsolidados observados foram efetuados segundo os Quadros 17 e 18, respectivamente.

QUADRO 17: Graus de Coerência.

SIGLA	ROCHA	CARACTERÍSTICAS
C 5	Extremamente Branda	Marcada pela unha.
	Muito branda	Esmigalha-se sob impacto da ponta do martelo de geólogo; pode ser raspada com canivete.
C 4	Branda	Pode ser raspada por canivete com dificuldade; marcada por firme pancada com a ponta do martelo de geólogo.
C 3	Medianamente Resistente	Não pode ser raspada por canivete; amostras podem ser fraturadas com um único golpe do martelo de geólogo.
C 2	Resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturarem-se.
C 1	Muito Resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturarem-se.
	Extremamente Resistente	Amostras podem ser apenas lascadas com o martelo de geólogo.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (1983).

QUADRO 18: Classificação de estado de alteração para perfis homogêneos de materiais.

GRAU DE ALTERAÇÃO	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS	INTERVALO
I - Sã	Inalterada em relação ao estado original.	Rocha
II - Pouco Alterada	Fragmentação e descoloração fracas.	Rocha
III - Alterada Moderadamente	Consideravelmente fragmentada, descoloração penetrativa, blocos maiores não quebradas com a mão.	Rocha alterada
IV - Altamente Alterada	Blocos podem ser quebrados com a mão, não há empastilhamento imediato quando imerso em água.	Rocha alterada
V - Alterada Completamente	Consideravelmente fragmentado, empastilhado, conserva estruturas reliquias da textura original.	Solo
VI - Solo	Solo derivado de alteração <i>in situ</i> e que não contenha nenhuma evidência de textura ou fábrica.	Solo

Fonte: LOLLO & ZUQUETTE (1996).  
Modificado de Geological Society (1965).

□ **Seleção de Atributos do Meio Físico**

Conforme a relação de atributos considerados essenciais para a finalidade de disposição de resíduos sólidos selecionados por ZUQUETTE & GANDOLFI (1992) constante no Quadro 12, efetuou-se a seleção de 09 atributos do meio físico a serem obtidos e avaliados no mapeamento geotécnico da área mapeada (Quadro 13), em função da sua importância para a finalidade proposta e possível obtenção na área, a saber: profundidade do nível d'água (N.A.); distância das redes de drenagem; características dos materiais inconsolidados, como: textura, características de compactação e permeabilidade; profundidade e características do substrato rochoso; declividade e *landforms*.

Considerando-se os atributos a serem trabalhados, foi efetuada uma relação dos atributos já levantados, tais como: litologia do substrato rochoso (mapa geológico, escala 1:100.000) SEER (1999), padrão das bacias hidrográficas e densidade dos canais de drenagem superficial (mapa topográfico, escala 1:100.000) IGA (1984), dentre outros.

□ **Escala compatível**

O mapeamento geotécnico da área, foi efetuado na escala 1:25.000, tendo como base referencial 44 fotografias aéreas em uma área com 290 km<sup>2</sup>, do município de Araxá, enquadrando-se, portanto, na proposta metodológica para áreas pequenas (< 750km<sup>2</sup>), com escalas entre 1:50.000 e 1:10.000 (ZUQUETTE, 1987).

□ **Fotointerpretação - II: Foto-Análise**

Esta etapa contemplou a interpretação e a análise de 08 fotografias aéreas na escala de 1:25.000 (1979) da faixa norte e 36 fotografias aéreas na escala de 1:20.000 (1998) perfazendo o restante da área; através da análise

dos elementos de textura<sup>13</sup> e de suas estruturas<sup>14</sup>, bem como, dos canais de drenagem e morfologia das encostas nas imagens. Para tanto, foram utilizados métodos de fotointerpretação como os sistematizados por SOARES & FIORI (1976) e LOLLO (1995).

□ **Trabalho de Campo - II**

▪ **Captura de Pontos de Controle**

Foram capturados um total de 161 pontos de controle em campo (Figuras 7 e 8), com o auxílio do G.P.S. (Global Position System). A captura dos pontos foi efetuada em locais previamente identificados com precisão nas fotografias aéreas e bem delimitados em campo. Os pontos de controle capturados foram extremamente importantes para a elaboração do fotomosaico georreferenciado (Anexo I), bem como para a geração da base cartográfica da área de estudo (Mapa de Documentação - Anexo II), uma vez que possibilitaram ajustes mais precisos dos mapas gerados.

▪ **Coleta de Amostras - I**

Esta etapa compreendeu a coleta de 10 amostras deformadas (20 kg) de cada ponto de amostragem previamente definido, consistindo de materiais inconsolidados representativos da área. As amostras foram coletadas em cortes de estrada e fundos de vales fluviais, perfazendo um total de 04 amostras de materiais residuais de mica xisto do Grupo Araxá, 03 amostras de materiais de Cobertura de Superfícies Residuais, 01 amostra de materiais Residuais dos Granitóides, 01 amostra de materiais Residuais dos Granitóides de Pequena

---

<sup>13</sup>Elemento de Textura: menor superfície contínua e homogênea, distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição (SOARES & FIORI, 1976).

<sup>14</sup>Estrutura: lei que exprime ou define o padrão de organização no espaço dos elementos texturais. O arranjo dos elementos texturais pode apresentar-se com uma disposição ordenada ou aleatória. (SOARES & FIORI, 1976).

Espessura e 01 amostra de material Aluvionar - Coluvionar Indiferenciado, para posterior análise em laboratório.

A quantidade de amostras coletadas nas unidades homogêneas delimitadas foi determinada em função da representatividade desses materiais na área de estudo, variando de forma proporcional à sua ocorrência. Estas amostras foram coletadas em locais previamente definidos, para posterior análise em laboratório.

#### □ **Elaboração do Fotomosaico Georreferenciado**

Foi realizado o georreferenciamento individual de cada fotografia aérea, através da utilização do software ENVI 3.5. A próxima etapa correspondeu à geração do fotomosaico no ambiente do Corel Draw 11. Esta etapa constituiu-se na acomodação das fotografias aéreas de acordo com a concordância das feições de relevo e objetos similares. Para a realização de tal propósito foram utilizadas ferramentas de edição gráfica que ajustaram as feições similares, formando cenas que compreendem o fotomosaico (Figura 6).

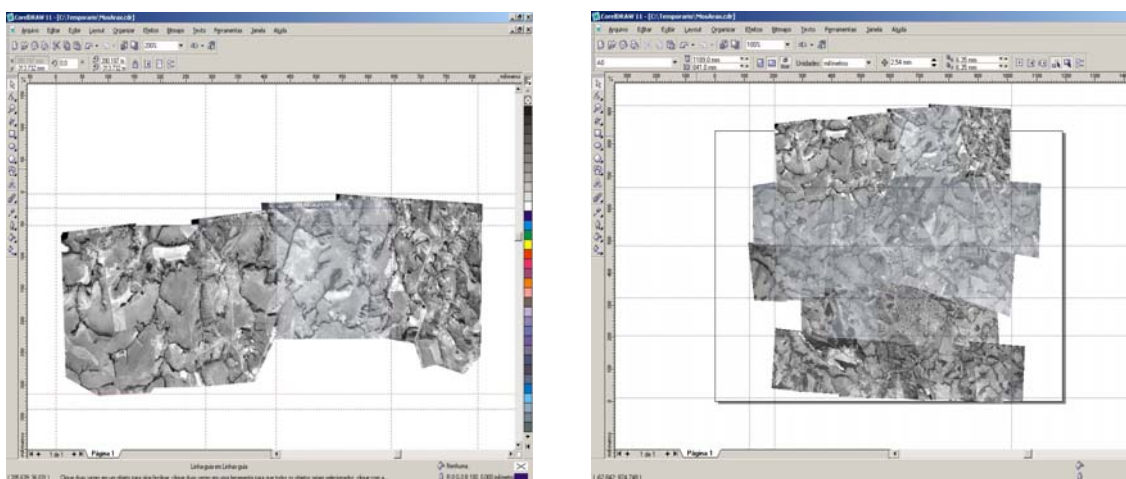


FIGURA 6: Visão prévia do fotomosaico (direita) e imagem de detalhe da porção norte do fotomosaico (esquerda), exemplificando o processo de acomodação das feições.

Para a geração do fotomosaico georreferenciado foram utilizados 74 pontos de controle de maior precisão, dos 161 pontos capturados com o auxílio do G.P.S. em campo. Para a realização do registro fez-se necessário a escolha de

“pontos de controle”, que consistem em pontos previamente definidos nas fotografias aéreas e posteriormente capturados em campo com o auxílio do G.P.S. e a distribuição destes de forma homogênea na área de interesse (Figuras 7 e 8).

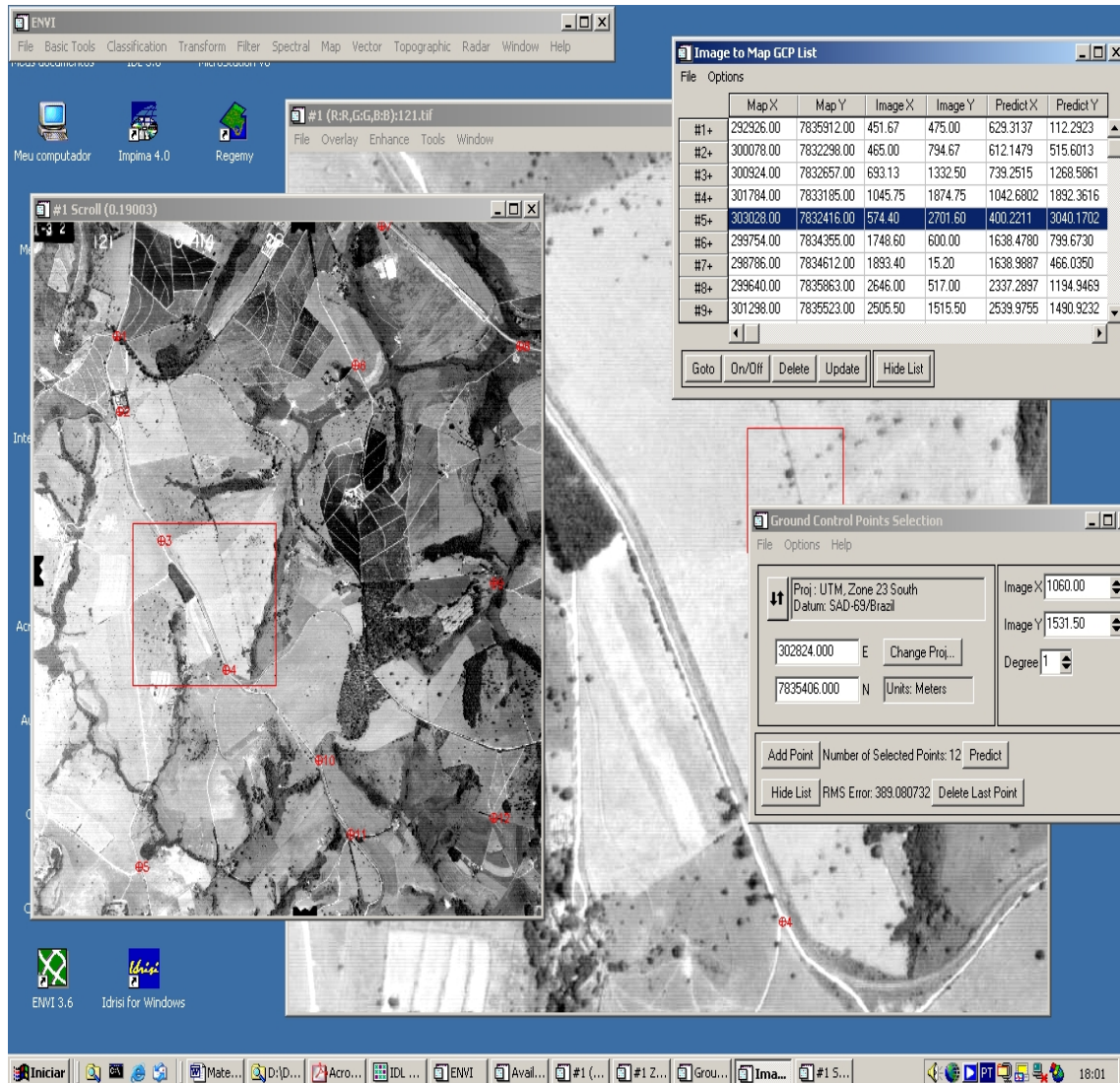


FIGURA 7: Imagem mostrando a localização de pontos de controle em uma fotografia aérea.

The screenshot displays the ENVI 3.5 interface with a mosaic of aerial photographs. A red box highlights a specific area in the top-left corner of the mosaic. The 'Ground Control Points Selection' dialog box is open, showing the following settings:

- Proj: UTM, Zone 23 South
- Datum: SAD-69/Brazil
- Image X: 2222.00
- Image Y: 2659.00
- Units: Meters
- Number of Selected Points: 74
- RMS Error: 58.507331

The 'Map GCP List' table is also visible, showing the following data:

#	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y
#1+	288448.00	7839198.00	1631.60	2593.00	1642.7863	2624.9439
#2+	289018.00	7840055.00	1967.60	2199.40	1957.7763	2213.4646
#3+	288826.00	7841018.00	1900.00	1782.20	1891.5631	1763.2720
#4+	288685.00	7841694.00	1837.50	1470.50	1842.0444	1447.8366
#5+	289266.00	7838193.00	2017.33	3035.67	2023.9805	3087.5882
#6+	292168.00	7839400.00	3491.33	2389.67	3527.0823	2477.3346
#7+	299906.00	7843155.00	7541.50	449.17	7534.7171	512.2489
#8+	300826.00	7842694.00	7993.33	713.83	7985.3515	720.5679
#9+	301565.00	7842702.00	8357.50	745.83	8357.5526	700.9450

The bottom part of the screenshot shows a semi-detailed view of the same area, with a larger red box highlighting a different region. The 'Ground Control Points Selection' dialog box is again open, showing the same settings as above. The 'Map GCP List' table is also visible, showing the same data as above.

FIGURA 8: Detalhe e semi-detalhe dos pontos de controle capturados em campo e representados no fotomosaico no ambiente do ENVI 3.5.

Após a geração do fotomosaico georreferenciado, este foi exportado para o software Spring 4.0, no qual se importou a imagem para posterior exportação para o software de CAD Map 2.000, para se efetuar a diagramação da carta imagem, contendo o fotomosaico georreferenciado (Figura 9).

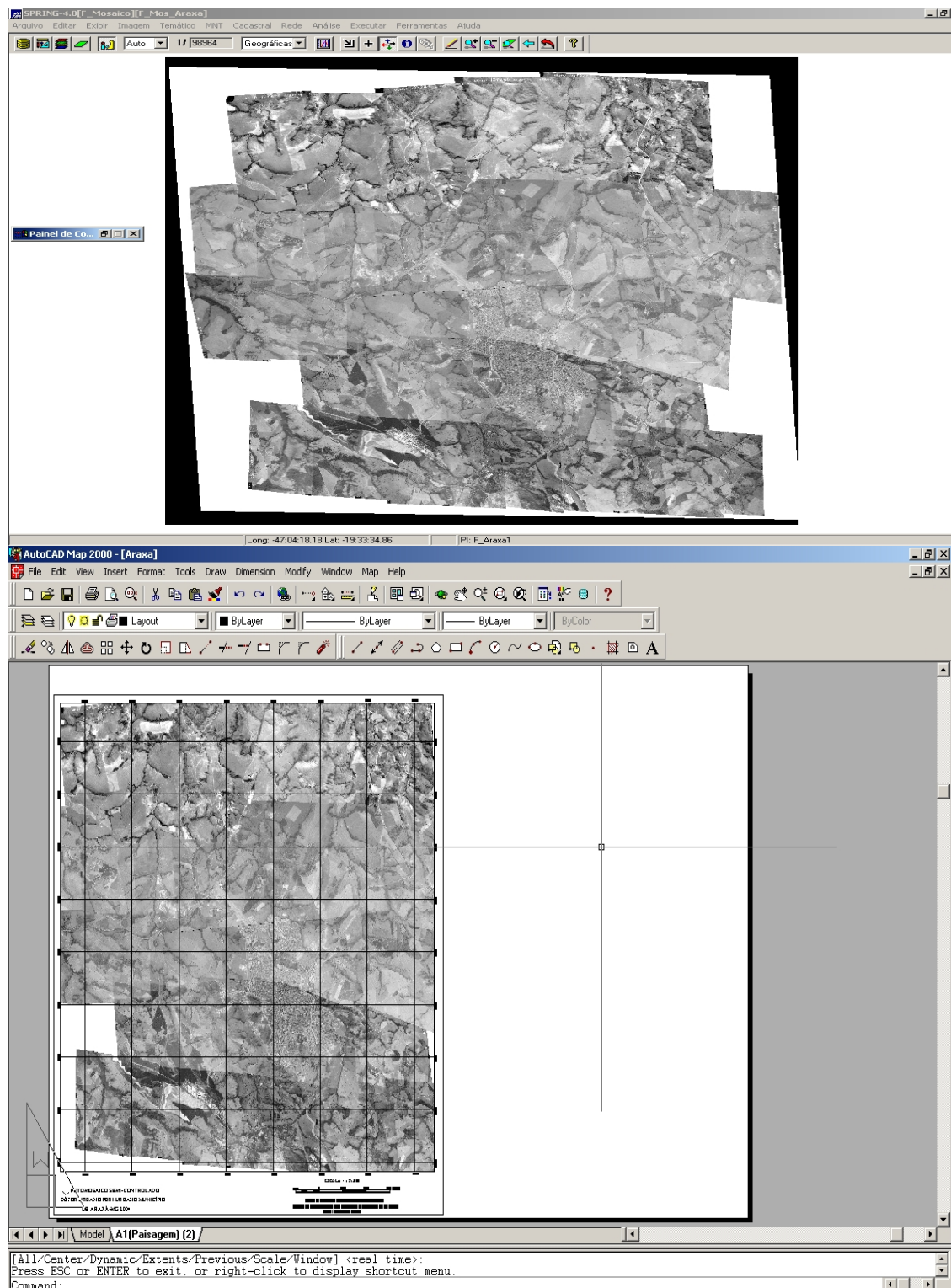


FIGURA 9: Fotomosaico georreferenciado em ambiente Spring 4.0, para posterior exportação para o ambiente do Auto CAD Map 2.000, para diagramação.



A elaboração do fotomosaico georreferenciado na escala 1:25.000 (Anexo I) constituiu-se em um procedimento alternativo, necessário para a geração da base cartográfica da área (Mapa de Documentação / Anexo - II), na mesma escala, devido à inexistência de mapas topográficos do município em escalas maiores que 1:100.000. A ausência de material cartográfico da área em escala adequada à finalidade do trabalho dificultou bastante a obtenção de alguns atributos do meio físico, como por exemplo, a determinação das declividades do terreno.

□ **Elaboração do Mapa de Documentação (Base Cartográfica da Área)**

A partir da geração do fotomosaico georreferenciado da área, dados do meio físico, como: redes de drenagem, estradas rodoviárias, estradas de ferro e zona urbana, foram delimitados para a elaboração do Mapa de Documentação, na escala 1:25.000 (Anexo II), utilizado como base cartográfica da área, sendo necessário para a produção dos mapas fundamentais: Mapa do Substrato Rochoso (Anexo III) e Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV) e da carta derivada: Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos (Anexo V).

□ **Elaboração do Mapa do Substrato Rochoso**

A partir de procedimentos de fotointerpretação, aliados a trabalhos de campo e informações obtidas nas etapas anteriores, bem como do mapeamento geológico efetuado por SEER (1999), elaborou-se o Mapa do Substrato Rochoso, em escala 1:25.000 (Anexo III), no qual foram individualizadas as litologias características da área, a saber: Grupo Araxá representado por mica xistos, mica xistos granadíferos, mica xistos com quartzitos subordinados, e calcifilitos com mica xistos e quartzitos subordinados, Granitóides e o Complexo Alcalino-Carbonatítico.

□ **Ensaio de Laboratório - I**

O objetivo de se efetuar ensaios nas amostras deformadas coletadas foi para permitir uma melhor diferenciação e individualização das unidades homogêneas através de uma análise das características dos índices físicos considerados. Os resultados obtidos em laboratório e por fórmulas de correlação forneceram informações dos materiais inconsolidados quanto a características de granulometria conjunta, compactação: massa específica seca máxima ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) e umidade ótima ( $w_{ot}$ ), e limites de consistência: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) (Tabelas 1 e 2).

□ **Delimitação das Unidades Homogêneas**

Através de procedimentos de fotointerpretação, aliados a trabalhos de campo e ensaios de laboratório, foi possível a delimitação de 05 unidades homogêneas de materiais inconsolidados na área (Tabelas 1 e 2), perfazendo um total de 03 unidades de materiais inconsolidados residuais: Residuais do Grupo Araxá, Residuais dos Granitóides e Residuais de Pequena Espessura dos Granitóides e 02 unidades de materiais inconsolidados retrabalhados: Cobertura de Superfícies Residuais e Depósitos Aluvionares - Coluvionares Indiferenciados.

Segundo ZUQUETTE (1987), as unidades homogêneas de materiais inconsolidados consistem em unidades geotécnicas delimitadas que apresentam graus de heterogeneidade mínimos aceitáveis, de acordo com a escala de trabalho.

□ **Trabalho de Campo - III**

▪ **Checagem dos Limites das Unidades Homogêneas**

Consistiu na delimitação mais precisa dos contatos, tanto geológicos, como das unidades homogêneas de materiais inconsolidados. Estas últimas foram

caracterizadas em campo por identificação táctil-visual e observação quanto aos graus de seleção, arredondamento, esfericidade e mineralogia dos grãos.

▪ **Caracterização de Perfis Típicos de Alteração**

Em locais considerados representativos de cada unidade homogênea foram elaborados perfis geológico-geotécnicos típicos (Anexo IV), onde algumas informações de campo foram incluídas, de forma a facilitar o entendimento da área estudada e possibilitar a definição mais precisa, dos locais de coleta de amostras representativas de cada nível de alteração em um mesmo perfil vertical. Desta forma, foi efetuado um detalhamento das variações verticais que ocorrem nos perfis, aliado as observações locais, com o intuito de melhor caracterizar as unidades delimitadas.

