

MINEROPAR - SERVIÇO GEOLÓGICO E PESQUISA MINERAL

**GEOLOGIA DE PLANEJAMENTO**

MAPEAMENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO NA  
REGIÃO DO ALTO IGUAÇU

**VOLUME I**  
**TEXTO**

**CURITIBA**

**OUTUBRO / 1994**

13  
6.21a)  
15m

**MINEROPAR - SERVIÇO GEOLÓGICO E PESQUISA MINERAL**

**GEOLOGIA DE PLANEJAMENTO**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO NA  
REGIÃO DO ALTO IGUAÇU**

**VOLUME I  
TEXTO**

M  
624.13  
(816.21a)  
F 315 m  
v.1

**Curitiba  
Outubro/1994**

Registro n. 4796



Biblioteca/Mineropar

MINEROPAR. SERVIÇO GEOLÓGICO E  
PESQUISA MINERAL.

M 664m Mapeamento geológico - geotécnico na Região  
do Alto Iguaçu. Curitiba : 1994. 2 v.

Convênio MINEROPAR/COMEC

1. Mapeamento geológico geotécnico - Região  
Alto

Iguaçu. I. Felipe, Rogério da Silva et al.

CDU: 624.13 (816.21A)

**GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ**  
**Mário Pereira**  
**Governador**

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA E DO**  
**COMÉRCIO, ENSINO SUPERIOR, CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA**  
**Adhail Sprenger Passos**

**MINEROPAR - SERVIÇO GEOLÓGICO E PESQUISA**  
**MINERAL**

**José Henrique Popp**  
**Diretor Presidente**

**Luís Tadeu Cava**  
**Diretor Técnico**

**Noé Vieira dos Santos**  
**Diretor Administrativo Financeiro**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO NA REGIÃO DO  
ALTO IGUAÇU**

**Convênio 04/93 - MINEROPAR / COMEC**

**PROGRAMA DE GEOLOGIA APLICADA AO PLANEJAMENTO  
DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

**Coordenação**

Geólogo Oscar Salazar Júnior

**Elaboração**

Geólogo Rogério da Silva Felipe

Geólogo Oscar Salazar Júnior

Geóloga Kátia Norma Siedlecki

**Apoio**

Técnico Jovelino Luís Strapasson

Técnico José Eurides Langner

Técnico Antônio Perdoná Alano

**Digitação**

Beatriz Rodacoski

**Desenho**

Roseneide Ogleari

Cristiane de Sena

**Estagiários**

Dennys Moreira Pinto

Raquel Mari Buba



## **1 - INTRODUÇÃO**

Os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguazu foram realizados dentro do Convênio de Cooperação Técnica nº 04/93 de 16-06-93, celebrado entre a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano - SEDU, através da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC, e a Secretaria de Estado do Ensino Superior, Ciência e Tecnologia - SETI, através da Minerais do Paraná S/A - MINEROPAR.

Os referidos trabalhos foram definidos no 1º Termo Aditivo do Convênio, assinado em 14-09-93 e encerrado em 31-12-93, com continuidade estabelecida pelo terceiro termo de ajuste, assinado em 01-02-94, com término em 30-09-94.

## **2 - JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS**

As justificativas deste trabalho estão relacionadas com os problemas de ocupação que afetam o reordenamento territorial na Região Metropolitana de Curitiba. Estes problemas, prementes e generalizados, demandavam atuação mais efetiva do poder público. Neste sentido, os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico são fundamentais para a constituição de uma base de dados do meio físico que permita à COMEC reordenar a ocupação territorial, notadamente nos aspectos relativos ao assentamento populacional. Os principais objetivos do mapeamento geológico-geotécnico podem ser relacionados a seguir:

a) Fornecer mapas básicos e temáticos relativos às declividades, de distribuição das unidades geológicas, de coberturas inconsolidadas, profundidade do lençol freático, de erodibilidade e áreas sujeitas a enchentes e inundações.

b) Fornecer mapa de zoneamento geotécnico com a classificação dos terrenos, indicando as restrições aos diferentes tipos de ocupação.

c) Constituir base de dados em meio magnético, contendo os diferentes mapas, bancos de dados de afloramentos descritos, medidas da profundidade do lençol freático, sondagens, amostras para ensaios geotécnicos e dados obtidos, incluindo trabalhos realizados por outras empresas e instituições. Estes dados estão referidos à base cartográfica na escala 1:20.000 da COMEC, por meio de coordenadas UTM.

## **3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

A área de trabalho abrange aproximadamente 250 km<sup>2</sup> (Fig. 01) a leste do Município de Curitiba, incluindo parte dos municípios de Colombo, Bocaiúva do Sul, Quatro Barras, Pinhais, Campina Grande do Sul e São José dos Pinhais. A área selecionada abrange parte das folhas topográficas A104, A105, A107 e A108 (COMEC 1976), e foi selecionada pela Divisão de Planejamento da COMEC como prioritária, em função dos mananciais do Alto Iguazu, da alta pressão ocupacional, da ocorrência de áreas de lavra de areia em diversas sedes municipais. Os mapas apresentados foram mantidos no formato das cartas da COMEC, embora os trabalhos realizados não tenham abrangido a totalidade destas cartas.