▪ **Coleta de Amostras - II**

Foram coletadas 14 amostras deformadas (20 kg cada), perfazendo 04 amostras de materiais residuais de mica xisto do Grupo Araxá, 05 amostras de materiais de Cobertura de Superfícies Residuais, 02 amostras de materiais Residuais dos Granitóides, 02 amostras de materiais Residuais dos Granitóides de Pequena Espessura e 01 amostra de material Aluvionar - Coluvionar Indiferenciado.

Nesta etapa de campo foram coletadas 10 amostras indeformadas, através do Método do Anel Volumétrico (ZUQUETTE, 1987), sendo 03 amostras de materiais residuais de mica xistos do Grupo Araxá, 04 amostras de materiais de Cobertura de Superfícies Residuais, 01 amostra de material Residual de Granitóides, 01 amostra de material Residual de Granitóides de Pequena Espessura e 01 amostra de material Aluvionar - Coluvionar Indiferenciado.

## □ **Ensaio de Laboratório - II**

Nesta etapa foram realizados ensaios em laboratório das amostras coletadas na fase anterior. As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação dos seguintes índices físicos: massa específica aparente de campo ( $\rho_{(aparente)}$ ); massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ); massa específica seca de campo ( $\rho_{d(campo)}$ ); umidade de campo ( $w_{(campo)}$ ); grau de compactação (GC); índice de vazios de campo ( $e_{(campo)}$ ); porosidade (n); grau de saturação ( $S_r$ ) e permeabilidade estimada (K). Os ensaios de laboratório foram efetuados com a finalidade de melhor caracterizar as unidades homogêneas e, por conseguinte, a área de estudo.

## □ **Elaboração do Mapa de Materiais Inconsolidados**

Para a elaboração do Mapa de Materiais Inconsolidados da área (Anexo - IV), na escala 1:25.000, foi necessário a realização de um cruzamento de informações e dados obtidos nas etapas anteriores, referentes a fotointerpretação; trabalhos de campo, com caracterização de perfis típicos das unidades homogêneas delimitadas e coleta de amostras; e ensaios de laboratório.

## □ **Seleção de Atributos Operacionais**

Foram selecionados 09 atributos operacionais que apresentam relevância na área de estudo para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, considerando-se a distância entre as áreas favoráveis para a construção do aterro e os atributos selecionados (Quadro 16), a saber: bacias de captação de água para abastecimento urbano; áreas de extração mineral; centro da cidade (considerando-se o raio de influência) (Anexo V); estradas rodoviárias e estradas de ferro; áreas ocupadas (zona urbana); áreas industriais; aeroportos; áreas de turismo, lazer e/ou proteção ambiental (APA) e direção relativa dos ventos predominantes em relação à zona urbana. Estes atributos apresentam variações em função de atividades antrópicas e de infra-estrutura implementadas no meio físico e, portanto, devem

ser considerados no cruzamento final das informações obtidas para a classificação de áreas em favoráveis, moderadas e inadequadas para a finalidade proposta.

□ **Ordenamento e Integração dos Dados e Informações Obtidas**

Esta etapa consistiu inicialmente, no ordenamento dos dados e informações referentes aos atributos selecionados, tanto do meio físico (Quadro 13) obtidos através de procedimentos de fotointerpretação, trabalhos de campo e ensaios de laboratório; como operacionais (Quadro 16) obtidos através de uma avaliação das atividades antrópicas e de infra-estrutura implementadas na área. Posteriormente, foi efetuada uma classificação de áreas de acordo com a adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos, considerando-se as classes: favorável, moderada e inadequada. A avaliação destas classes foi realizada em separado tanto para os atributos do meio físico, como para os atributos operacionais, de forma a possibilitar uma visão mais detalhada de cada grupo de atributos quanto à sua ocorrência e distribuição na área.

A integração das informações ordenadas possibilitou o cruzamento final dos resultados obtidos, referentes aos atributos do meio físico e operacionais avaliados, de forma a proporcionar uma maior precisão destes, no que concerne ao mapeamento geotécnico efetuado. Mediante o cruzamento dos resultados obtidos, verificou-se que os atributos operacionais podem confirmar áreas previamente delimitadas em função dos atributos do meio físico avaliados ou inviabilizar estas áreas, considerando-as como inadequadas para a finalidade proposta.

□ **Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos**

Segundo ZUQUETTE (1987), a Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos produzida (Anexo V), pode ser considerada uma carta derivada, uma vez que compreende os produtos da interpretação e cruzamento de informações contidas em mapas fundamentais, tais como: Mapa do Substrato Rochoso e Mapa de Materiais Inconsolidados, gerados previamente. Esta carta foi

elaborada com o objetivo de subsidiar o planejamento do uso e ocupação do meio físico, considerando os atributos avaliados (Quadros 13 e 16), para a finalidade proposta.

□ **Análise Crítica**

Etapa final do trabalho, em que foi realizada uma análise das classes de adequabilidade para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, em função dos atributos do meio físico e dos atributos operacionais avaliados, de forma a fornecer subsídios preliminares ao poder público municipal da cidade de Araxá, para a construção de um aterro sanitário em local adequado, que atenda às necessidades da população.

### **3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

O procedimento de retirada de amostras de material inconsolidado deve ser feito de forma criteriosa, a fim de que propriedades do material coletado sejam mantidas para posterior análise em laboratório. As amostras retiradas também devem contemplar, em caráter representativo, as especificidades de cada unidade homogênea delimitada previamente, de forma a proporcionar uma maior confiabilidade nos resultados dos ensaios realizados.

#### **3.5.1. TIPOS DE AMOSTRAS**

Segundo STANCATI *et al.* (1981), podem ser de dois tipos as amostras utilizadas nos laboratórios de geotecnia, a saber:

□ **Amostras Deformadas**

Segundo REZENDE (1997), são amostras extraídas por raspagem ou escavação, implicando na destruição da estrutura e na alteração das condições de

compacidade e/ou consistência natural do material. Desta forma, estas amostras são representativas quanto à textura e constituição mineral do material inconsolidado “in situ”.

□ **Amostras Indeformadas**

Segundo a ABNT/NBR-9604/86, são amostras extraídas com o mínimo de perturbação, de forma a manter sua estrutura e condições de umidade e compacidade ou consistência naturais, além da textura e constituição mineralógica. As amostras indeformadas foram retiradas através do Método do Anel Volumétrico (ZUQUETTE, 1987).

Estas amostras podem ser utilizadas para a determinação das características do solo “in situ”, quanto aos índices físicos, resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade.

Foram coletadas 10 amostras indeformadas em locais representativos, previamente determinados nas unidades de materiais inconsolidados, para uma melhor caracterização destas para a finalidade proposta. Desse total de amostras, 04 correspondem aos materiais Retrabalhados de Cobertura de Superfícies Residuais; 03 representam os materiais Residuais do Grupo Araxá; 02 caracterizam os materiais Residuais dos Granitóides e 01 representa os Depósitos Aluvionares - Coluvionares Indiferenciados.

Para as amostras indeformadas foram realizados ensaios de consistência, de forma a caracterizar os materiais inconsolidados quanto à sua plasticidade, através da obtenção dos limites de consistência, a saber: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP), obtidos através dos mesmos procedimentos empregados para as amostras deformadas, com exceção do fato de se considerar a umidade de campo ( $W_{(campo)}$ ), diferente do procedimento utilizado para amostras deformadas, onde é considerado a umidade ótima de compactação ( $W_{ot}$ ). Estes ensaios também propiciaram a obtenção de alguns índices físicos que podem ser utilizados para melhor caracterizar as unidades geotécnicas delimitadas, como: massa específica aparente de campo

( $\rho_{\text{(aparente)}}$ ); massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ); massa específica seca de campo ( $\rho_{d(\text{campo})}$ ); umidade de campo ( $W_{(\text{campo})}$ ); grau de compactação (GC); índice de vazios de campo ( $e_{(\text{campo})}$ ); porosidade (n); grau de saturação ( $S_r$ ) e permeabilidade estimada ( $K_{(\text{estimada})}$ ).

### **3.5.2. TIPOS DE ENSAIOS**

#### **a) Caracterização - Identificação visual e táctil**

Este procedimento é realizado, sobretudo em campo, onde são identificados os seguintes aspectos:

- Ocorrência ou não de matéria estranha ao solo (raízes, pequenas conchas, matéria orgânica, etc.);
- Cor natural da amostra;
- Teor de umidade;
- Origem (solos residuais ou retrabalhados);
- Minerais reconhecíveis, no caso de solo granular;
- Odores estranhos;
- Granulometria.

Este teste tem o objetivo de identificar a granulometria da fração predominante da amostra, que deve ser adjetivada com a fração complementar, de forma a ser utilizada na nomenclatura final do material.

#### **b) Análise Granulométrica**

A determinação da curva granulométrica para os materiais inconsolidados pode ser feita através de peneiramento, para materiais de maior granulometria ( $> 0,074\text{mm}$  - areias e pedregulhos) e de sedimentação, para materiais mais finos ( $< 0,074\text{mm}$  - siltes e argilas).

Na área de estudo, os materiais inconsolidados apresentam uma parcela de material fino e outra de material grosso, com variações granulométricas a depender das características dos pontos de amostragem considerados. Sendo assim, a curva granulométrica foi feita através dos procedimentos de



peneiramento e sedimentação realizados simultaneamente em laboratório, de acordo com a ABNT/NBR-7181/84.

**c) Massa Específica dos Sólidos ( $\rho_s$ )**

O procedimento do ensaio difere em parte, a depender da granulometria do material inconsolidado a ser analisado. Para materiais retidos na peneira de 4,0mm utiliza-se o procedimento segundo a ABNT/NBR-6458/84 e para os solos passantes nesta mesma peneira utiliza-se a ABNT/NBR-6508/84.

O ensaio empregado é composto por três partes distintas, iniciando pela preparação da amostra (ABNT/NBR-6457/86), em seguida é realizada a calibração do picnômetro, para grãos menores que 4,8 mm, para posteriormente iniciar-se o ensaio propriamente dito.

**d) Limites de Consistência**

Segundo STANCATI *et al.* (1981), os limites de consistência foram introduzidos para caracterizar os materiais inconsolidados quanto a sua plasticidade. Desta forma, são teores de umidade que separam dois estados de consistência desse material. Tem-se, portanto, o limite de contração - LC (separa o estado sólido do semi-sólido), o limite de plasticidade - LP (separa o estado semi-sólido do plástico) e o limite de liquidez - LL (separa o estado plástico do líquido). Estes limites também são utilizados freqüentemente para a classificação de solos.

De acordo com REZENDE (1997), a preparação de todos os ensaios é realizada de acordo com a ABNT/NBR-6457/86. No trabalho em questão, foram efetuados especificamente os ensaios de limite de liquidez (ABNT/NBR-6459/84) e limite de plasticidade (ABNT/NBR-7180/84) nas 24 amostras coletadas, representativas das 05 unidades de materiais inconsolidados presentes na área, com o intuito de caracterizá-las quanto ao grau de plasticidade.

e) **Compactação de Corpos de Prova**

Para STANCATI *et. al* (1981), os ensaios de compactação devem ser efetuados segundo a ABNT/NBR-7182/86 em obras de solos compactados, como aterros sanitários, sendo necessário e muito importante que se conheça, em um momento prévio ao início da obra, os parâmetros de compactação: massa específica aparente seca ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) e o teor de umidade de moldagem ( $w_{ot}$ ) dos materiais da área de empréstimo, para determinar a sua adequabilidade para a finalidade de recobrimento dos resíduos sólidos no aterro sanitário. Estes parâmetros podem ser utilizados para ensaios posteriores de permeabilidade, resistência ao cisalhamento, compressibilidade, dentre outros.

## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

---

### **4.1. CLIMA**

Segundo a classificação climática de Köppen *apud* VIANA *et al.* (1999), o clima da região mapeada é tropical úmido do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco com estação chuvosa no verão. Segundo dados da estação climatológica de Araxá, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2003), o município apresenta temperatura média anual de 20,6°C, sendo que nos meses mais quentes, fevereiro e março, o valor calculado foi de 22°C e nos meses mais frios, junho e julho, a média compensada foi de 17,9°C, com amplitude térmica anual média de 4,1°C. O total pluviométrico anual registrado apresenta variações entre 1.020mm e 2.031mm, com precipitação média anual em torno de 1.562 mm.

### **4.2. VEGETAÇÃO**

A cobertura vegetal primária da área é representada por campos cerrados, cerradões e matas subcaducifólias. Mas grande parte dessa vegetação foi substituída principalmente por pastagens, representando 88% do total da área considerada; e de forma secundária, por plantações de milho, soja, batata e feijão, dentre outros (WILHEIM, 2002).

Os cerrados são caracterizados por apresentar plantas de pequeno porte, esparsas, associadas fundamentalmente a solos arenosos. Por sua vez, os cerradões e as matas tropicais subcaducifólias, compostos de árvores de médio porte e arbustos ocorrem associados a solos areno-argilosos e argilosos, que se distribuem nas margens das redes de drenagem e em áreas de cobertura de chapadas da região.

### **4.3. HIDROGRAFIA**

Araxá é um dos vinte municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Araguari, com uma área de aproximadamente 21.856 km<sup>2</sup>, localizado no Estado de Minas Gerais (WILHEIM, 2002).

A captação de água para abastecer a cidade de Araxá é efetuada pela COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais, nos córregos Areia, Feio e Mourão Rachado e na sub-bacia formada pelo córrego Fundo. Destes, os córregos Areia e Feio localizam-se no extremo Leste da área de estudos (AnexoV) e os córregos Mourão Rachado e Fundo localizam-se fora da área mapeada.

A área é drenada pelo rio Quebra Anzol e seus afluentes, que ocasionam um entalhamento profundo no leito fluvial sobre as litologias metassedimentares representadas por mica xistos com quartzitos subordinados do Grupo Araxá, e nos granitóides Neoproterozóicos. A hidrodinâmica erosiva e deposicional propicia a evolução dos vales, que, em ação conjunta com os processos pedogenéticos e morfogenéticos, possibilitou a evolução do sistema de relevo em apreço.

A rede de drenagem estabelecida na área apresenta um padrão retangular a sub-retangular na porção norte. Esta disposição da drenagem encontra-se relacionada provavelmente, a um controle estrutural, estabelecido por um sistema de falhas e fraturas. Parte da água oriunda de precipitações atmosféricas escoam pela superfície do terreno, através dos canais de primeira ordem, que sulcam as encostas, contribuindo para a intensa dissecação do relevo. Outra parte da água infiltra através da cobertura inconsolidada e, ao atingir o substrato rochoso, percola através dos interstícios dos sistemas de falhas, fraturas, ou mesmo ao longo de planos de xistosidade da rocha, propiciando o escoamento subsuperficial. A elevada densidade de drenagem nesta área parece resultar de uma associação de diversos fatores, dentre os quais: a pequena profundidade do substrato rochoso, a intercalação de litologias distintas com diferentes resistências ao intemperismo e à erosão (mica xistos e granitóides), a permeabilidade relativamente baixa dos materiais do substrato e a existência de estruturas rochosas responsáveis pela orientação superficial do fluxo de água (planos de xistosidade e fraturas).

No setor sul da área a rede de drenagem apresenta, localmente, padrão radial condicionado por um controle estrutural, devido ao encaixamento da estrutura dômica alcalino-carbonatítica do Barreiro. Nesse local, o substrato rochoso formado por mica xistos e quartzitos subordinados do Grupo Araxá condiciona a formação de vales escavados em litologias menos resistentes (mica xistos), ou orientados segundo a direção de fraturas de litologias com menor susceptibilidade ao intemperismo (quartzitos). Segundo VIANA *et al.* (1999), em alguns locais do trecho sul da área, os materiais do substrato rochoso podem atingir profundidades de até 200m a 250m. Desta forma, os processos de infiltração assumem grande relevância no que concerne à questão da evolução das encostas na área, o que leva a crer que há uma predominância dos processos de pedogênese sobre os processos morfogenéticos.

No restante da área mapeada observa-se um padrão de drenagem dendrítico, com encostas que apresentam declividades suaves, cujo substrato rochoso é formado, fundamentalmente, por mica xistos do Grupo Araxá, aflorantes em vales da zona urbana e cortes de estrada da rodovia (BR-262) Araxá-Belo Horizonte (Figura 11). Apresenta uma cobertura de materiais inconsolidados bastante delgada, podendo atingir, contudo, profundidades de até 5m, observado em afloramentos localizados na cidade (Figura 14).

Os rios e córregos da região possuem várias cachoeiras e corredeiras; no entanto, a área apresenta uma topografia predominantemente aplainada, o que favorece um regime de fluxo laminar.

O município apresenta uma escassez de recursos hídricos aproveitáveis para abastecimento urbano, uma vez que a atividade de mineração realizada na porção sul atua como um fator limitante para a captação hídrica, agravada por fatores naturais, como o fato de a região apresentar uma estação seca bem definida entre os meses de abril e agosto (VIANA *et. al, op. cit.*).

As drenagens presentes na área possuem finalidades múltiplas, sendo aproveitadas tanto para a captação de água para abastecimento urbano, como para

a produção de energia hidrelétrica de pequeno porte, atividades de irrigação e mineração.

#### **4.4. GEOMORFOLOGIA**

O entendimento do relevo e sua dinâmica são imprescindíveis para a compreensão do funcionamento e da inter-relação dos demais componentes do meio físico, tais como: clima, cobertura vegetal, recursos hídricos, solo e substrato rochoso. Desta forma, é importante para o planejamento do uso e ocupação do meio físico do município, o qual deve levar em consideração as potencialidades e fragilidades dos recursos naturais.

De acordo com a esculturação e dinâmica do relevo (AB'SABER, 1970), a área de estudo está inserida no Domínio das Serras e Planaltos do Leste e Sudeste. Este domínio é constituído por Chapadões Tropicais Interiores, recobertos por Cerrados e penetrados por florestas galerias. Segundo BACCARO (1990), o relevo da região vem sendo elaborado desde o Terciário e durante o Quaternário pelos processos morfoclimáticos, os quais propiciaram extensas pediplanações, pedimentação, laterização e dissecação, levando-o às formas atuais.

Foram observados na região restos de uma superfície de aplainamento que varia de 1.400m a 1.000m. Ela secciona os maciços quartzíticos e rochas do Cretáceo Superior, sendo alcunhada como Superfície Pós-Gondwana por King (1956) *apud* BARBOSA *et al.* (1970).

Segundo BARBOSA (*op. cit.*), a partir da Superfície Pós-Gondwana começou a dissecação da região, e, ao longo do Terciário, outras superfícies aplainadas (pediplanos) foram moldadas. Dentre estas se observa uma superfície de cota 1.000m na área do Barreiro, a qual se apresenta em fragmentos de pequena extensão, ao lado de restos da Superfície Pós-Gondwana. Provavelmente esta segunda superfície corresponderia ao que King chamou de Superfície Sul-Americana.

A área é caracterizada fundamentalmente por morros de encostas muito suaves e topos achatados, correspondendo à Superfície Araxá, de idade provavelmente Terciária, que se apresenta nivelando os topos dos interflúvios, com cotas que variam entre 1.000m e 900m. Os jazimentos minerais de nióbio e fosfato prospectados na área ocorrem associados a esta superfície, e os corpos de canga e argilito presentes formaram-se durante a sua implantação (BARBOSA *et al.*, 1970).

Nas porções de topografia mais rebaixadas, com cotas que variam entre 900m e 800m (vale dos afluentes do rio Quebra-Anzol), observou-se a presença de depósitos recentes, formados por depósitos aluvionares e coluvionares, correspondentes à Superfície Velhas, provavelmente também Terciária (KING 1956 *apud* BARBOSA, *op. cit.*).

Segundo relatório do CETEC (1983), a compartimentação morfoescultural do município de Araxá compreende duas feições geomorfológicas distintas, caracterizadas pela Depressão do Rio Paranaíba no setor setentrional e pela Serra da Canastra no setor meridional do município, sendo separadas por linhas de falhas, com direção predominante E-W, que determinam contatos abruptos entre as duas unidades.

A área de estudo localiza-se nos domínios da Depressão do Rio Paranaíba, que se desenvolve na borda norte da Bacia Sedimentar do Paraná, nos vales do rio Quebra-Anzol e seus afluentes, caracterizando-se como uma depressão periférica.

A análise do mapa geomorfológico da área (CETEC, *op. cit.*) sugere que a Depressão do Rio Paranaíba desenvolveu-se originalmente em setores bem individualizados, controlados pela drenagem principal (rio Quebra Anzol) tendo se ampliado posteriormente através do rebaixamento de interflúvios, bem como do englobamento de processos locais de erosões periféricas.

O processo de erosão diferencial ocasionou a denudação da área de forma distinta, em função da diferença de competência das litologias presentes: quartzitos, mica xistos e granitóides, frente à atuação do processo intempérico.

Os quartzitos, devido ao fato de serem formados essencialmente por sílica, apresentam menor susceptibilidade ao intemperismo químico do que os xistos, que são ricos em minerais micáceos, apresentando um elevado poder de desagregação e decomposição. Os quartzitos ocorrem na área principalmente como encaixantes dos corpos intrusivos alcalino-carbonatíticos, formando localmente uma estrutura dômica de difícil visualização na área, devido à atuação de processos intempéricos, sendo observados em alguns trechos do Complexo do Barreiro.

Os mica xistos, por sua vez, devido ao seu elevado poder de decomposição e desagregação frente à atuação de processos intempéricos, propiciaram a formação de formas de relevo aplainadas, apresentando encostas com feições mamelonares a submamelonares suaves e vales abertos, que condicionam a formação de uma rede de drenagem de natureza dendrítica.

A dissecação fluvial atuante nos granitóides Neoproterozóicos resultou em formas de relevo de colinas e cristas com vales encaixados e/ou de fundo chato, presentes fundamentalmente na porção norte da área. Neste trecho, o relevo encontra-se intensamente dissecado, com presença de voçorocas, em grande parte não estabilizadas (Figura 16), associadas a canais de primeira ordem. Estas feições erosivas têm sido aceleradas continuamente através de atividades antrópicas inadequadas implementadas na área, como o desmatamento de áreas proximais a estas feições para atividades agropecuárias e o acúmulo de resíduos sólidos domiciliares dispostos no seu interior de forma aleatória. A rede de drenagem caracteriza-se por apresentar um padrão dendrítico, e secundariamente, sub-paralelo a paralelo nas áreas com controle estrutural.

Considerando-se a existência de vastas áreas dissecadas e rebaixadas, bem como de amplas depressões interplanálticas desenvolvidas ao longo dos cursos do rio Quebra Anzol e dos seus principais afluentes, a visão de conjunto



possibilitada pela correlação entre os mapas geológico e topográfico da região, apesar da escala que apresentam (1:100.000), torna evidente a influência da morfoestrutura, ou seja, dos condicionantes geológicos, na elaboração das formas de relevo, com interferência morfoclimática.

#### **4.5. SUBSTRATO ROCHOSO**

A região de Araxá faz parte do setor meridional da faixa de Dobramentos Brasília e está inserida no setor oriental da Província Estrutural Tocantins (ALMEIDA *et al.*, 1977), sendo caracterizada por metassedimentos dobrados e metamorfizados, constituídos por mica xistos do Grupo Araxá, intrudidos por granitóides de idade Neoproterozóica (SEER, 1999).

A compartimentação morfoestrutural da área individualiza-se, segundo BARBOSA *et al.* (1970), pela ocorrência de duas unidades estratigráficas Pré-Cambrianas: o Complexo Granito-Gnáissico e o Grupo Araxá, posicionadas cronologicamente nesta ordem. No topo da seqüência estratigráfica afloram Coberturas Tércio-Quaternárias Detrito-Lateríticas e Sedimentos Aluvionares recentes. Na porção sul da área, subjacentes às coberturas cenozóicas, observa-se a ocorrência de suítes alcalinas intrusivas do Cretáceo Superior, representadas na área pelo Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro.

##### **4.5.1. GRANITÓIDES**

Segundo BARBOSA *et al.* (*op. cit.*), os granitóides apresentam composição essencialmente granodiorítica, com intercalações de anfibolitos, constituindo-se nas rochas mais antigas da área, sendo consideradas o embasamento dos mica xistos do Grupo Araxá. De um modo geral, o contato entre esta litologia mais antiga e os xistos do Grupo Araxá não é nítido, e nota-se sempre uma zona de transição com xistos feldspáticos ou gnaisses bandados.

FERRARI (1989) *apud* SEER (1999) refere-se às rochas granito-gnáissicas no mesmo sentido de BARBOSA *et al.* (1970), relacionando-as ao embasamento do Grupo Araxá e salienta “...que a extrema decomposição intempérica dos litotipos constituintes do Complexo Granito-Gnáissico e, em especial, as variedades gnáissicas com clorita, biotita e muscovita, conduzem a interpretações errôneas de se tratarem de rochas xistosas e confundi-las com as rochas do Grupo Araxá”. O mesmo autor comenta que esta dificuldade se estende às zonas de cisalhamento que afetam os granitóides. A dificuldade de se observar contatos nítidos entre o Grupo Araxá e os granitóides provavelmente se deve à atuação de intensas atividades intempéricas ocorridas na área e à presença de superfícies de aplainamento, que contribuem para recobrir ou mascarar estes contatos.

Segundo SEER (*op. cit.*), levantamentos de campo de geologia estrutural indicam que os corpos graníticos não podem ser considerados como o embasamento da área, uma vez que apresentam idades inferiores a 630 M.a., já que intrudiram rochas metamorfozadas nesta época, sendo, portanto, posicionados no Proterozóico Superior.

No extremo norte da área, trecho de relevo intensamente dissecado devido à atuação intempérica diferenciada sobre a litologia granito-gnáissica, que exerce forte controle estrutural imprimindo uma rede de drenagem com configuração sub-paralela a paralela, nas regiões com controle estrutural, foram observados regolitos dessa unidade em cortes de estrada com espessuras inferiores a 5m e no interior de voçorocas com espessuras de até 25m (Figura 16). Afloramentos da rocha foram observados, principalmente, em pedreiras ativas e/ou desativadas (Figura 10).

Os regolitos provenientes dos granitóides são ricos em veios de quartzo leitoso diaclasados e deformados, de espessuras milimétricas a centimétricas, preenchendo zonas de fraqueza. SEER (*op. cit.*) constatou nos saprólitos das rochas finamente laminadas a presença esporádica de feições de deformação tipo “*bird eyes*” de feldspato caulinitizado (porfiroclastos), envoltos por uma matriz quartzo-sericítica-clorítica.



FIGURA 10: Afloramento de granitóides em uma pedreira desativada (Norte da área).

#### 4.5.2. GRUPO ARAXÁ

Segundo o mapa geológico da COMIG (1994), o Grupo Araxá pertence à Faixa de Dobramentos Brasília. Estas ocorrências foram datadas por SEER (1999), pelo método Sm-Nd, constatando na área uma idade modelo para esta litologia de 1.949 M.a., sendo, portanto, posicionadas no Proterozóico Superior. A designação do grupo foi atribuída por BARBOSA (1955) *apud* BARBOSA (1970), caracterizada como uma unidade constituída por metassedimentos formados por mica xistos e quartzitos, com intercalações de anfibolitos.

Ainda segundo BARBOSA (1970), os xistos deste grupo são formados por duas micas, com predominância de muscovita, além de minerais acessórios como granada, rutilo, zircão, estauroлита e turmalina. O mineral acessório mais comum é a granada almandina.

As litologias que constituem este grupo encontram-se intensamente deformadas, evidenciando a ação tectônica atuante em escala regional (NISHIYAMA,1989). Evidências desta deformação podem ser mais bem

observadas nos mica xistos e granitóides, que mostram feições desta natureza. Além desse intenso plissamento, principalmente nos xistos, foram observadas feições que indicam a ação cisalhante durante o processo de falhamento, caracterizada pela presença de minerais de quartzo estirados e feldspato fusiforme, verificados em alguns afloramentos da área, como, por exemplo, nas proximidades do Complexo do Barreiro.

Verifica-se uma ampla predominância dos mica xistos sobre os quartzitos na área. Normalmente os quartzitos ocorrem em leitos delgados em torno do domo do Barreiro, no setor sul, alternados com faixas de mica xistos subordinados, constituindo-se nas rochas encaixantes do Complexo Alcalino Carbonatítico, sendo, portanto, responsáveis pela manutenção da sua conformação dômica, que se encontra bastante alterada devido à atuação de processos intempéricos. Segundo NISHIYAMA (*op. cit.*), a orientação desses corpos, em geral NNW, coincide com as direções de xistosidade e de gnaissificação observadas na região.

Localmente observam-se faixas de mica xistos com presença abundante de granada, podendo ocorrer associações subordinadas de cianita, estauroлита e palhetas de muscovita, como, por exemplo, no setor norte da área, na rodovia (BR-262) Araxá-Belo Horizonte (Figura 11).

Os mica xistos podem apresentar zonas de transição para o granito-gnaisse, com incremento de quartzo e feldspato, refletindo em mudanças de estrutura, que passa de xistosa para gnáissica. Essa gradação pode ser verificada em contato brusco na pedreira Maxnewman, no setor nordeste da área.

As litologias xistosas encontram-se intensamente alteradas em todos os locais aflorantes na área mapeada, devido à sua elevada susceptibilidade ao intemperismo, sendo constatadas modificações em alguns minerais, a exemplo da granada, da biotita e da muscovita, o que ocasiona uma redução da resistência destes materiais. No entanto, a estrutura primária da rocha (xistosidade) ainda se mantém visível, em muitos casos.



FIGURA 11: Amostra representativa de mica xistos granadíferos do Grupo Araxá. Afloramento localizado na BR – 262. (Norte da área).

#### 4.5.3. COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Araxá faz parte de um conjunto de corpos alcalinos carbonatíticos situados na região do Alto Paranaíba e Sul de Goiás. Estes corpos foram identificados também em Tapira, Salitre, Serra Negra e Catalão. Alinham-se segundo direção NW, ao longo de falhas profundas, entre a Bacia do Paraná e o Cráton do São Francisco (HASUI & CORDANI, 1968).

Segundo BARBOSA (1955) *apud* BARBOSA *et al.* (1970), na área mapeada as intrusivas alcalinas encontram-se encaixadas em seqüências metassedimentares de idade Pré-Cambriana constituídas por intercalações de mica xistos e quartzitos do Grupo Araxá. HASUI e CORDANI (*op. cit.*) dataram estas ocorrências pelo método K-Ar e constataram que as mesmas situam-se no Cretáceo Superior, com idade em torno de 90 M.a.

Segundo BARBOSA *et al.* (1970), o domo de Araxá é circunscrito por um anel de rochas quartzíticas intensamente diaclasadas e, portanto, mais

susceptíveis aos processos intempéricos, o que dificultou a sua preservação na área.

Na área do Barreiro não foi encontrado afloramento de rochas intrusivas, no entanto, na planície da fonte Andrade Júnior, com cotas em torno de 940m, foi verificada a presença de brecha quartzítica, com diques e veios de carbonatito (VIANA *et al.*, 1.999). ISSA FILHO *et al.* (1984) constataram que o carbonatito apresenta uma configuração arredondada, com diâmetro de cerca de 2 km, situado na parte central do Complexo. O principal mineral primário associado a estas rochas é o pirocloro, com teores de até 8% de  $Nb_2O_5$ .

## **4.6. MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

A necessidade de caracterizar as unidades de materiais inconsolidados (residual e retrabalhado) de forma ágil e com baixo custo, tem sido uma das principais preocupações do mapeamento geotécnico, de forma a reduzir gastos e tempo nas etapas de trabalho de campo e de ensaios de laboratório para a caracterização geotécnica destes materiais. A utilização de perfis de alteração tende a otimizar a caracterização e a amostragem dos mesmos.

### **4.6.1. PERFIS DE ALTERAÇÃO**

Em regiões tropicais o intemperismo químico prevalece sobre o intemperismo físico devido à elevada presença de água, as transformações dos minerais primários são mais intensas e ocorrem a maiores profundidades do que em regiões temperadas.

O processo de desenvolvimento de um perfil de alteração em regiões tropicais ocorre devido à cristalização de óxidos de ferro como a hematita ( $\alpha Fe_2O_3$ ), quando o solo é sazonalmente dissecado, ou como a goethita ( $\alpha Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ), em um ambiente constantemente úmido. A gibbsita ( $\gamma Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) é o principal óxido de alumínio formado. A sílica é perdida em solução ou

combina-se com outros produtos de intemperismo para formar principalmente a esmectita, ou mais freqüentemente minerais deficientes em sílica, como a caolinita. Bases (K, Na, Ca, Mg) são perdidas em solução ou incorporadas aos minerais como a esmectita (2:1) e a caolinita (1:1), que aceitam pouca ou nenhuma base. Os minerais 2:1 podem descer no perfil como partículas argilosas dispersas em suspensão (iluviação), gerando horizontes superiores pobres e inferiores enriquecidos em argila. Os óxidos e minerais 1:1 são menos susceptíveis a esse processo (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1990).

Além da textura e da estrutura, a constituição mineralógica da rocha condiciona os processos de alteração, pois é o grau de estabilidade dos minerais frente às condições climáticas atuantes que define a maior ou menor resistência da rocha quanto aos processos de alteração e erosão (PIRES NETO, 1991).

Assim, perfil de alteração pode ser definido como uma seqüência de materiais com diferentes propriedades físicas que se desenvolvem *in situ*, através de processos de alteração física ou química e recobrem a rocha sã (DEERE & PATTON, 1971).

De acordo com NOGUEIRA (1988), após a alteração da rocha e formação dos sedimentos, estes poderão ser levados para outros locais, por diferentes agentes da natureza, com modificação na forma e nas dimensões iniciais, originando os solos transportados, ou permanecerem em seu local de origem, originando os solos residuais.

Neste trabalho, o termo *material inconsolidado* será utilizado segundo ZUQUETTE (1987), como todo o perfil, incluindo-se os materiais retrabalhados (transportados) e os materiais residuais (solos com presença ou ausência de estrutura da rocha e saprólito).

BECKER (1985) *apud* GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT (1990) definiu “saprólito” como uma parte do manto de intemperismo que mostra feições texturais e estruturais da

rocha original, bem como fragmentos desta, para que a identificação da rocha seja feita.

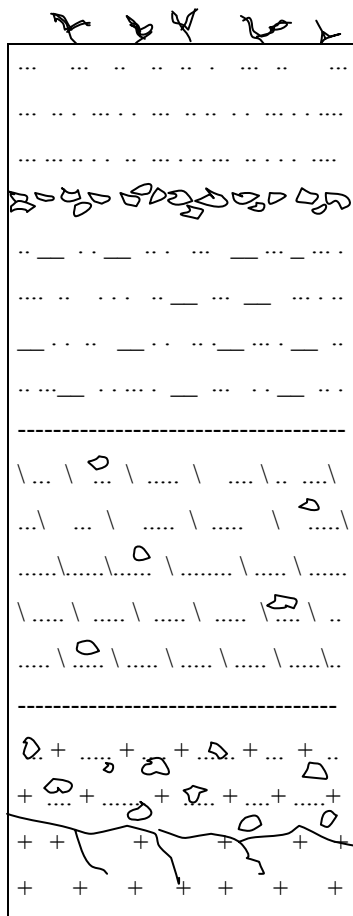
Para RITTER *et al.* (1995), os solos são descritos e classificados de acordo com o seu perfil. A característica do perfil de solo varia de acordo com o material original, clima, biota, topografia e o tempo de duração envolvido na sua formação.

Para a finalidade de engenharia, o perfil de alteração é tratado como uma entidade única, desde o solo evoluído, propriamente dito, até o material inconsolidado residual de alteração incipiente da rocha (SOUZA & ZUQUETTE, 1991).

Perfis de intemperismo tropical podem ser representados quanto à engenharia, por uma série gradacional de zonas de intemperismo, passando da rocha fresca em profundidade para materiais intensamente intemperizados (solos residuais) na superfície (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, *op. cit.*).

Neste trabalho optou-se por trabalhar com o modelo de perfil de alteração típico de materiais inconsolidados desenvolvidos em solos tropicais por ZUQUETTE (1987) e modificado por SOUZA (1992), por ser o perfil que melhor se adapta à área de trabalho. Algumas alterações terminológicas foram feitas, de forma a melhor adequar o modelo às características dos materiais inconsolidados presentes na área (Figura 12).





#### **COBERTURA DE SUPERFÍCIES RESIDUAIS**

Transportado, textura areno-argilosa ou argilo-arenosa, vermelho-amarelado escuro a marrom clara, heterogênea, sem estrutura da rocha original, com fragmentos de quartzo e com presença de uma linha de seixos quartzosos de forma angulosa na base.

#### **MATERIAL INCONSOLIDADO SEM ESTRUTURA DA ROCHA**

Residual evoluído pedogeneticamente, com textura argilo-siltosa, argilo-arenosa ou areno-siltosa, marrom escuro, vermelho escuro a amarelo, homogêneo, estrutura micro-agregada com macroporos, maciço-porosa.

#### **MATERIAL INCONSOLIDADO COM ESTRUTURA DA ROCHA**

Residual, pouco evoluído, início do processo pedogenético, com textura areno-siltosa, silto-argilosa a argilo-siltosa, vermelho-amarelo a róseo mosqueado, heterogêneo, com estrutura incipiente da rocha original, cerosidade, alteração de feldspatos em caolinita, micas, seixos de quartzo.

#### **SAPRÓLITO**

Residual, primeiro nível de alteração da rocha, com textura areno-siltosa a silto-arenosa, areia fina a média, branco-cinza a vermelho claro (róseo), heterogêneo, com textura e estrutura originais da rocha bem preservadas, grãos de feldspato, blocos e matações de rocha alterada e sã.

Observação: qualquer nível de alteração pode ocorrer como solo superficial, como quando se tem o saprólito exposto sem o horizonte pedológico evoluído em encostas íngremes estando exposto naturalmente em superfície, condicionado por sua posição no relevo (topo, encosta, vale) e pela unidade de terreno a que pertence.

FIGURA 12: Descrição dos níveis do perfil de alteração típico de materiais inconsolidados.

Fonte: SOUZA (1992), modificado de ZUQUETTE (1987).

Modificado de SOUZA (1992).

#### **4.6.1.1. MATERIAIS IDENTIFICADOS**

Segundo a descrição de perfil típico modificada de SOUZA (*op. cit.*), aliada as observações e interpretações de campo, bem como ensaios de laboratório efetuados em amostras deformadas e indeformadas, foi possível a caracterização na área mapeada de 05 unidades de materiais inconsolidados. Desse total, 03 unidades correspondem aos materiais inconsolidados residuais (Residuais do Grupo Araxá, Residuais dos Granitóides e Residuais dos Granitóides de Pequena

Espessura) e 02 representam os materiais inconsolidados retrabalhados (Cobertura de Superfícies Residuais e Depósitos Aluvionares-Coluvionares Indiferenciados).

### ❖ **COBERTURA DE SUPERFÍCIES RESIDUAIS (CSR)**

Estes materiais são muito expressivos, perfazendo aproximadamente 40% da área total mapeada, sempre associados a elevadas altitudes, em média 1150-950 metros.

Ocorrem predominantemente na porção centro-sul da área com espessuras que variam de 0,5m a 5m, recobrando topos aplainados a suavemente ondulados constituídos por mica xistos e quartzitos micáceos do Grupo Araxá. Na porção norte as espessuras são menores, variando de 0,5m a 2,0m, devido à elevada dissecação do relevo.

Observa-se, em grande parte da área, a presença freqüente de uma camada basal com espessura variável, em geral centimétrica, descontínua e irregular, constituída principalmente por fragmentos angulosos de quartzo e quartzito (Figura 13). Esta linha de seixos quartzosos é muito utilizada para separar, em campo, os materiais residuais dos materiais retrabalhados, em um mesmo perfil vertical.

Os ensaios de granulometria conjunta realizados para esta unidade (Tabela 1), permitiram a obtenção dos seguintes dados: pedregulho: 0-2%; areia grossa: 0-8%; areia média: 3-13%; areia fina: 20-39%; silte: 7-22% e argila: 11-58%; caracterizando uma textura argilo-arenosa.

Os ensaios de compactação (Proctor Normal) forneceram, para esta unidade, umidade ótima ( $w_{ot}$ ) com variações de 17,6-26,2% e massa específica seca máxima ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) em um intervalo de 1,48-1,66 g/cm<sup>3</sup>. Devido à elevada plasticidade das amostras representativas desta unidade, foi possível obter os seguintes limites de consistência: limite de liquidez (LL): 31-55%; limite de plasticidade (LP): 21-37% e índice de plasticidade (IP): 7-20% (Tabelas 1 e 2).

Outros índices físicos foram obtidos em laboratório (Tabela 2) com os seus devidos intervalos de variação, como: massa específica aparente de campo ( $\rho_{(aparente)}$ ): 1,21-1,38 g/cm<sup>3</sup>; massa específica seca de campo ( $\rho_{d(campo)}$ ): 0,95-1,11 g/cm<sup>3</sup>; massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ): 2,59-2,74 g/cm<sup>3</sup>; umidade de campo ( $W_{(campo)}$ ): 26,12-31,7%; grau de compactação (GC): 67,11-78,51%; índice de vazios de campo ( $e_{(campo)}$ ): 1,33-1,81; porosidade (n): 57,98-64,41%; grau de saturação ( $S_r$ ): 41,30-60,37% e permeabilidade média estimada (K): 10<sup>-6</sup> cm/s.

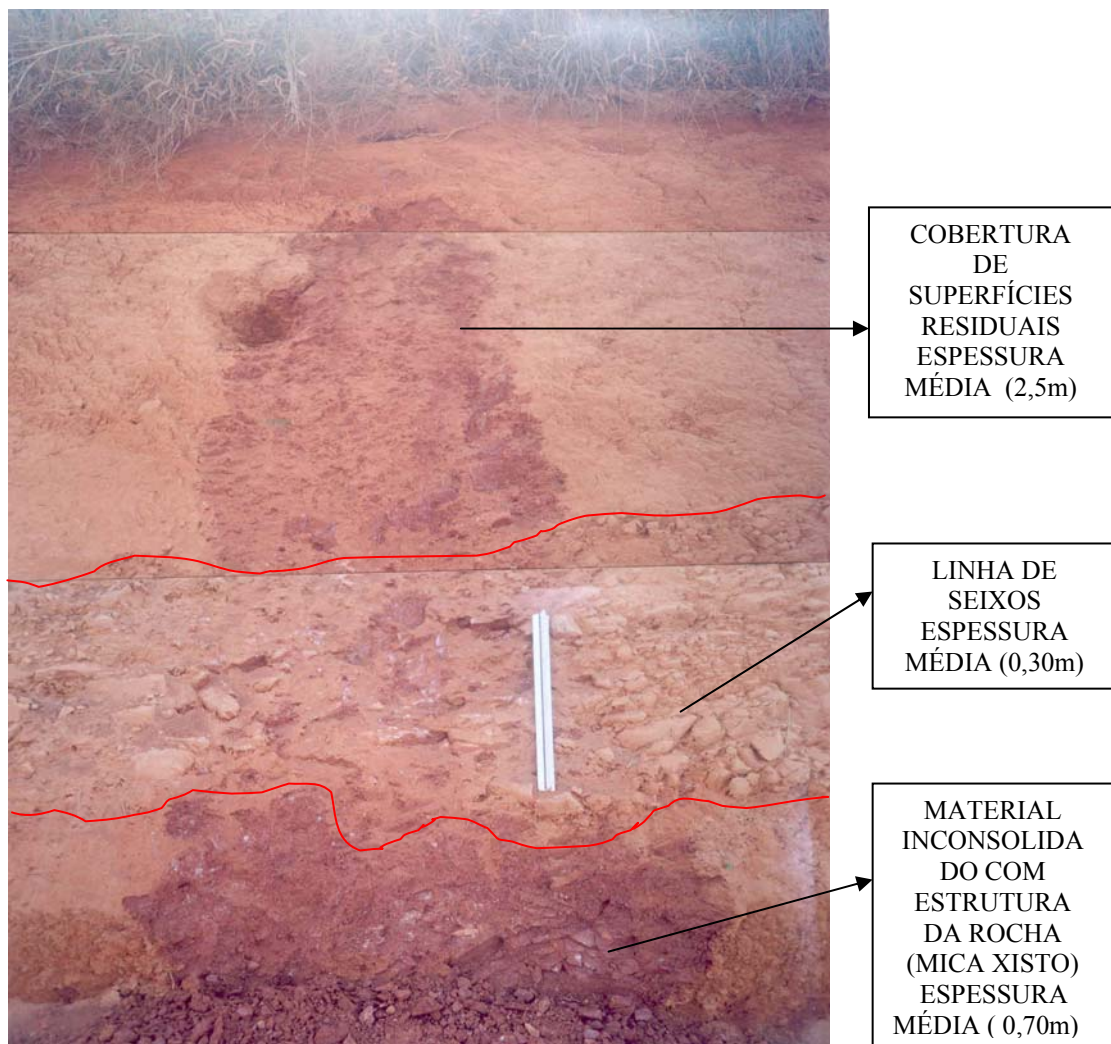


FIGURA 13: Detalhe de um perfil típico de alteração mostrando a linha de seixos formada por fragmentos de quartzo e quartzito angulosos, de espessura centimétrica, separando o material residual da base (residual do Grupo Araxá) do material retrabalhado no topo (Cobertura de Superfícies Residuais). (Ponto 13 – Anexo IV).

### ❖ **RESIDUAIS DO GRUPO ARAXÁ (RGAxq)**

Estes materiais são bastante representativos, compreendendo grande parte da porção centro-sul e trechos da faixa norte da área, com aproximadamente 30% de ocorrência, podendo apresentar espessuras de até 5 metros.

A presença de fragmentos de quartzito e quartzo angulosos de dimensões centimétricas a métricas é abundante, associados à matriz areno-siltosa micácea, com ocorrências locais de veios de quartzo de espessuras centimétrica a decimétrica.

Esta unidade pode ser encontrada em encostas suaves com topos aplainados, com altitudes máximas de aproximadamente 950 metros e em fundos de vales com até 850 metros de altitude.

O saprólito caracteriza-se por apresentar coloração avermelhada quando mais xistoso a esbranquiçada quando mais silicoso, devido às características das rochas matrizes: mica xistos, quartzo-mica xistos, granada-mica xistos e quartzitos micáceos subordinados. Apresenta-se mal selecionado, bastante friável, com as direções de xistosidade bastante preservadas e presença visível de seixos de quartzo e granada, quando granadífero.

O nível de alteração residual com estrutura da rocha é bastante representativo na área, normalmente formando camadas com espessuras de 2,0m a 5,0 metros, sobretudo na porção centro-sul. No trecho norte a ocorrência destes materiais é mais limitada e suas espessuras são mais delgadas, variando em intervalos de 0,5m a 1,0 m. A estrutura da rocha ainda encontra-se visível, observada através dos planos de xistosidade presentes (Figura 14).

Os ensaios de granulometria conjunta realizados em laboratório (Tabela1) demonstram os seguintes intervalos de variação para as amostras desta unidade: pedregulho: 0-2%, areia grossa: 0-8 %, areia média: 2-13 %, areia fina: 10-64%, silte: 14-45% e argila: 9-18%. Estes valores conferem a esta unidade

uma textura areno-siltosa micácea, uma vez que predominam os intervalos referentes a areia e silte, apresentando teores acima de 10% de minerais micáceos.

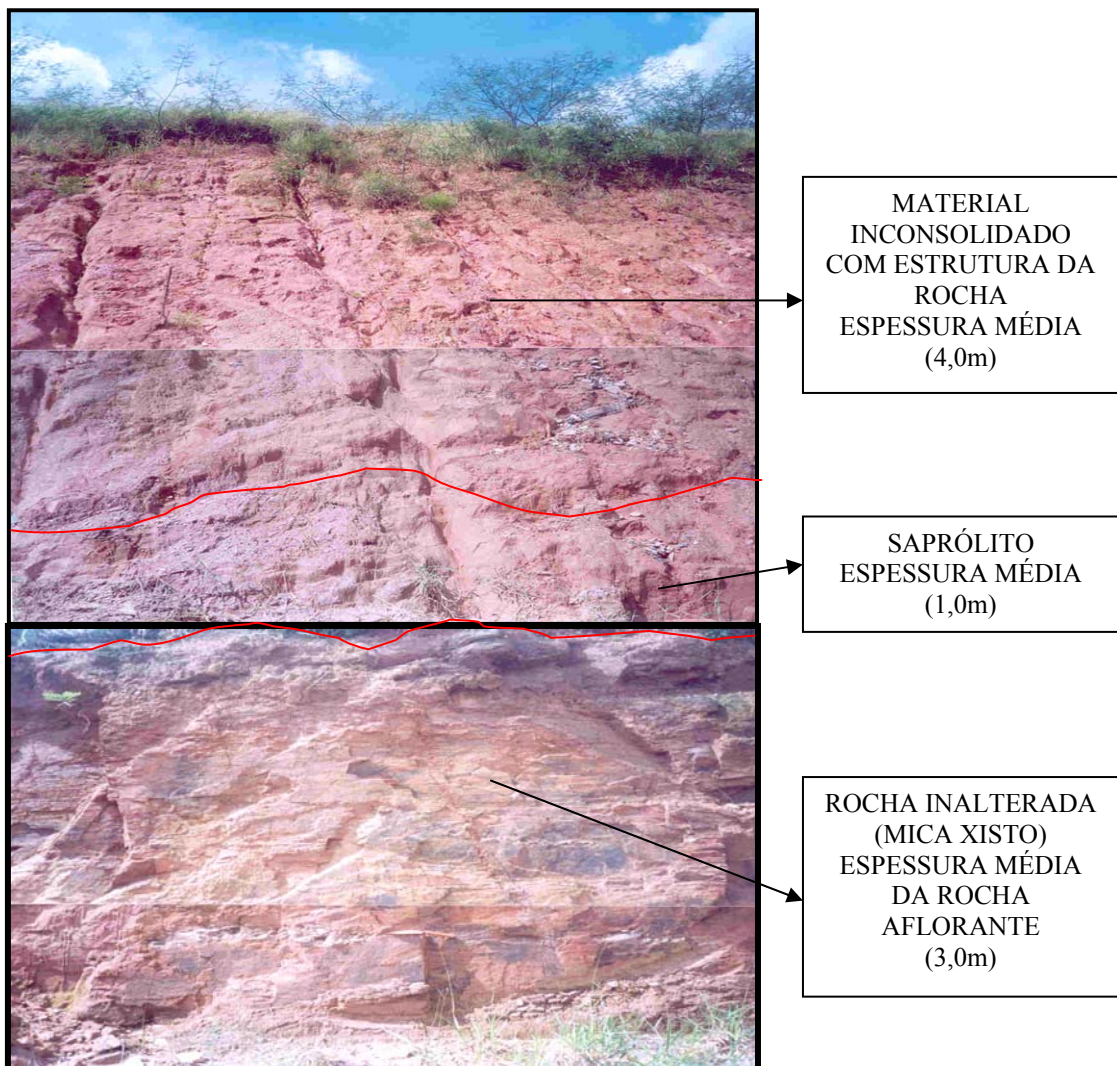


FIGURA 14: Perfil típico de alteração do Grupo Araxá. A linha inferior indica a separação entre a rocha inalterada xistosa (base) e o saprólito (topo) e a linha superior indica a separação entre o saprólito (base) e o material inconsolidado com estrutura da rocha (topo). (Ponto 9 – Anexo IV).

Outros índices físicos obtidos em laboratório foram: massa específica aparente de campo ( $\rho_{\text{aparente}}$ ): 1,46-1,52 g/cm<sup>3</sup>; massa específica seca de campo ( $\rho_{\text{d (campo)}}$ ): 1,15-1,27 g/cm<sup>3</sup>; massa específica dos sólidos ( $\rho_{\text{s}}$ ): 2,62-2,79 g/cm<sup>3</sup>; umidade de campo ( $W_{\text{(campo)}}$ ): 20,04-28,06%; grau de compactação (GC): 69,28-78,88%; índice de vazios de campo ( $e_{\text{(campo)}}$ ): 1,20-1,34; porosidade (n): 54,52-57,26%; grau de saturação ( $S_r$ ): 46,5-57,31% e permeabilidade média estimada (K): 10<sup>-5</sup> cm/s (Tabela 2).

Nos ensaios de compactação (Proctor Normal) realizados para os materiais desta unidade, a umidade ótima de compactação ( $w_{ot}$ ) variou de 11,00% a 33,4%, enquanto que a massa específica seca máxima ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) variou de 1,47g/cm<sup>3</sup> a 1,72 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 2).

As amostras analisadas não apresentaram limites de consistência nos ensaios efetuados, devido às características não plásticas dos materiais inconsolidados representativos desta unidade.

#### ❖ **RESIDUAIS DE PEQUENA ESPESSURA DOS GRANITÓIDES (RGR)**

Esta unidade ocorre no trecho norte, perfazendo aproximadamente 10% da área mapeada, caracterizando-se por apresentar espessuras inferiores a 5 metros e coloração rósea-esbranquiçada a avermelhada, a depender da posição considerada no perfil vertical.

Os granitóides exercem um controle estrutural na sua área de ocorrência, de forma a imprimir uma rede de drenagem com elevada densidade e configuração plano-paralela a dendrítica, aliada a um relevo intensamente dissecado, devido à atuação intempérica diferenciada sobre esta litologia.

A elevada densidade de drenagem nestes trechos parece resultar de uma associação de diversos fatores, dentre os quais pode-se citar: pequena profundidade do substrato rochoso, diferentes resistências ao intemperismo e à erosão diferenciada atuantes sobre a litologia da área (granitóides, mica xistos e quartzitos), permeabilidade relativamente baixa dos materiais do substrato rochoso, existência de estruturas rochosas responsáveis pela orientação superficial do fluxo de água (planos de xistosidade e fraturas) e elevada declividade (NISHIYAMA, 1998).

Os residuais desta unidade foram observados associados a altitudes médias de 850m a 900 metros, muito freqüentes no setor norte da área, ocorrendo

até altitudes de 950 metros, onde se encontram associados a encostas com elevado declive. Podem apresentar fragmentos angulosos de quartzo na fração areia.

Não foi encontrado perfil típico desta unidade na área, devido à pequena ocorrência (10%), associada à pequena espessura do material (até 5m) e em função do seu recobrimento total ou parcial por materiais retrabalhados, como coberturas de superfícies residuais, depósitos coluvionares e de tálus.

O nível de alteração residual com estrutura da rocha, quando observado, apresenta uma estrutura incipiente da rocha matriz, com coloração esbranquiçada a rósea mosqueada, sendo freqüentes a presença de minerais micáceos e seixos de quartzo preservados.

Através da análise da Tabela 1, verificam-se para esta unidade os seguintes resultados dos ensaios de granulometria conjunta: pedregulho: 0-7%; areia grossa: 3-5%; areia média: 3-22%; areia fina: 33-46%; silte: 14-30% e argila: 18-30%, predominando, portanto, as frações areia e silte, o que caracteriza uma textura areno-siltosa para esta unidade.

Nos ensaios de compactação (Proctor Normal) (Tabela 2), a umidade ótima do material ( $w_{ot}$ ) variou de 16,2-30,30%, enquanto que o valor da massa específica seca máxima ( $\rho_{dmáx}$ ) variou de 1,44-1,78 g/cm<sup>3</sup>. Para esta unidade não foram detectados limites de consistência, caracterizando o comportamento não plástico destes materiais.

Outros índices físicos obtidos em laboratório foram: massa específica aparente de campo ( $\rho_{(aparente)}$ ): 1,15 g/cm<sup>3</sup>; massa específica seca de campo ( $\rho_{d(campo)}$ ): 0,95g/cm<sup>3</sup>; massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ): 2,71 g/cm<sup>3</sup>; umidade de campo ( $W_{(campo)}$ ): 21,14%; grau de compactação (GC): 58,28%; índice de vazios de campo ( $e_{(campo)}$ ): 1,85; porosidade (n): 64,91%; grau de saturação ( $S_r$ ): 30,76% e permeabilidade média estimada (K): 10<sup>-5</sup> cm/s (Tabela 2).

### ❖ RESIDUAIS DOS GRANITÓIDES (RGP)

Esta unidade ocorre em aproximadamente 15% da área mapeada, concentrando-se sobretudo no trecho norte. Apresenta, em geral, espessuras que variam entre 5m e 10m, observado em cortes de beira de estrada (Figura 15), podendo chegar até 25 metros no interior de voçorocas (Figura 16). Com coloração vermelho-róseo em função do intemperismo sobre os minerais ferro-magnesianos associados às faixas máficas da litologia granítica, podendo formar manchas esbranquiçadas.

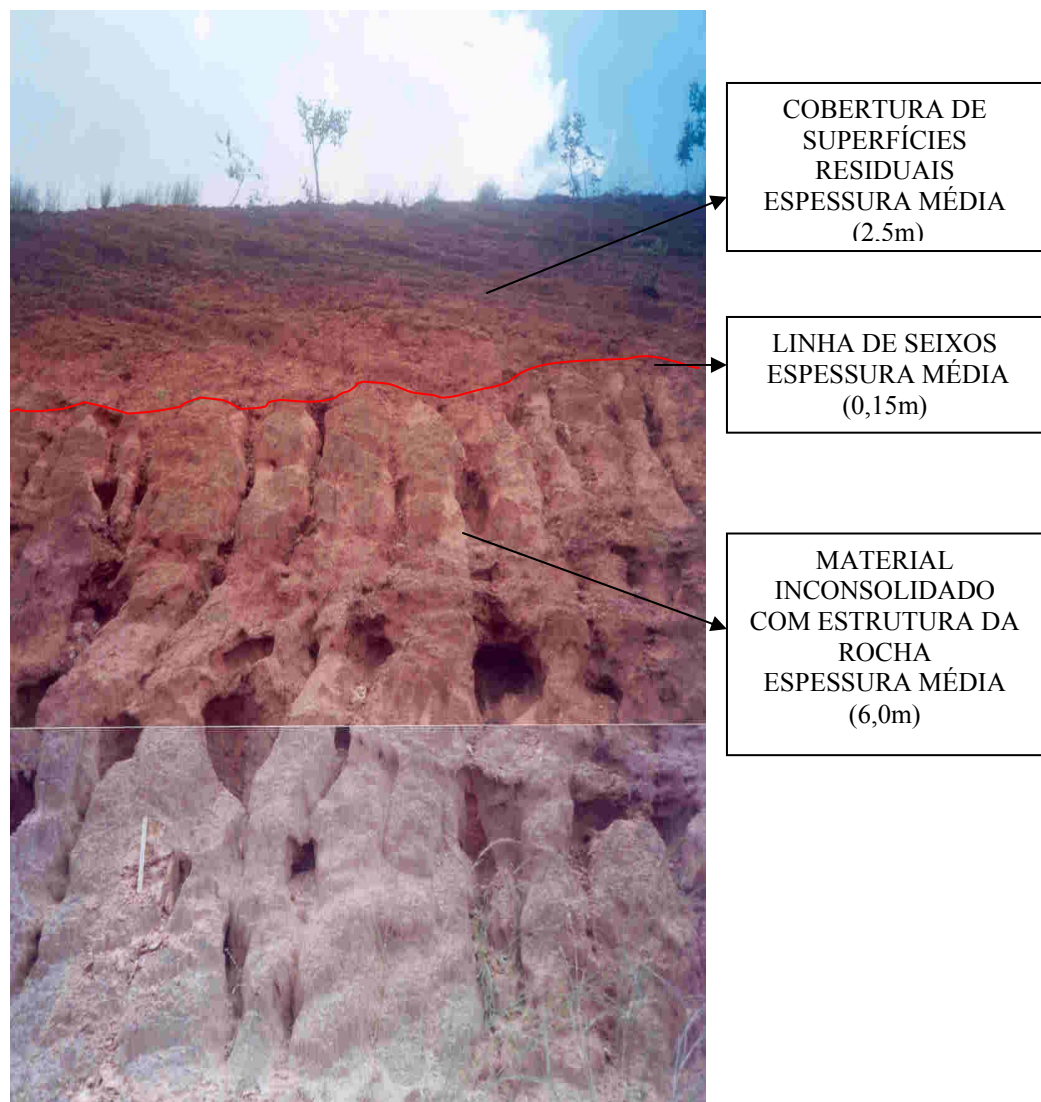


FIGURA 15: Perfil típico de alteração dos granitóides. A linha tracejada indica a separação entre o material residual com estrutura da rocha (base) e o material retrabalhado - Cobertura de Superfícies Residuais (topo). (Ponto 5 – Anexo IV).



Localmente podem ocorrer veios de quartzo de espessura centimétrica a decimétrica associados a zonas de fraqueza.

Ocupa áreas de topografia relativamente elevadas e encostas com declividades acentuadas, com altitudes médias de 1000m a 900m.

O material residual com estrutura da rocha (Figura 15) apresenta coloração vermelho-mosqueado a róseo, com manchas esbranquiçadas, devido à alteração de feldspatos em caulinita, muito freqüente neste nível, sendo comuns a presença de micas e seixos de quartzo.

O material residual sem estrutura da rocha (Figura 16) apresenta-se, em geral, com coloração vermelho-escuro a vermelho-ocre, com certa homogeneidade no perfil, quanto à textura, granulometria e coloração.

Os ensaios de granulometria conjunta (Tabela 1) possibilitaram uma análise do material coletado, que apresenta as seguintes proporções granulométricas: pedregulhos: 0-1%; areia grossa: 3-5%; areia média: 2-16%; areia fina: 13-42%; silte: 10-48% e argila: 20-44%. Estes resultados conferem a esta unidade uma textura areno-siltosa.

Os ensaios de compactação realizados para esta unidade permitiram a obtenção dos seguintes parâmetros: umidade ótima ( $w_{ot}$ ): 18,40-19,6% e massa específica seca máxima ( $\rho_{dmáx}$ ): 1,61-1,67 g/cm<sup>3</sup>. Não foram detectados limites de consistência para esta unidade, evidenciando o caráter não plástico destes materiais (Tabela 2).

Outros índices físicos obtidos em laboratório foram: massa específica aparente de campo ( $\rho_{(aparente)}$ ): 1,26 g/cm<sup>3</sup>; massa específica seca de campo ( $\rho_{d(campo)}$ ): 1,76 g/cm<sup>3</sup>; massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ): 2,68 g/cm<sup>3</sup>; umidade de campo ( $W_{(campo)}$ ): 30,18%; grau de compactação (GC): 60,25%; índice de vazios de campo ( $e_{(campo)}$ ): 1,76; porosidade (n): 63,77%; grau de saturação ( $S_r$ ): 45,68% e permeabilidade média estimada (K): 10<sup>-5</sup> cm/s (Tabela 2).

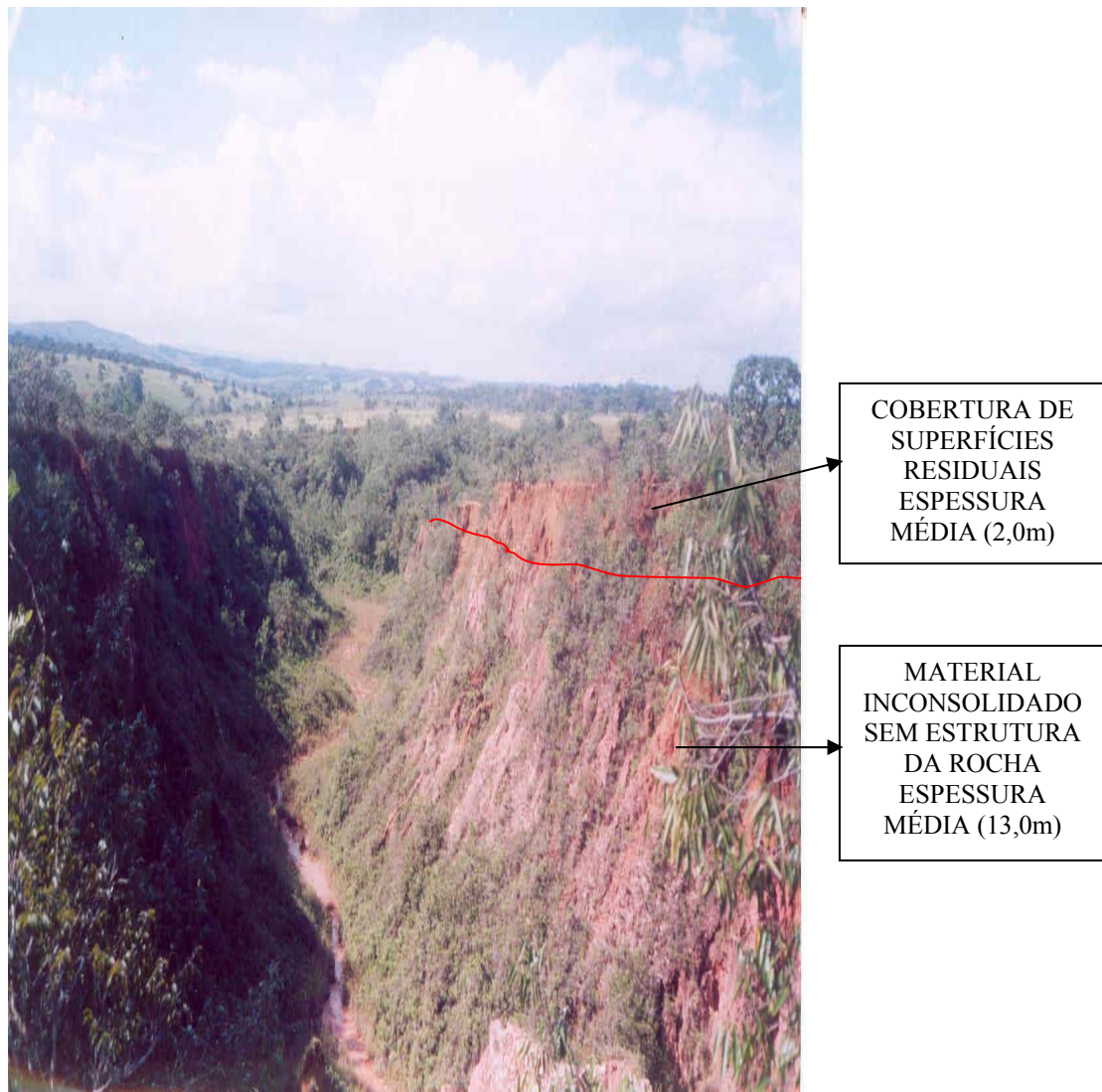


FIGURA 16: Perfil típico de alteração dos granitóides, localizado no interior de uma voçoroca no trecho norte da área. A linha indica a separação entre os materiais de cobertura de superfícies residuais (topo) e o material residual de granitóides sem estrutura da rocha (base). (Ponto de observação 29 – Anexo IV).

❖ **DEPÓSITOS ALUVIONARES – COLUVIONARES INDIFERENCIADOS (DACI)**

Os materiais representativos desta unidade ocorrem em toda a área de estudo, sempre ao longo de vales fluviais e/ou nos seus entornos sob a forma de planícies aluvionares moderadamente desenvolvidas (Figura 17), podendo ser identificados também, na base de encostas com declividades suaves, sob a forma de depósitos coluvionares associados. Desta forma, estes materiais ocorrem

predominantemente em áreas de topografias relativamente rebaixadas, que variam em torno de 950m a 850m, perfazendo um total de cerca de 5% da área mapeada.

Apresentam geralmente coloração amarelo-esbranquiçada, no entanto, quando associados a níveis orgânicos, podem ter uma coloração cinza-esbranquiçada.

Foram obtidos os seguintes resultados para os ensaios de granulometria conjunta realizados nesta unidade: pedregulho: ausente; areia grossa: 0-1%; areia média: 5-25%; areia fina: 60-65%; silte: 7-12% e argila: 7-18%. Caracterizando materiais com textura eminentemente arenosa, devido ao predomínio da fração areia em detrimento das demais (Tabela 1).

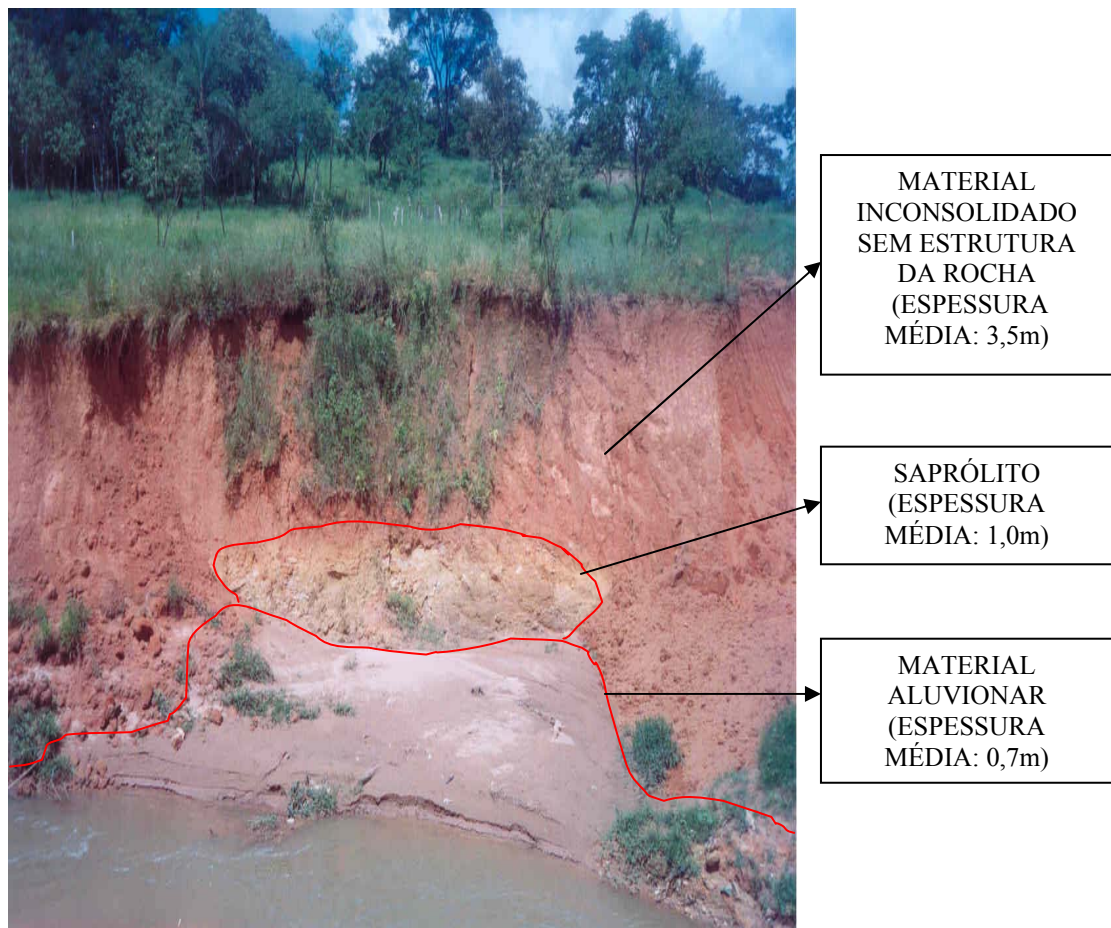


FIGURA 17: Materiais inconsolidados sem estrutura da rocha róseo-avermelhados (topo), separados dos saprólitos amarelo-esbranquiçados (porção intermediária), com presença de materiais aluvionares esbranquiçados nos entornos da rede de drenagem (base). (Ponto de observação 17a - Anexo – IV).

Através dos ensaios de compactação efetuados (Tabela 2), foi possível obter umidade ótima ( $w_{ot}$ ) para esta unidade de 15,40-17,60% e massa específica seca máxima ( $\rho_{dmáx}$ ): 1,66-1,72 g/cm<sup>3</sup>. As amostras desta unidade não apresentaram limites de consistência, devido às características não plásticas destes materiais.

Outros índices físicos foram obtidos em laboratório com os seus devidos intervalos de variação: massa específica aparente de campo ( $\rho_{(campo)}$ ): 1,20 g/cm<sup>3</sup>; massa específica seca de campo ( $\rho_{d(campo)}$ ): 0,99 g/cm<sup>3</sup>; massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ): 2,75 g/cm<sup>3</sup>; umidade de campo ( $W_{(campo)}$ ): 21,03; grau de compactação (GC): 57,59%; índice de vazios de campo ( $e_{(campo)}$ ): 1,78; porosidade (n): 64,03%; grau de saturação ( $S_r$ ): 32,44% e permeabilidade média estimada (K): 10<sup>-4</sup> cm/s (Tabela 2).

## **5. ANÁLISES DOS RESULTADOS**

---

### **5.1. ELABORAÇÃO DA CARTA PRELIMINAR PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Esta carta compreende os produtos da interpretação múltipla e do cruzamento de informações contidas em mapas fundamentais, tais como mapa do substrato rochoso e mapa de materiais inconsolidados, aliados a dados obtidos, como fotointerpretação, levantamentos de campo e ensaios de laboratório.

A geração desta carta teve como objetivo a delimitação e classificação preliminar de áreas quanto à sua adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos na área mapeada.

Para a elaboração desta carta foram realizadas a delimitação e a caracterização de unidades homogêneas de materiais inconsolidados (Anexo IV), a seleção e a avaliação de atributos do meio físico (Quadro 13) e atributos operacionais (Quadro 16), considerados essenciais para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, de acordo com as características da área. A integração de resultados efetuada posteriormente, possibilitou a classificação de áreas quanto à sua adequabilidade para a disposição de resíduos sólidos. Desta forma, mediante esta classificação, foram definidas três classes de adequabilidade na área de estudo: Favorável, Moderada e Inadequada. Entretanto, ressalta-se que, não deve ser descartada a possibilidade de ocorrência de outras áreas favoráveis, além daquelas selecionadas, que poderão vir a ser delimitadas através de estudos mais detalhados em escalas maiores, principalmente dentro de áreas avaliadas como moderadas para esta finalidade.

## **5.2. CLASSES DE ADEQUABILIDADE PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **❖ Favorável**

Considerando-se os materiais inconsolidados presentes na área, sejam de natureza residuais ou retrabalhados, observou-se através das análises de laboratório efetuadas (Tabelas 1 e 2) que, os materiais retrabalhados correspondentes à unidade de cobertura de superfícies residuais possuem uma textura argilo-arenosa, com menos de 2% de minerais micáceos e apresentam limites de consistência, caracterizando a boa plasticidade destes materiais, constituindo-se, portanto, nos materiais mais propícios para a disposição de resíduos sólidos. Estes materiais representam cerca de 40% da área total compreendida pelas unidades homogêneas delimitadas no Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV), distribuindo-se por toda a área. A classe de adequabilidade desta unidade considerada favorável para a finalidade proposta, localiza-se, principalmente, nos trechos norte e noroeste da área, perfazendo cerca de 2,5% da área de pesquisa (Anexo V).

Uma limitação dos materiais retrabalhados que compreendem a cobertura de superfícies residuais é a sua pequena espessura na área, variando em geral de 0,5m a 5 metros. Desta forma, para se construir aterros sanitários nestas áreas é necessário um estudo prévio do perfil vertical do local considerado, de forma a identificar as características do material subjacente a esta unidade, para posterior avaliação da adequabilidade destes locais para a finalidade pretendida.

Para a definição desta classe, foram considerados os seguintes limites do meio físico (Quadro 13): somatório dos materiais retrabalhados e materiais residuais no mesmo perfil maior do que 10 metros; textura do material argilo-arenosa a areno-argilosa; coeficiente de permeabilidade entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s; *landforms* caracterizados por platôs e encostas suaves; declividade do terreno entre 2% e 5%; nível da água subterrânea (N.A.), em relação à base do aterro,

acima de 10 metros; teor de minerais micáceos menor que 2% e distância da rede de drenagem maior ou igual a 300m.

Uma análise dos intervalos de adequabilidade dos atributos operacionais (Quadro16) possibilitou o estabelecimento de limites quanto à distância mínima entre as áreas delimitadas para a disposição de resíduos sólidos e os atributos avaliados, como: localização na área externa à bacia de captação de água para abastecimento urbano; distância maior do que 2.000m da zona urbana, de áreas de extração mineral, de aeroportos e de áreas de turismo, lazer e/ou proteção ambiental; distância maior que 1.000m de áreas industriais; distância maior que 250m de estradas rodoviárias e estradas de ferro; e, considerando-se as direções preferenciais dos ventos com relação à zona urbana, quando estes estiverem no mesmo sentido, as áreas devem estar a mais de 2.000m de distância, e em sentidos contrários, a pelo menos 1.000m de distância.

O cruzamento final das informações obtidas, considerando-se tanto os atributos do meio físico, como os atributos operacionais, possibilitou uma delimitação mais precisa das áreas pertinentes a esta classe para a finalidade de disposição de resíduos sólidos.

### ❖ **Moderada**

Esta classe ocorre com maior frequência nos trechos central e norte da área, compreendendo cerca de 7% do total mapeado para a finalidade de disposição de resíduos sólidos. Encontra-se associada aos materiais residuais de granitóides com espessuras entre 5m e 25m, no trecho norte, e aos materiais retrabalhados que compreendem a Cobertura de Superfícies Residuais, no trecho oeste. Estes últimos não foram classificados na classe favorável, em função da avaliação dos atributos operacionais, que possibilitaram constatar que estas áreas localizam-se a distâncias inferiores a 5 km da zona urbana (Anexos IV e V).

Os materiais residuais dos granitóides com profundidades entre 5m e 25m, localizam-se, predominantemente, no trecho norte da área, compreendendo

cerca de 15% da área total mapeada no Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV), apresentam uma adequabilidade considerada moderada para a finalidade proposta, uma vez que, embora tenham elevada espessura (5m a 25m), apresentam características desfavoráveis, como: textura areno-siltosa moderadamente micácea (Tabela 3); baixa plasticidade, uma vez que não apresentaram limites de consistência para esta unidade e presença de moderado à alto teor de minerais micáceos (2-10%), avaliados visualmente.

As condições limitantes quanto aos atributos do meio físico avaliados para esta classe na área, de acordo com o Quadro 13, foram: textura do material areno-siltosa; *landforms* caracterizados por interflúvios moderadamente estreitos e encostas moderadamente íngremes; declividade do terreno maior que 5% e menor que 10% e teor de minerais micáceos entre 2% e 10%.

Nas áreas correspondentes a esta classe, apesar dos materiais inconsolidados apresentarem características moderadas de adequabilidade para a finalidade do trabalho, existem restrições quanto à distância mínima entre os atributos operacionais e a provável área de construção do aterro (Quadro 16), como: zona urbana, áreas de extração mineral, aeroporto e áreas de turismo, lazer e/ou proteção ambiental (1.000m – 2.000m); áreas industriais (500m – 1.000m); estradas rodoviárias e estradas de ferro (100m – 250m); aliado à direção relativa dos ventos predominantes em relação à zona urbana, considerando-se o intervalo de 500m – 1.000m para ventos em sentidos contrários e 1.000m – 2.000m para ventos no mesmo sentido da zona urbana.

Ressalta-se que, através da análise dos atributos da área e de suas características para a disposição de resíduos sólidos, algumas áreas inicialmente delimitadas como favoráveis, considerando-se apenas uma avaliação dos atributos do meio físico, podem posteriormente ser inviabilizadas parcial ou totalmente em função de atributos operacionais desfavoráveis, caso estes não atendam aos requisitos necessários para que estas áreas sejam consideradas adequadas para a finalidade proposta.



### ❖ **Inadequada**

A maior parte da área se enquadra nesta classe, perfazendo cerca de 90,5% da área total mapeada (Anexo V). Estas áreas foram classificadas como inadequadas para a finalidade proposta, devido ao fato de apresentarem restrições, seja quanto aos atributos do meio físico, seja no que concerne aos atributos operacionais, ou ambos.

Os materiais residuais de mica xistos do Grupo Araxá presentes em cerca de 30% da área total mapeada no Mapa de Materiais Inconsolidados, principalmente na porção centro-sul (Anexo IV), devem ser evitados para a disposição de resíduos sólidos, uma vez que possuem um teor maior que 10% de minerais micáceos (Tabela3), além de não apresentarem boa plasticidade (Tabela1). A espessura destes materiais também é um fator limitante, uma vez que compreendem, em geral, camadas delgadas de até 2m, com exceção do trecho centro-sul da área onde podem ser observadas espessuras de até 5 metros.

Os materiais inconsolidados que compreendem os Depósitos Aluvionares – Coluvionares Indiferenciados distribuem-se por toda a área, com um percentual de ocorrência de cerca de 5% (Anexo IV), localizando-se sobretudo nos entornos dos sistemas de drenagem principais (materiais aluvionares) (Figura17) e recobrimdo parcialmente encostas suaves (materiais coluvionares). Devido ao seu elevado teor de areia em detrimento das demais frações granulométricas (Tabela 1), estes materiais não são recomendados para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, uma vez que apresentam elevadas porosidade e permeabilidade, o que implicaria em uma maior facilidade de infiltração do chorume e, conseqüentemente, a contaminação da água e do solo nestas áreas. No entanto, estes materiais apresentam uma boa adequabilidade para serem utilizados como material de recobrimento dos resíduos sólidos dispostos no aterro, contribuindo para proporcionar um aspecto agradável, minimizar a entrada de água e a saída de gás, além de evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos e favorecer o crescimento de vegetação na área (Quadro 14).

Os materiais residuais de granitóides com espessuras variáveis de até 5m, localizam-se fundamentalmente no trecho norte da área, compreendendo cerca de 10% da área mapeada no Mapa de Materiais Inconsolidados (Anexo IV). Estes materiais também são considerados inadequados para a finalidade proposta, devido as suas características físicas, similares às dos materiais residuais de granitóides com profundidades mais elevadas (5m a 25m), além de apresentarem pequena espessura, o que inviabilizaria a construção de aterros sanitários nestas áreas.

As condições limitantes quanto aos atributos do meio físico avaliados no Quadro 13, para esta classe, foram: profundidade do substrato rochoso inferior a 5m; textura arenosa a silto-arenosa; teor de minerais micáceos maior que 10%; *landforms* caracterizados por interflúvios muito estreitos, planícies de inundação, terraços fluviais e encostas muito íngremes; declividade do terreno menor que 2% e/ou maior que 10%; nível da água subterrânea (N.A.), em relação à base do aterro menor que 5m e distância da rede de drenagem menor que 200 metros.

Os atributos operacionais (Quadro 16) oferecem condições limitantes para a disposição de resíduos sólidos, de acordo com a distância em que se encontram destas áreas, quanto aos seguintes aspectos: interior de bacias de captação de água para abastecimento urbano, presentes no trecho sudeste da área; proximidades menores que 1.000m de aeroportos, da zona urbana, de áreas de extração mineral e de áreas de turismo, lazer e/ou proteção ambiental; distâncias inferiores a 500m de áreas industriais e menores que 100m de estradas rodoviárias e estradas de ferro; aliadas às direções relativas dos ventos em relação à zona urbana, considerando-se distâncias inferiores a 500m para ventos em sentido contrário e inferiores a 1.000m no mesmo sentido.

As restrições oferecidas pelos atributos do meio físico na área podem, inicialmente, considerá-la como inadequada para a finalidade de disposição de resíduos sólidos, independente da adequabilidade dos atributos operacionais, uma vez que estes últimos apenas complementam os primeiros, podendo, contudo, inviabilizá-los no processo de zoneamento final do meio físico (Anexos IV e V).

### **5.3. ANÁLISES DE ADEQUABILIDADE PARA O RECOBRIMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS**

Através de uma correlação entre os dados obtidos na Tabela 3 com os valores apresentados no Quadro 14, foi efetuada uma avaliação do comportamento dos materiais das unidades homogêneas delimitadas na área com relação à Classificação Unificada (SUCS) e à Classificação H.R.B. (AASHO), quanto à finalidade de recobrimento de aterros, podendo ser utilizados como áreas de empréstimo.

- Coberturas de Superfícies Residuais (CSR)
  - Resultados segundo a Classificação Unificada: “CL” - argila pouco plástica com areia e argila pouco plástica arenosa.
  - Resultados segundo a Classificação H.R.B.: “A-7-5” (solos argilosos), “A-5” (solos siltosos), “A-6” (solos argilosos), “A-7-6” (solos argilosos) e “A-4” (solos siltosos).
  - Resultados segundo o Quadro 14: são excelentes a bons para evitar insetos, minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro, minimizar a saída de gás, além de dar aspecto agradável ao aterro e evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos.
  
- Residuais do Grupo Araxá (RGAxq)
  - Resultados segundo a Classificação Unificada: “ML” (silte arenoso), “SM” (areia siltosa) e “MH” (silte elástico).
  - Resultados segundo a Classificação H.R.B.: “A-6” (solos argilosos), “A-4” (solos siltosos) e “A-7-5” (solos argilosos).
  - Resultados segundo o Quadro 14: são excelentes a bons para evitar insetos, minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro, minimizar a saída de gás, além de dar aspecto agradável ao aterro e evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos.

□ Residuais dos Granitóides (RGP)

- Resultados segundo a Classificação Unificada: “ML” (silte arenoso) e “CL” (argila pouco plástica com areia e argila arenosa).
- Resultados segundo a Classificação H.R.B.: “A-6” (solos argilosos) e “A-4” (solos siltosos).
- Resultados segundo o Quadro 14: são excelentes a bons para evitar insetos, minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro, minimizar a saída de gás, além de dar aspecto agradável ao aterro e evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos.

□ Residuais dos Granitóides de Pequena Espessura (RGR)

- Resultados segundo a Classificação Unificada: “ML” (silte arenoso) e “SM” (areia siltosa).
- Resultados segundo a Classificação H.R.B.: “A-4” (solos siltosos).
- Resultados segundo o Quadro 14: são bons a excelentes para evitar insetos, minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro, minimizar a saída de gás, além de dar aspecto agradável ao aterro, evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos e propiciar o crescimento de vegetação.

□ Depósitos Aluvionares Coluvionares Indiferenciados (DACI)

- Resultados segundo a Classificação Unificada: “SM” (areia siltosa) e “SC” (areia argilosa).
- Resultados segundo a Classificação H.R.B.: “A-1-a” (pedregulho e areia) e “A-2-6” (pedregulhos e areias siltosas ou arenosas).
- Resultados segundo o Quadro 14: são bons a excelentes para evitar insetos, minimizar a entrada de água ou de umidade no aterro, minimizar a saída de gás, além de dar aspecto agradável ao aterro, evitar o esvoaçar de papéis ou plásticos e propiciar o crescimento de vegetação.

TABELA 1: Resultados de ensaios de laboratório e índices físicos obtidos para unidades de materiais inconsolidados.

Unidades de Materiais Inconsolidados Ponto n°	Prof. (m)	Granulometria (ABNT – NBR 6502/82) (%)								Limites de Consistência (%)		
		Finos (%)			Areia (%)				PED	LL	LP	IP
		AR	SI	FT	AF	AM	AG	AT				
RGR - 01	1,0	30	22	52	33	11	04	48	00	NP	NP	NP
CSR - 02	1,2	50	07	57	20	13	08	41	02	55	37	18
CSR - 03	1,0	47	22	69	25	04	02	31	00	45	30	15
CSR - 04	1,5	11	46	57	35	06	01	42	00	44	37	07
RGP - 05	3,5	20	48	68	13	16	03	25	02	NP	NP	NP
DACI- 06	1,0	07	07	14	60	25	01	86	00	NP	NP	NP
RGAxq - 07	1,5	14	34	48	45	02	03	50	02	NP	NP	NP
RGAxq - 08	1,0	22	29	51	26	13	08	47	02	NP	NP	NP
RGAxq - 09	1,2	18	45	63	33	02	02	37	00	NP	NP	NP
RGAxq - 10	1,0	20	14	34	64	02	00	66	00	NP	NP	NP
RGAxq - 11	2,5	48	40	88	10	02	00	12	00	59	39	20
CSR - 12	1,0	38	22	60	33	05	02	37	00	31	16	15
RGAxq - 13	1,0	22	38	60	33	03	02	38	02	NP	NP	NP
RGAxq - 14	1,5	50	24	74	15	07	03	25	01	NP	NP	NP
CSR - 15	1,2	58	15	73	23	03	01	27	00	44	33	11
CSR - 16	2,3	49	10	59	23	13	03	39	02	41	21	20
DACI - 17	1,0	18	12	30	65	05	00	70	00	NP	NP	NP
CSR - 18	1,5	58	14	72	25	03	00	28	00	40	29	11
RGP - 19	1,2	44	10	54	42	04	00	46	00	33	20	13
RGR - 20	1,0	18	30	48	46	03	03	52	00	NP	NP	NP
RGR - 21	1,0	19	14	33	33	22	05	60	07	NP	NP	NP
RGP - 22	1,5	24	30	54	40	02	03	45	01	NP	NP	NP
RGAxq - 23	1,0	08	26	34	54	10	02	66	00	NP	NP	NP
CSR - 24	2,5	47	11	58	39	03	00	42	00	31	23	08

AR - Argila (%)

SI - Silte (%)

FT - Finos totais (%)

AF - Areia fina (%)

AM - Areia média (%)

AG - Areia grossa (%)

AT - Areia total (%)

PED - Pedregulho (%)

LL - Limite de liquidez (%)

LP - Limite de plasticidade (%)

IP - Índice de plasticidade (%)

NP - Não plástico

TABELA 2: Resultados de ensaios de laboratório e índices físicos obtidos em campo e laboratório para unidades de materiais inconsolidados.

Unidades de Materiais Inconsolidados Ponto n°	Prof. (m)	Compactação (Proctor Normal)		Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )			W <sub>(campo)</sub> (%)	GC (%)	e <sub>(campo)</sub>	n (%)	S <sub>r</sub> (%)	K (estimada para solos compactados) (cm/s)
		W <sub>ot</sub> (%)	ρ <sub>dmáx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>(aparente)</sub>	ρ <sub>s</sub>	ρ <sub>d(campo)</sub>						
RGR - 01	1,0	30,30	1,44	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-5</sup>
CSR - 02	1,2	22,50	1,62	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
CSR - 03	1,0	25,10	1,52	1,33	2,74	1,02	30,02	67,11	1,68	62,69	48,93	10 <sup>-6</sup>
CSR - 04	1,5	26,20	1,49	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
RGP - 05	3,5	18,40	1,61	1,26	2,68	0,97	30,18	60,25	1,76	63,77	45,68	10 <sup>-5</sup>
DACI - 06	1,0	15,40	1,66	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-4</sup>
RGAxq - 07	1,5	11,00	1,67	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-5</sup>
RGAxq - 08	1,0	24,75	1,47	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-5</sup>
RGAxq - 09	1,2	20,00	1,61	1,52	2,79	1,27	20,04	78,88	1,20	54,52	46,5	10 <sup>-5</sup>
RGAxq - 10	1,0	16,00	1,72	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-4</sup>
RGAxq - 11	2,5	33,4	1,50	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
CSR - 12	1,0	24,3	1,56	1,38	2,62	1,10	26,12	70,51	1,38	57,98	49,36	10 <sup>-6</sup>
RGAxq - 13	1,0	19,0	1,66	1,47	2,62	1,15	28,06	69,28	1,28	56,14	57,31	10 <sup>-5</sup>
RGAxq - 14	1,5	23,2	1,53	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-5</sup>
CSR - 15	1,2	23,9	1,52	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
CSR - 16	2,3	23,9	1,50	1,21	2,67	0,95	28,05	78,51	1,81	64,41	41,30	10 <sup>-6</sup>
DACI- 17	1,0	17,6	1,72	1,20	2,75	0,99	21,03	57,59	1,78	64,03	32,44	10 <sup>-6</sup>
CSR - 18	1,5	26,7	1,48	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
RGP - 19	1,2	19,0	1,67	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-6</sup>
RGR - 20	1,0	18,2	1,63	1,15	2,71	0,95	21,14	58,28	1,85	64,91	30,76	10 <sup>-5</sup>
RGR - 21	1,0	16,2	1,78	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-4</sup>
RGP - 22	1,5	19,6	1,66	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 <sup>-5</sup>
RGAxq - 23	1,0	21,2	1,62	1,46	2,74	1,17	25,08	72,22	1,34	57,26	51,12	10 <sup>-4</sup>
CSR - 24	2,5	20,9	1,50	1,45	2,59	1,11	31,7	74,00	1,33	57,08	60,37	10 <sup>-6</sup>

W<sub>ot</sub> - Umidade ótima de compactação (%)

ρ<sub>dmáx</sub> - Massa específica seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)

ρ<sub>(aparente)</sub> - Massa específica aparente de campo (g/cm<sup>3</sup>)

ρ<sub>s</sub> - Massa específica dos sólidos (g/cm<sup>3</sup>)

ρ<sub>d(campo)</sub> - Massa específica seca de campo (g/cm<sup>3</sup>)

W<sub>(campo)</sub> - Umidade de campo (%)

GC - Grau de compactação (%)

e<sub>(campo)</sub> - Índice de vazios de campo (%)

n - Porosidade (%)

S<sub>r</sub> - Grau de saturação (%)

K<sub>(estimada)</sub> - Permeabilidade estimada (%)

Permeabilidade média estimada para solos

compactados, sob energia normal, segundo:

CASAGRANDE & FADUM (1940). In:U.S.D.I.B.R.(1987)

NE - Não estimado

TABELA 3: Classificações utilizadas para avaliação dos resultados de ensaios granulométricos das unidades de materiais inconsolidados.

Unidades de Materiais Inconsolidados Ponto nº	Prof. (m)	Classificação Granulométrica (ABNT – NBR 6502/82) (%)	Classificação Unificada (SUCS) CASAGRANDE & FADUM (1940) In: U.S.D.I.B.R. (1987)	Classificação H.R.B. (AASHO) CASAGRANDE & FADUM (1940) In: U.S.D.I.B.R. (1987)
RGR - 01	1,0	Areia fina argilosa moderadamente micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
CSR – 02	1,2	Argilo-arenosa	MH – Silte elástico arenoso	A-7-5 – Solos Argilosos
CSR – 03	1,0	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica com areia	A-7-5 – Solos Argilosos
CSR - 04	1,5	Silto-arenosa	CL – Argila pouco plástica arenosa	A-5 - Solos Siltosos
RGP – 05	3,5	Silto-arenosa moderadamente micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
DACI – 06	1,0	Areia fina à média moderadamente micácea	SM – Areia siltosa	A-1-a – Pedregulho e Areia
RGAxq – 07	1,5	Areia fina siltosa muito micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq – 08	1,0	Areia fina à média siltosa muito micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq – 09	1,2	Silto-arenosa muito micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq - 10	1,0	Areia fina argilosa muito micácea	SM – Areia siltosa	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq - 11	2,5	Argilo-siltosa moderadamente micácea	MH – Silte elástico	A-7-5 – Solos Argilosos
CSR – 12	1,0	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica arenosa	A-6 – Solos Argilosos
RGAxq – 13	1,0	Silto-arenosa muito micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq – 14	1,5	Argilo-arenosa moderadamente micácea	ML – Silte com areia	A-4 – Solos Siltosos
CSR – 15	1,2	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica com areia	A-7-5 – Solos Argilosos
CSR – 16	2,3	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica arenosa	A-7-6 – Solos Argilosos
DACI- 17	1,0	Areia fina argilosa moderadamente micácea	SC – Areia argilosa	A-2-6 – Pedregulhos e Areias Siltosas ou Argilas
CSR – 18	1,5	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica com areia	A-6 – Solos Argilosos
RGP – 19	1,2	Argilo-arenosa pouco micácea	CL – Argila pouco plástica arenosa	A-6 – Solos Argilosos
RGR – 20	1,0	Areia fina siltosa moderadamente micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGR – 21	1,0	Areia fina à média argilosa moderadamente micácea	SM – Areia siltosa	A-4 – Solos Siltosos
RGP – 22	1,5	Areia fina siltosa moderadamente micácea	ML – Silte arenoso	A-4 – Solos Siltosos
RGAxq – 23	1,0	Areia fina siltosa muito micácea	SM – Areia siltosa	A-4 – Solos Siltosos
CSR - 24	2,5	Argilo-arenosa	CL – Argila pouco plástica arenosa	A-4 – Solos Siltosos

Considerando-se os seguintes intervalos quanto à presença de minerais micáceos: (< 2 %) - Pouco micáceo  
(2 - 10 %) - Moderadamente micáceo  
(> 10 %) - Muito micáceo

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

No decorrer do trabalho diversos fatores foram favoráveis ou não para a sua realização, tanto com relação à metodologia proposta, quanto à própria região estudada. A partir dos aspectos envolvidos, algumas conclusões e recomendações podem ser destacadas:

- ❖ Este estudo permitiu mapear em escala de detalhe (1:25.000) uma área pouco conhecida do ponto de vista geotécnico, embora a ausência de material cartográfico, sobretudo mapas topográficos, em escala compatível com a escala adotada, tenha dificultado a obtenção de atributos considerados fundamentais, como a declividade do terreno;
- ❖ A organização das etapas a serem cumpridas no trabalho foi sistematizada em um fluxograma (Figura 4), considerando-se uma hierarquia de decisão. Este procedimento possibilitou uma visão global da inter-relação entre as várias etapas do mapeamento geotécnico efetuado;
- ❖ A elaboração do fotomosaico georreferenciado da área (Anexo I) a partir da utilização de procedimentos de fotointerpretação, aliado a trabalhos de campo, com captura de pontos de controle, mostrou-se como uma alternativa viável para a produção da base cartográfica da área (Mapa de Documentação) (Anexo II). Este procedimento atendeu aos objetivos esperados, podendo ser aplicado em áreas que apresentem uma ausência de mapas topográficos em escala compatível com a escala adotada;
- ❖ O geoprocessamento se caracterizou como uma ferramenta imprescindível para o procedimento de geração do fotomosaico georreferenciado da área, bem como para a produção da base cartográfica (Anexo II), do Mapa do Substrato Rochoso (Anexo III), do Mapa de Materiais Inconsolidados



(Anexo IV) e da Carta Preliminar para a Disposição de Resíduos Sólidos (Anexo V), o que implicou na minimização do tempo, no aumento da precisão e na melhoria da qualidade dos materiais produzidos;

- ❖ A análise da relação de atributos do meio físico, proposta por ZUQUETTE *et al.* (1994), bem como dos seus intervalos de variação, foram fundamentais na orientação da escolha daqueles a serem considerados para avaliação, embora alguns destes intervalos sejam gerais e tenha sido necessário adaptá-los para a área (Quadros 13 e 16);
- ❖ O uso de perfis de alteração para a caracterização das unidades homogêneas de materiais inconsolidados otimizou a amostragem e, conseqüentemente, os ensaios, pois permitiu que fossem realizados de forma coerente, com relação ao tempo de execução, além de propiciar uma boa representatividade destes materiais nas unidades geotécnicas delimitadas;
- ❖ O mapeamento geotécnico é o procedimento adequado para se efetuar a delimitação de áreas, mediante a definição de classes de adequabilidade, para a disposição de resíduos sólidos, sendo imprescindível para aplicação em municípios com mais de 50.000 habitantes, como o caso de Araxá, que necessitam construir um aterro sanitário para disporem seus resíduos de forma adequada. Desta forma, ressalta-se a importância da escolha de uma metodologia que melhor se compatibilize com a finalidade do trabalho proposto e com as características da área de pesquisa;
- ❖ As avaliações efetuadas na área possibilitaram um maior entendimento sobre as características dos atributos avaliados, bem como de seus intervalos de variação para a finalidade proposta. Desta forma, constatou-se que, o local onde funciona o atual aterro controlado de Araxá, é uma área considerada “moderada”, em uma avaliação preliminar, para a finalidade de disposição de resíduos sólidos (AnexoV), devido à limitações quanto às características dos atributos obtidos para estes materiais (Quadro 13). Dessa forma, recomenda-se a sua utilização para a

finalidade proposta com restrições, devendo-se para tanto, adotar medidas técnicas adequadas de forma a melhorar a sua adequabilidade para a finalidade proposta;

- ❖ Algumas áreas consideradas inadequadas para a disposição de resíduos sólidos com base nos limites propostos pela metodologia adotada (ZUQUETTE, 1987), podem ser utilizadas para esta finalidade, desde que a maioria dos atributos considerados fundamentais sejam favoráveis e as deficiências naturais possam ser corrigidas através de procedimentos técnicos específicos;
- ❖ Salienta-se que os dados de permeabilidade obtidos para as unidades homogêneas delimitadas foram estimados a partir de valores médios do gráfico de correlação estabelecido por CASAGRANDE & FADUM (1940), In: U.S.D.I.B.R (1987) para solos compactados. Desta forma, os valores de permeabilidade obtidos (Tabela 2) devem ser mais elevados para solos naturais;
- ❖ Os dados obtidos podem ser utilizados para finalidades rodoviárias, delimitação de áreas de empréstimo para recobrimento do aterro e implementação de vias de acesso;
- ❖ Ressalta-se que, a carta preliminar elaborada para a disposição de resíduos sólidos na área (Anexo V), foi produzida mediante os resultados da avaliação e integração das características dos atributos do meio físico e operacionais, apenas para a finalidade de disposição de resíduos sólidos Classe-II (resíduos não inertes), que compreendem os resíduos domiciliares, conforme a ABNT/NBR-10.004/87. Desta forma, para viabilizar a disposição de resíduos Classe-I (resíduos perigosos) e resíduos Classe-III (resíduos inertes) nestas áreas, faz-se necessário, a implementação de estudos específicos que possibilitem a geração de cartas interpretativas para estas finalidades;

- ❖ Recomenda-se a elaboração de mapas de declividade e de profundidade do nível da água subterrânea (N.A.) na área, em escala 1:25.000 ou maiores, de forma a possibilitar estudos mais aprofundados visando atender a várias finalidades de ocupação;
- ❖ Recomenda-se que, no processo de seleção de áreas para a construção de aterro sanitário, sejam realizados procedimentos direcionados para esta finalidade, como: investigações de campo, sondagens e ensaios específicos em áreas previamente delimitadas como favoráveis ou moderadas para a finalidade proposta, de forma a definir com maior exatidão e controle técnico as áreas mais adequadas;
- ❖ Neste trabalho não houve a pretensão de esgotar o tema e outros trabalhos poderão ser efetuados no sentido de buscar novos dados referentes aos atributos avaliados e/ou outros, para melhor caracterizar a área no que concerne às especificidades do meio físico;
- ❖ Espera-se que a realização do presente trabalho possa fornecer subsídios para novos estudos no âmbito do município de Araxá, enfocando outros aspectos do meio físico de importância para avaliações geoambientais, no sentido de viabilizar o planejamento do uso e ocupação do meio físico de forma adequada.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

AB'SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogenéticas do Brasil.** Revista Orientação. São Paulo: IG-USP, 1970. p. 22-37.

AGUIAR, R. L. **Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental.** São Carlos (SP), 1997. Tese de Doutorado - Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 234p.

ALKER, S. C., SARSBY, R. W., HOWELL, R. **The composition of leachate from waste disposal sites.** In: Waste Disposal by Landfill - Symposium Gree'93, Bolton, United Kingdom, Anais. A. A. Balkema, 1995. p. 215-223.

ALLEN, A. R. **Sustainability in landfilling: containment versus dilute disperse.** In: 8<sup>TH</sup> International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 1998. p. 2423-2430.

ALMEIDA, F. F. M., HASUY, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. **Províncias estruturais brasileiras.** In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. SBG, 1977. p. 363-391.

ANEX, R. P. **Optimal waste decomposition - landfill as treatment process.** Journal of Environmental Engineering, v. 122, n. 11. 1996. p. 964-974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). **Graus de coerência.** São Paulo, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-6502/82**: rochas e solos – terminologia. São Paulo, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-6459/84**: solo - determinação do limite de liquidez. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-7180/84**: solo - determinação do limite de plasticidade. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-7181/84**: solo - análise granulométrica. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-6458/84**: grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8mm - determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-6508/84**: grãos de solos que passam na peneira 4,7mm - determinação da massa específica. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-8849/85**: apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos. São Paulo, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-6457/86**: amostras de solo- preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-7182/86**: solo - ensaio de compactação. São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-9604/86**: abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-10004/87**: resíduos sólidos; classificação. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/NBR-10006/87**: solubilização de resíduos. São Paulo, 1987.

BACCARO, C. A. D. **Estudos dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em áreas de cerrado**. Uberlândia-M.G. Tese de Doutorado. São Paulo: EDUSP, 1990.

BALDERRAMA, L. M. B. **Estudo de impacto ambiental causado por aterro sanitário via migração de gases**. Campinas, Dissertação de Mestrado - Universidade de Campinas. 1993. 103p.

BARBOSA, O., BRAUN, O. P. G., DYER, R. C., CUNHA, A. R. da. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Ministério das Minas e Energia. Boletim DNPM. Rio de Janeiro, n. 136. 1970.

BARROSO, J. A. **Geological geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region**. 5<sup>TH</sup> International IAEG Congress, Buenos Aires, v. 6. 1986. p. 1715-1724.

BASÍLIO, J. A. F. **Proposta de procedimentos para seleção preliminar de áreas para aterros sanitários a partir de cartas geotécnicas**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro-S.P., 2001. 138p.

BENVENUTO, C. **A concepção e a construção de aterros sanitários**. In: III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos - REGEO'95, Ouro Preto, 1995. Anais. p. 551-561.

BIDONE, F. R. A, POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, EESC/USP. 1999. 120p.

BROLLO, M.J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos - aplicação na região metropolitana de Campinas (S.P.)**. Tese de Doutorado. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2001. 213p.

CENTRO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais**. Série de Publicações Técnicas. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1983.

CERRI, L. E. S. **Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas**: reflexões sobre escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8. Rio de Janeiro, 1996. Anais...Rio de Janeiro, ABGE, v. 2. p. 537-548.

CHRISTENSEN, T. H. **Environmental aspects of sanitary landfilling**. Academic Press. 1989. 370p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Caracterização de indicadores geomorfológicos para a análise da sustentabilidade ambiental**. Sociedade e Natureza. Uberlândia, v.8 (15), 1996.

COMPANHIA DE MINERAÇÃO DE MINAS GERAIS (COMIG) - **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais e Texto Explicativo**. 1994, 1:1.000.000. 97p.

CUNHA, M. A., CONSONI, A. J. **Os estudos do meio físico na disposição de resíduos**. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, ABGE. Série Meio Ambiente. 1995.

DANIEL, D. E. **Landfills and impoundments**. In: Geotechnical practice for waste disposal. Published by Chapman & Hall, 1993. 683p.

DEERE, D. U., PATTON, F. D. **Slope stability in residual soils.** In: COPAMSEF, 4, Lima. Anais. 1971.

ELIS, V. R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos.** Tese de Doutorado - Universidade Estadual de São Paulo. Rio Claro, 1998. 264p.

ENVI 3.5. **Guia em português do ENVI 3.5.** Sul Soft, Research Systems . 2001. 97p.

FILHO, F. V. de R. **Mosaico digital semi-controlado obtido de aerofotos coloridas não métricas.** Monografia de especialização em cartografia UFMG, Belo Horizonte, 2001. 78p.

FINLAYSON, A. A., BUCKLAND, A. J. **The use of terrain evaluation for urban and regional planning.** In: the role of geology in urban development, Hong Kong. Proceedings...Hong Kong: Geological Society of Hong Kong, Bulletin n. 3, 1987. p. 67-68.

FOLKES, D. J. **Fifth Canadian Geotechnical Colloquium:** control of contaminant by the use of liners. Canadian Geotechnical Journal, v. 19, n. 3, 1982. p. 320-344.

GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT. **Tropical residual soils.** Quaterly Journal of Engineering Geology. V. 23. n. 1. 1990. p.27-53.

GOMES, C. G., PALMEIRA, E. M. **Utilização e geotêxteis e geomembranas como redutores de impactos ambientais por disposição de resíduos.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7. Poços de Caldas, 1993. Anais. Minas Gerais, ABGE. V. 1, p. 179-187.

GOMES, R. G., RIBEIRO, L. F. M., LOPES, M. C. O. **Concepção, projeto e implantação do aterro sanitário de Ouro Preto/MG.** In: 11º Congresso



Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11, Brasília, 1998. Anais. v. 3. p. 1885-1891.

GRANT, K. **Terrain features of the Mt. Isa-Dajarra region and an assessment of their significance in relation to potential engineering land use.** Melbourne. CSIRO - Soil Mechanics Section Technical Paper n. 1, 1965. 110 p.

GRANT, K., FINLAYSON, A. A. **The application of terrain analysis to urban and regional planning.** In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists, 3, 1978, Paris. Proceedings...Paris: 1978, v. 1. p. 79-91.

HABERLEHNER, H. **Princípios de mapeamento geotécnico.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 20. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SBG, 1966. p. 37-39.

HASSUI, Y., CORDANI, U. G. **Idades potássio-argônio de rochas eruptivas mesozóicas do Oeste Mineiro e Sul de Goiás.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22. Belo Horizonte. Anais, SBG, 1968. p. 139-43.

HIRATA, R.C.A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, 1994. 179p.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (IGA). **Mapa Topográfico do Município de Araxá e Texto Explicativo.** Belo Horizonte, 1984. 1:100.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Spring básico tutorial 10 aulas - Spring: 3.5.** (versão windows), 2001. 87p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT). **O gerenciamento integrado do lixo municipal.** In: JARDIM, N. S. (ed.) Lixo Municipal Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo, IPT. 1995. 278p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT). **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE, 2000. 370p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Mapa de observações meteorológicas mensais**. Estação de Araxá, nº 83.579. Período de leitura: Janeiro a Dezembro, 2003.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT (IAEG). **Guide pour la préparation des cartes géotechniques**. Lês Presses de l'UNESCO. Paris. 1976, p. 79.

ISSA FILHO, A., LIMA, P. R. A. dos S., SOUZA, O. M. de. **Aspectos da geologia do Complexo Carbonatítico do Barreiro, Araxá-M.G.**, Brasil. São Paulo: CBMM, 1984. 44p.

KATAOCA, S. M. **Avaliação de áreas para disposição de resíduos**: proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial. Dissertação de Mestrado em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, 2000. 124p.

KAYABAH, K. **Engineering geological aspects of replacing a solid waste disposal site with a sanitary landfill**. Engineering Geology, v. 44, n. 1., 1996. p. 203-212.

LANGER, M. **Waste disposal in the Federal Republic of Germany**: concepts, criteria, scientific investigations. IAEG Bulletin, n. 39, Paris, 1989. p. 53-58.

LANGER, M. **Geoscientific evaluation of geological and geotechnical barriers with respect to waste disposal projects**. In: 7<sup>TH</sup> International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam, 1994. p. 2827-2835.

LANGER, M. **Engineering geology and waste geology**. IAEG Bulletin, n. 51, Paris, 1995. p. 5-29.

LEITE, J. C. **Avaliação da variabilidade da difusão molecular em solos naturais compactados**: uma perspectiva para uso em *liners*. Revisão Bibliográfica, 1998. 125p.

LEITE J. C., ZUQUETTE, L. V. **Atributos fundamentais à elaboração da carta de suscetibilidade à contaminação e poluição das águas superficiais**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, Rio de Janeiro, 1996. Anais. ABGE. p. 177-183.

LEITE J. C., ZUQUETTE, L. V. **Prevenção da contaminação e poluição de aquíferos**: a utilização de *liners*. Geociências, v. 14, n. 1, 1995. p. 167-178.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de Lixo**. São Paulo: Hemus Editora Ltda. 1985. 240p.

LIMA, L. M. Q. **Estudo da influência da reciclagem de chorume na aceleração da metanogênese em aterro sanitário**. São Carlos, Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1988. 242 p.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico**: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. São Carlos, 2v. Tese de Doutorado em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1995. 289p.

LOLLO, J. A., ZUQUETTE, L. V. **A técnica de avaliação do terreno e suas possibilidades de aplicação no mapeamento geotécnico**: exemplo de um sistema de terreno identificado na região de São Carlos (SP). Geociências (São Paulo), 15 (1), 1996. p. 147-161.

LUZ, F. X. R. **Aterro sanitário, características, limitações, tecnologia para a implantação e a operação**. CETESB-SP, 1981. 58p.

MARQUES, A. C. M. **Aterros Sanitários**: caracterização, comportamento geomecânico e técnicas operacionais. Revisão bibliográfica de doutoramento. Seminários Gerais em Geotecnia - EESC, 1999. 189p.

McBEAN, E. A., ROVERS, F. A., FARQUHAR, F. **Solid waste landfill engineering and design**. Prentice Hall PTR. 1995. 521p.

MORELI, L. **Situação inadequada acaba ameaçando a saúde de catadores que se alimentam do lixo para sobreviver**. Folha de São Paulo, São Paulo, 5 jun. Cotidiano, 2000. p.1.

NISHIYAMA, L. **Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes**. Uberlândia: EDUFU, Sociedade e Natureza, v. 1, Junho, 1989. p. 9-16.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000**: aplicação no município de Uberlândia-M.G. 2v. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998. 363p.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1988. 197p.

NUNES, C. R. **Proposta de metodologia para a elaboração de projetos de aterros sanitários celulares**. Campinas, Dissertação de Mestrado - Universidade de Campinas. 1994. 133 p.

OGATA, M. G. **Os resíduos na organização do espaço e na qualidade do ambiente urbano**: uma contribuição geográfica ao estudo do problema na cidade de São Paulo. São Carlos. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.1983. 189p.

PEJON, O. J., ZUQUETTE, L. V. **Importância dos estudos geológico-geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos**. In: Simpósio sobre

Barragens e Disposição de Resíduos-REGEO' 91, v.1. Rio de Janeiro, 1991. p.367-377.

PHILIPPI Jr., A. **Sistema de resíduos sólidos**: coleta e transporte no meio urbano. São Paulo (S.P.). Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Ambiental. Universidade de São Paulo, 1979. 143p.

PIRES NETO, A. G. **As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica, uma proposição metodológica para a geomorfologia**. FFLCH/USP. Tese de Doutorado em Geografia Física. São Paulo, 1991. 123p.

PRANDINI, F. L. **Cartas geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais**. In: BITAR, O. Y. Curso de geologia de engenharia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE, 1995. p. 187-202.

REZENDE, M. B. **Material didático das aulas práticas**. Uberlândia, 1997. 42p.

RITTER, D. F., KOCHER, R. C., MILLER, J. R. **Process geomorphology**. Wm. C. Publishers. 3 ed. 1995. 544p.

ROBINSON, W. D. **The solid waste handbook**: a practical guide. Canada, J. Wiley & Sons, Inc. 1986. 811p.

ROCCA R.B. **Resíduos sólidos industriais**. 2 ed. Ver. Ampl. São Paulo: CETESB. 1993. 223p.

ROHDE, M. G. **Métodos de seleção de áreas para aterros sanitários**. Boletim Técnico, CIENTEC, n. 13. 1989. p. 9-23.

ROWE, R. K. **Contaminant migration through groundwater**: The role of modeling in the design of barriers. Eleventh Canadian Geotechnical Colloquium. Canadian Geotechnical Journal, v. 25, n. 4, 1998. p. 778-798.

SCHALCH, V. **Aterro Sanitário**: Considerações do sítio, projeto, implantação, operação e monitoramento. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1990. p. 123-126.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Agenda 21. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo, 1992.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE. **Relatório Preliminar**. Prefeitura Municipal de Araxá-M.G., 1997.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE (SMA). **Proposta de Política Estadual de Resíduos Sólidos**. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, (Série Documentos Ambientais), 1998. 68p.

SEER, H. J. **Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá-M.G.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 1999. 197p.

SHARMA, H. D., LEWIS, S. P. **Waste containment systems, waste stabilization and landfills: design and evaluation**. New York: J. Wiley, 1994. 585p.

SOARES, P. C., FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Not. Geomorfológicas, Campinas, 16 (32), 1976. p. 55-70.

SOUZA, N. C. D. C., ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico com base em perfis típicos de alteração para caracterização de unidades de terreno**. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2. São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. SBG/SP-RJ. 1991. p. 345-352.

SOUZA, N. C. D. C. **Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguaí**: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração.

Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2v, 1992. 227p.

STANCATI G., NOGUEIRA, J. B., VILAR, O. M. **Ensaio de laboratório em mecânica dos solos**. São Carlos: EDUSP, 1981. 208p.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. **Integrated solid waste management engineering principles and management issues**. McGraw-Hill, 1993. 978p.

TSAI, T. D., VESILIND, P. A. **A new landfill liner to reduce ground-water contamination from heavy metals**. Journal of Environmental Engineering, v. 124, n. 11, 1998. p. 1061-1065.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION (U.S.D.I.B.R.). **A water resources technical publication**. United States Government Printing Office. Third Edition. Denver, Colorado, 1987. 860p.

VIANA, H. S., DAVIS, E.G., BEATO, D. A. C., CABRAL, J.A. de L. **Projeto Araxá: estudo geoambiental das fontes hidrominerais**. Belo Horizonte: COMIG/CPRM, 1999. 125p.

WILHEIM, J. **Plano Diretor Estratégico de Araxá: diagnóstico e tendências**. Dezembro, 2002.

ZAINE J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000. 256p.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese de Doutorado - Escola

de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2v. 1987. 300p.

ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. **Mapeamento geotécnico**: levantamento e análise de metodologias e sistemáticas mais utilizadas. Anais do VII Congresso Latino Americano de Geologia, Belém, Pará, 1988, v. 1. p. 591-650.

ZUQUETTE, L. V., GANDOLFI, N. **Mapeamento geotécnico**: uma proposta metodológica. Revista Geociências (São Paulo), v. 9, 1990. p. 55-66.

ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. **Problems and rules to select landfill waste disposal sites**. .Brazil. In: International Symposium on Urban Geology, Sfax, Tunisia, Theme VI. Les Dechets Urbains. 1991.p.300-309.

ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. **Mapeamento geotécnico da região de Campinas - SP, Brasil e sua importância para o planejamento regional**. Revista Geociências (São Paulo), 11 (2), 1992. p. 191-206.

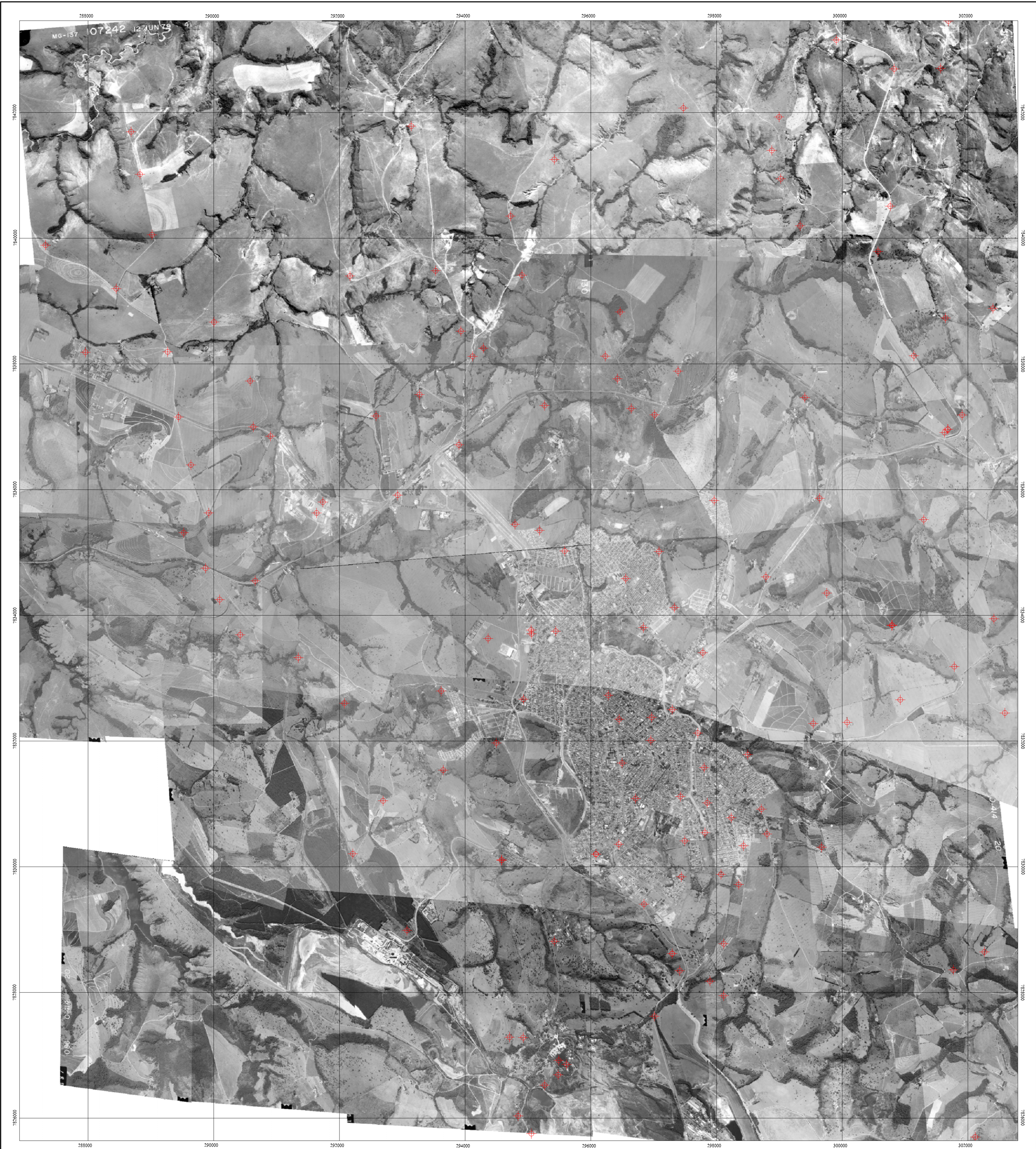
ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para elaboração. Tese de Livre Docência. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993. 234p.

ZUQUETTE, L.V., PEJON, O. J., SINELI, O., GANDOLFI, N. **Methodology for specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal**. In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists, 7. Proceedings...Lisboa: A. A. Balkema, v. 4, 1994. p. 2481-2489.

ZUQUETTE, L. V., PEJON, O. J., GANDOLFI, N., RODRIGUES, J. E. **Mapeamento geotécnico**: parte I - Atributos e procedimento básicos para a elaboração de mapas e cartas. Geociências (São Paulo), v. 16, n 2, 1997. p. 491-524.



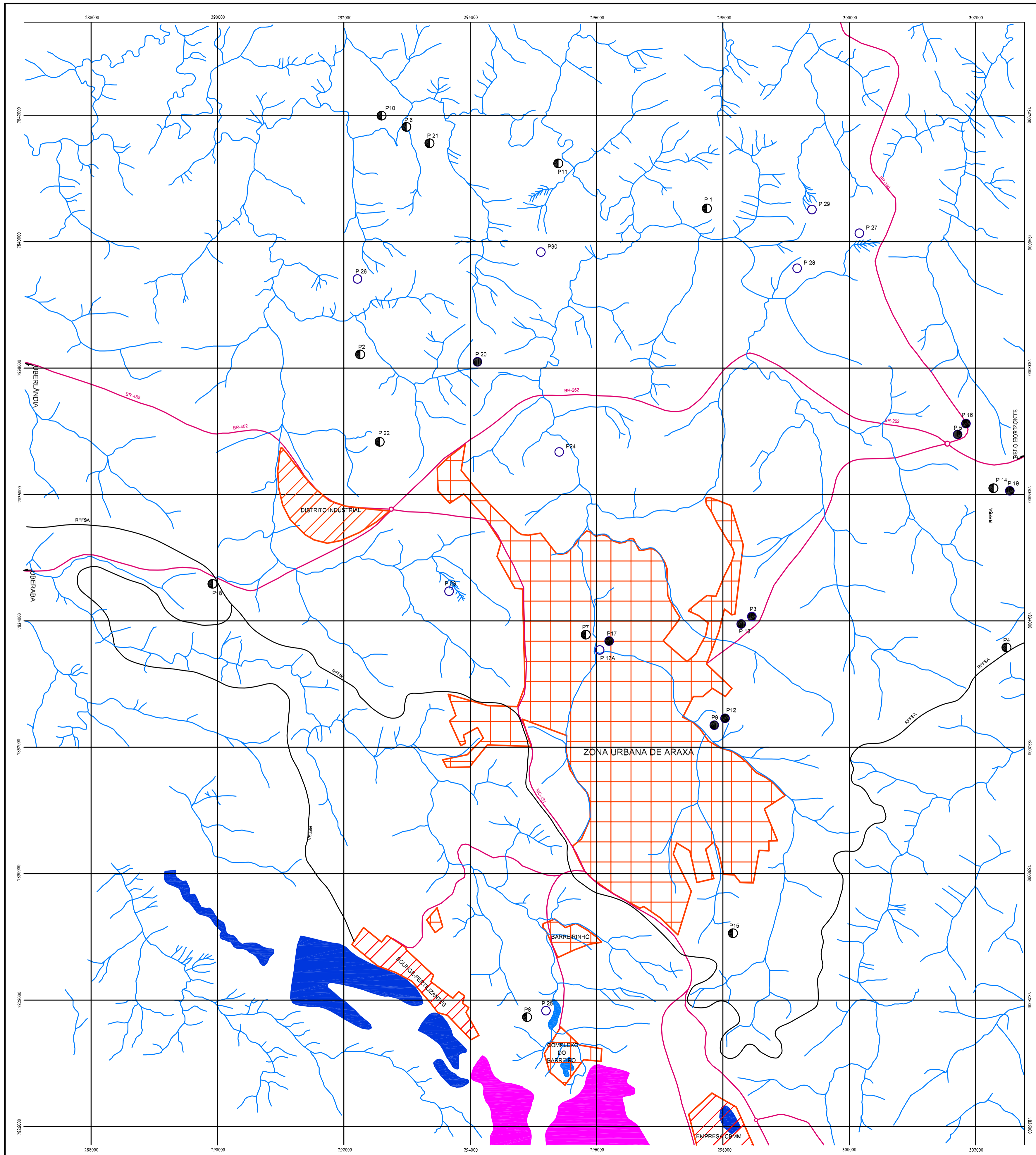
ZUQUETTE, L. V., NAKAZAWA, V. A. **Cartas de geologia de engenharia**. In: Geologia de Engenharia. OLIVEIRA, A. M. dos SANTOS (org.). São Paulo: ABNT, 1998. p. 283-300.



FOTOMOSAICO GEORREFERENCIADO  
DO MUNÍPIO DE ARAXÁ - MG  
(ZONA URBANA E ADJACENCIAS)  
2.004

✚ PONTOS DE CONTROLE DO FOTOMOSAICO GEORREFERENCIADO

ESCALA - 1:35.000  
1000 0 1000 2000 3000 Metros  
Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator)  
ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 45° W. GR."  
DATUM Horizontal SAD-69



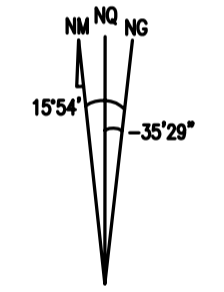
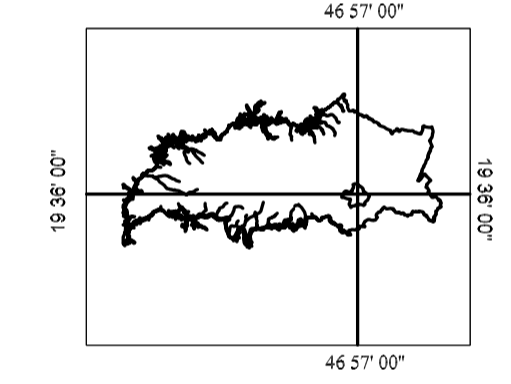
# MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

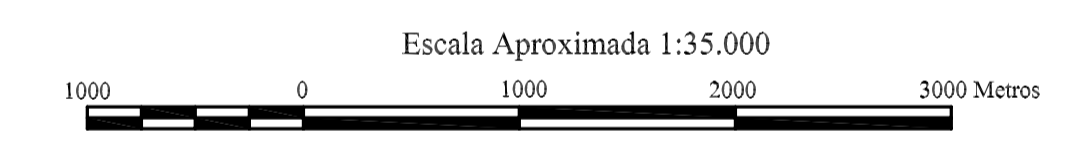
- PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS E DE OBSERVAÇÃO.
- PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS, INDEFORMADAS E DE OBSERVAÇÃO.
- PONTOS DE OBSERVAÇÃO.

- ZONA URBANA
- ÁREAS INDUSTRIAIS
- RODOVIAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS DE FERRO
- REDES DE DRENAGEM
- LAGOAS DE DEPOSIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO
- ÁREAS DE EXTRAÇÃO MINERAL

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO TRIÂNGULO MINEIRO



Declinação Magnética referente ao ano de 1980, cresce 7', anualmente.

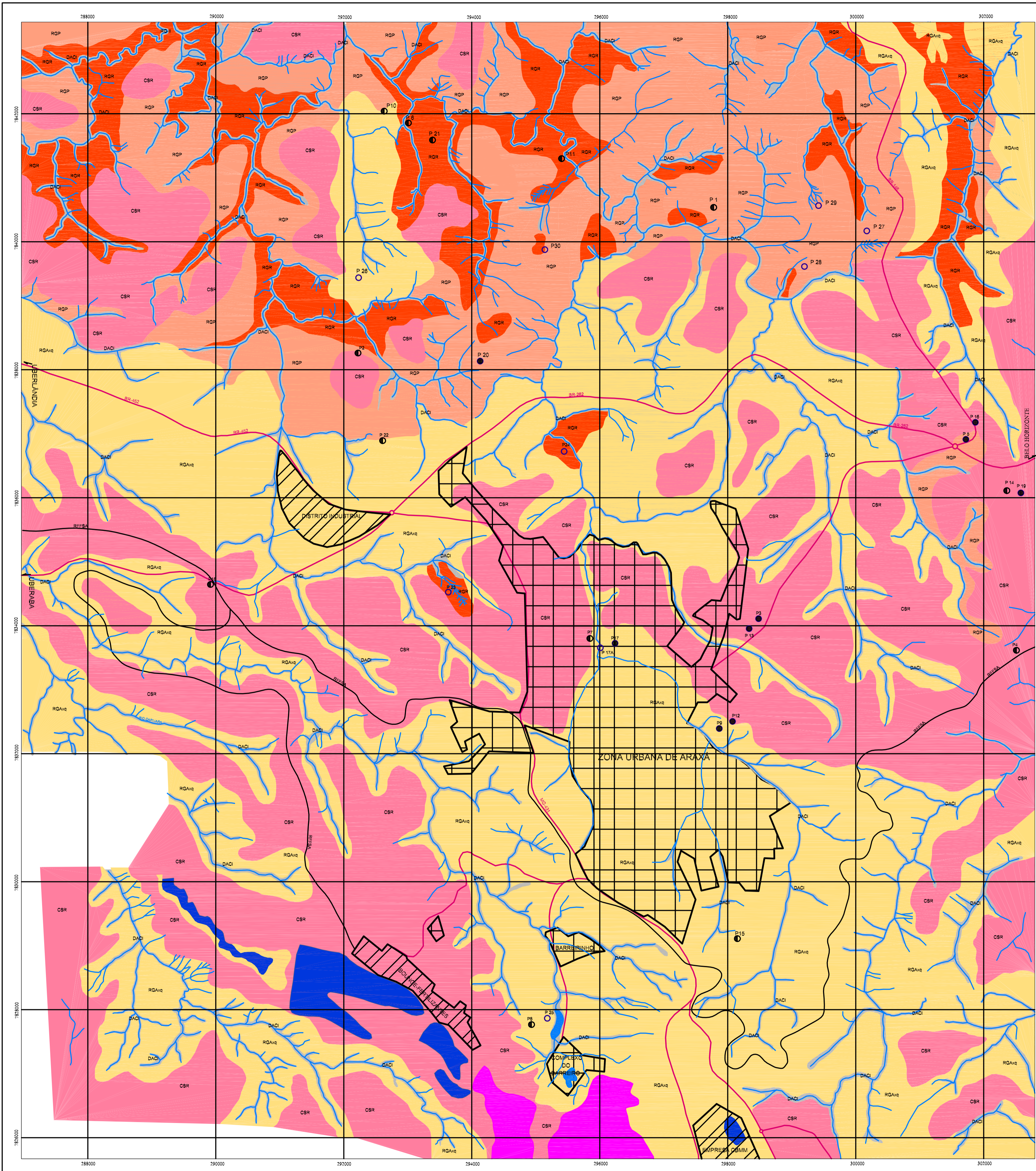


Escala Aproximada 1:35.000  
 Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 45° W. GR."  
 DATUM Horizontal SAD-69

## MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

AUTOR: TEREZA CRISTINA BITTENCOURT NOSSA  
 ORIENTADOR: LUIZ NISHIYAMA  
 2004

DOCUMENTO ELABORADO COM BASE EM :  
 - FOTOGRAFIAS AÉREAS IBC GRECA (1979) E AEROFOTOS CRUZEIRO (1998);  
 - MAPA TOPOGRÁFICO IGA ESCALA 1:100.000;  
 - PESQUISAS DE CAMPO REALIZADAS 2003 / 2004.



# MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

## Materiais Inconsolidados Residuais

### RESIDUAIS DE PEQUENA ESPESURA DOS GRANITOÍDES (RGR)

Espessuras inferiores a 5 metros, textura areno-siltosa micácea, coloração esbranquiçada à rósea-avermelhada. Pode apresentar fragmentos angulosos de quartzo na fração areia. Localmente, podem apresentar-se recobertos por depósitos coluvionares ou de tálus. Estruturas da rocha ainda presentes.  
Rocha Matriz: granitóides.

### RESIDUAIS DOS GRANITOÍDES (RGP)

Espessuras variáveis entre 5 e 25 metros, textura areno-siltosa, coloração vermelho-escuro à rósea esbranquiçada. Pode apresentar veios de quartzo associados de espessura centimétrica a decimétrica.  
Rocha Matriz: granitóides.

### RESIDUAIS DO GRUPO ARAXÁ (RGAxq)

Espessuras inferiores a 5 metros, textura areno-siltosa micácea, coloração esbranquiçada, quando mais silicosa a avermelhada, quando mais xistosa. Abundantes fragmentos de quartzo e quartzito angulosos de dimensões centimétricas a milimétricas e presença de veios de quartzo de espessura centimétrica a decimétrica, associados a depósitos de tálus. Presença frequente de estruturas reliquias da rocha matriz.  
Rochas Matrizes: mica xistos, quartzito-mica xistos, granada-mica xistos e quartzitos micáceos subordinados.

## Materiais Inconsolidados Retrabalhados

### RETRABALHADO ARGILO-ARENOSO - COBERTURA DE SUPERFÍCIES RESIDUAIS (CSR)

Espessuras de até 5 metros, textura argilo-arenosa, coloração vermelho-escuro. Presença frequente de uma camada de espessura centimétrica na base, formada por fragmentos angulosos de quartzito e quartzo.

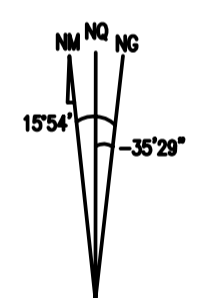
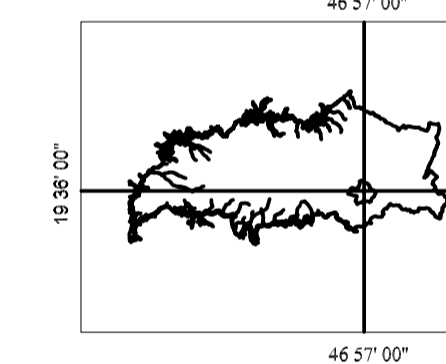
### DEPÓSITOS ALUVIONARES-COLUVIONARES INDIFERENCIADOS COM PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE CAMADAS ORGÂNICAS (DACI).

Espessuras variáveis de até 5 metros, textura arenosa, com presença de cascalhos. Coloração vermelho-amarelada a cinza-esbranquiçada. Podem estar associados a níveis argilosos o/ou orgânicos.

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

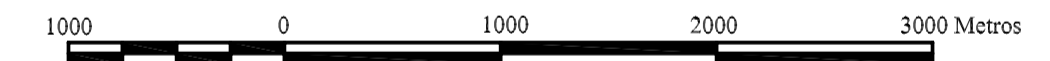
- PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS E DE OBSERVAÇÃO.
- PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS, INDEFORMADAS E DE OBSERVAÇÃO.
- PONTOS DE OBSERVAÇÃO.
- ZONA URBANA
- ÁREAS INDUSTRIAIS
- RODOVIAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS DE FERRO
- REDES DE DRENAGEM
- LAGOAS DE DEPOSIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO
- ÁREAS DE EXTRAÇÃO MINERAL

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO TRIÂNGULO MINEIRO



Declinação Magnética referente ao ano de 1980, cresce 7, anualmente.

Escala Aproximada 1:35000



Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 45° W. GR."

DATUM Horizontal SAD-69

# MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

AUTOR: TEREZA CRISTINA BITTENCOURT NOSSA

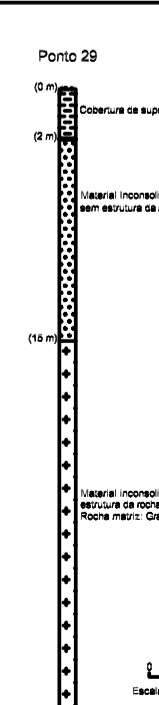
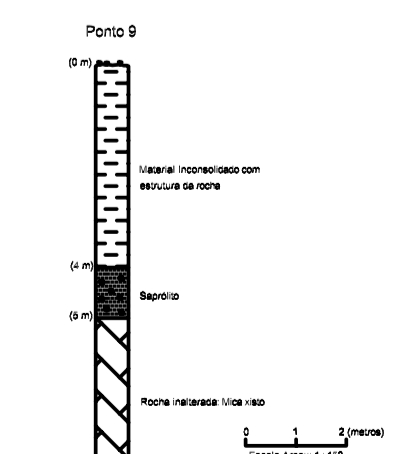
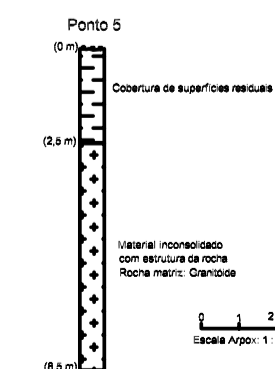
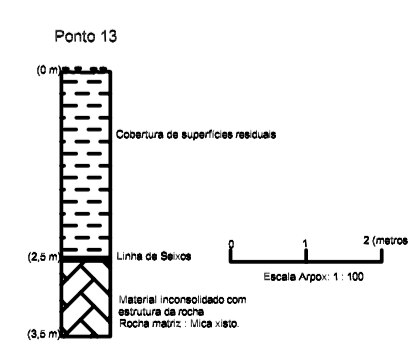
ORIENTADOR: LUIZ NISHIYAMA

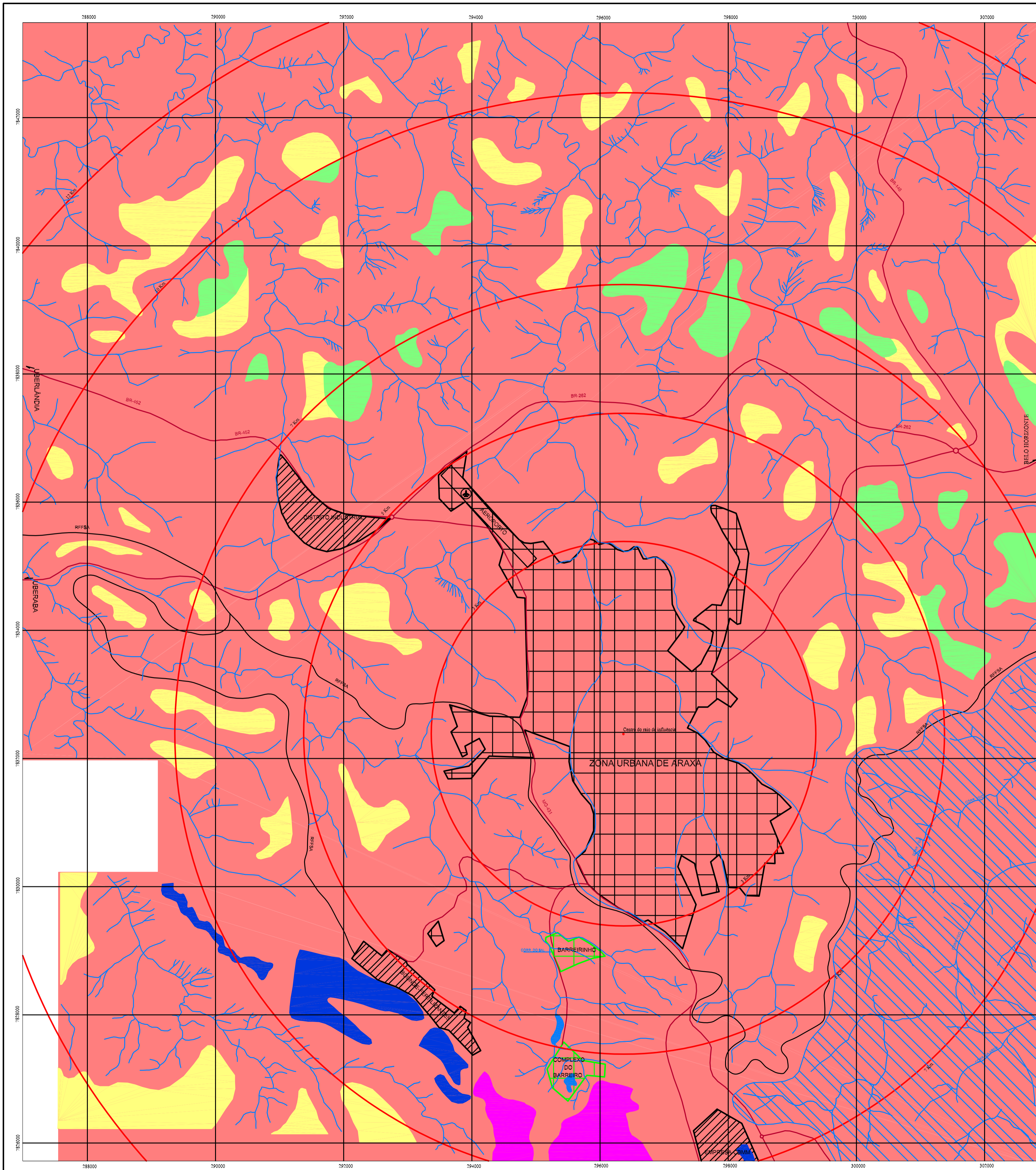
2004

DOCUMENTO ELABORADO COM BASE EM:

- FOTOGRAFIAS AÉREAS IBC GRECA (1979) E AEROFOTOS CRUZEIRO (1998);
- MAPA TOPOGRÁFICO IGA ESCALA 1:100.000;
- PESQUISAS DE CAMPO REALIZADAS 2003 / 2004.

## PERFIS TÍPICOS DA ÁREA DE ESTUDO





# CARTA PRELIMINAR PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE II (ABNT/NBR - 10.004 /87)

## LEGENDA

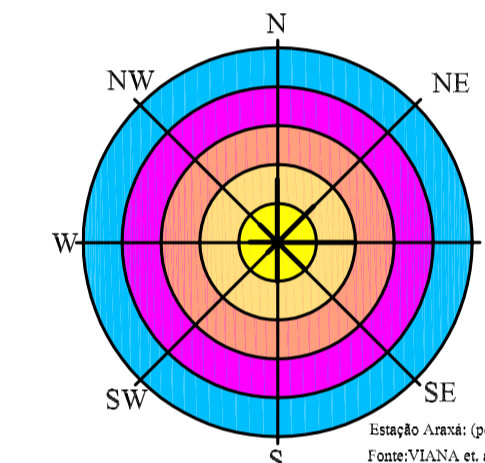
### CLASSES DE ADEQUABILIDADE

- FAVORÁVEL
- MODERADA
- INADEQUADA

### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

#### DIREÇÕES RELATIVAS DOS VENTOS COM RELAÇÃO A ZONA URBANA

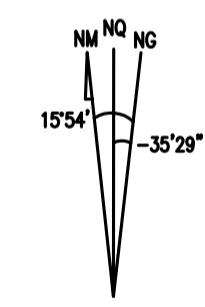
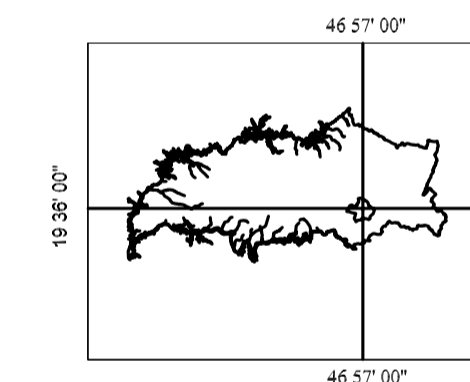
- N - 17,0 %
- NE - 11,7 %
- E - 31,0 %
- SE - 10,3 %
- S - 10,0 %
- SW - 4,8 %
- W - 7,6 %
- NW - 7,5 %



Estação Araxá. (período: 1977 - 1996)  
Fonte: VIANA et al. Projeto Araxá: Estudo Geoespacial das Fontes Hidrotermais (1999).

- RAIO DE INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS OPERACIONAIS SELECIONADOS
- ÁREAS DE TURISMO E LAZER E / OU PROTEÇÃO AMBIENTAL
- ZONA URBANA
- ÁREAS INDUSTRIAIS
- AERÓPORTO
- RODOVIAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS DE FERRO
- REDES DE DRENAGEM
- LIMITES DE BACIAS DE CAPTAÇÃO
- LAGOAS DE DEPOSIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO
- ÁREAS DE EXTRAÇÃO MINERAL

#### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO TRIÂNGULO MINEIRO



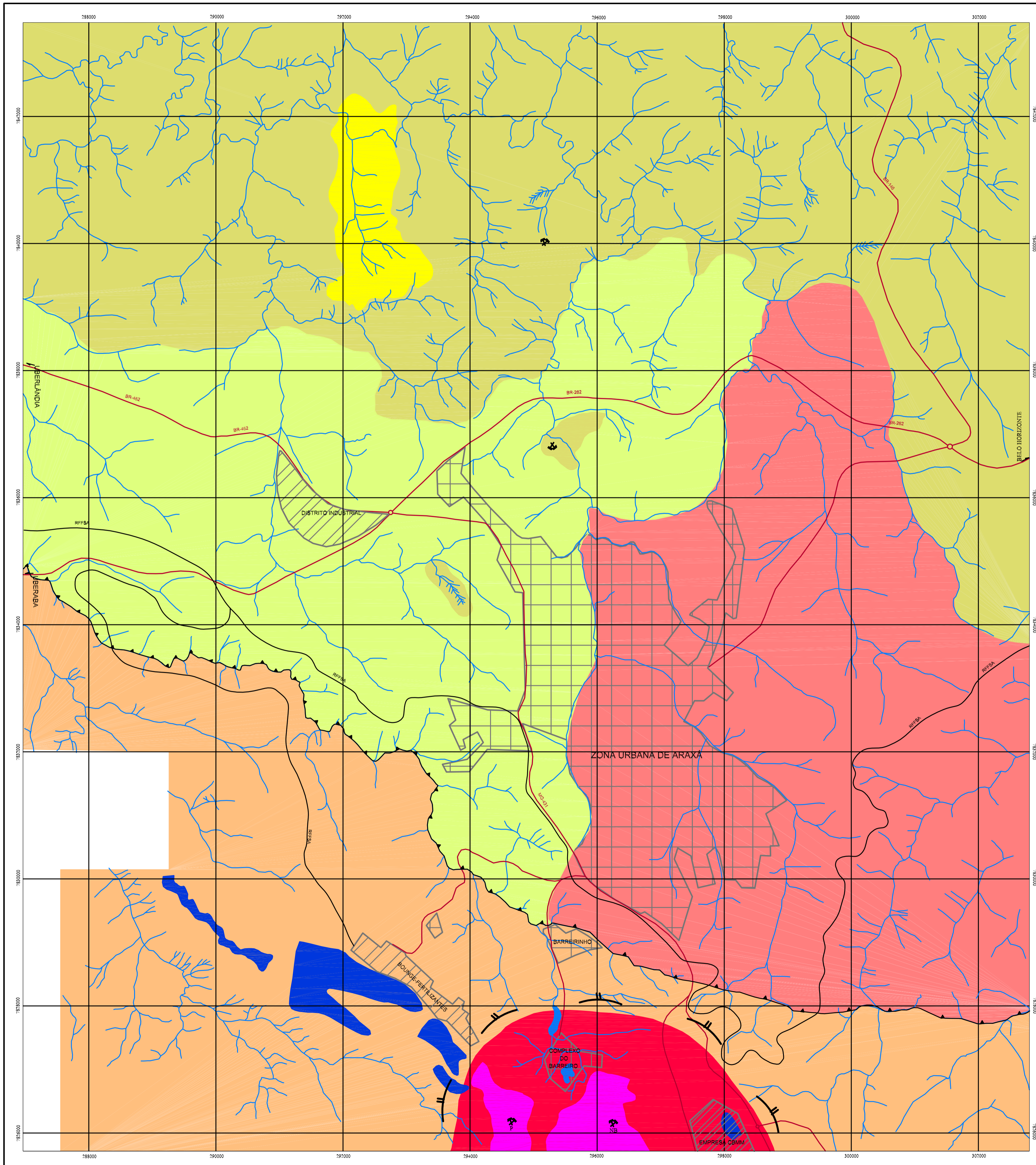
Declinação Magnética referente ao ano de 1980, cresce 7', anualmente.

Escala Aproximada 1:35.000  
Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator)  
ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 45° W. GR."  
DATUM Horizontal SAD-69

# CARTA PRELIMINAR PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSE II (ABNT/NBR - 10.004/87)

AUTOR: TEREZA CRISTINA BITTENCOURT NOSSA  
ORIENTADOR: LUIZ NISHIYAMA  
2004

DOCUMENTO ELABORADO COM BASE EM:  
- FOTOGRAFIAS AÉREAS IBC GRÉCA (1979) E AEROFOTOS CRUZEIRO (1998);  
- MAPA TOPOGRÁFICO IGA ESCALA 1:100.000;  
- PESQUISAS DE CAMPO REALIZADAS 2003 / 2004.



# MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO

## COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA

- FANEROZÓICO**
  - CRETÁCEO**
    - Complexo Alcalino Carbonatítico do Barreiro.
  - Discordância erosiva**
- PROTEROZÓICO SUPERIOR**
  - Granitóides
  - Mica xistos com quartzitos micáceos subordinados
  - Mica xistos feldspáticos intrudidos por granitóides
  - Granada-mica xistos feldspáticos intrudidos por granitóides
  - Calcifilitos e mica xistos com quartzitos subordinados

Fonte: modificado de SEER (1.999), Evolução tectónica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá - MG.

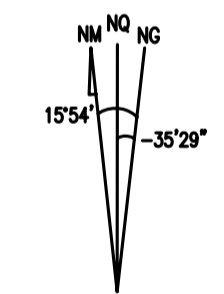
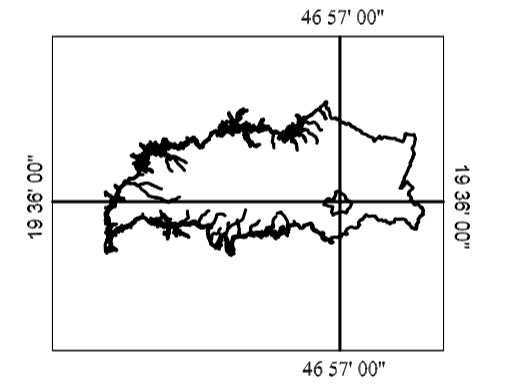
## CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- FALHA INDISCRIMINADA
- MINA EM OPERAÇÃO
- MINA DESATIVADA
- DOMO

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

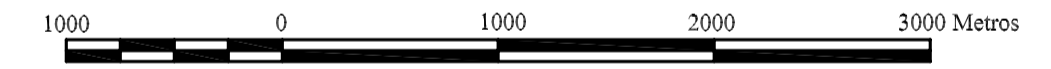
- ZONA URBANA
- ÁREAS INDUSTRIAIS
- RODOVIAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS DE FERRO
- REDES DE DRENAGEM
- LAGOAS DE DEPOSIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO
- ÁREAS DE EXTRAÇÃO MINERAL

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO TRIÂNGULO MINEIRO



Declinação Magnética referente ao ano de 1980, cresce 7', anualmente.

Escala Aproximada 1:35.000



Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 45° W. GR."  
 DATUM Horizontal SAD-69

# MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO

AUTOR: TEREZA CRISTINA BITTENCOURT NOSSA  
 ORIENTADOR: LUIZ NISHIYAMA  
 2004

DOCUMENTO ELABORADO COM BASE EM :  
 - FOTOGRAFIAS AÉREAS IBC GRECA (1979) E AEROFOTOS CRUZEIRO (1998);  
 - MAPA TOPOGRÁFICO IGA ESCALA 1:100.000;  
 - PESQUISAS DE CAMPO REALIZADAS 2003 / 2004.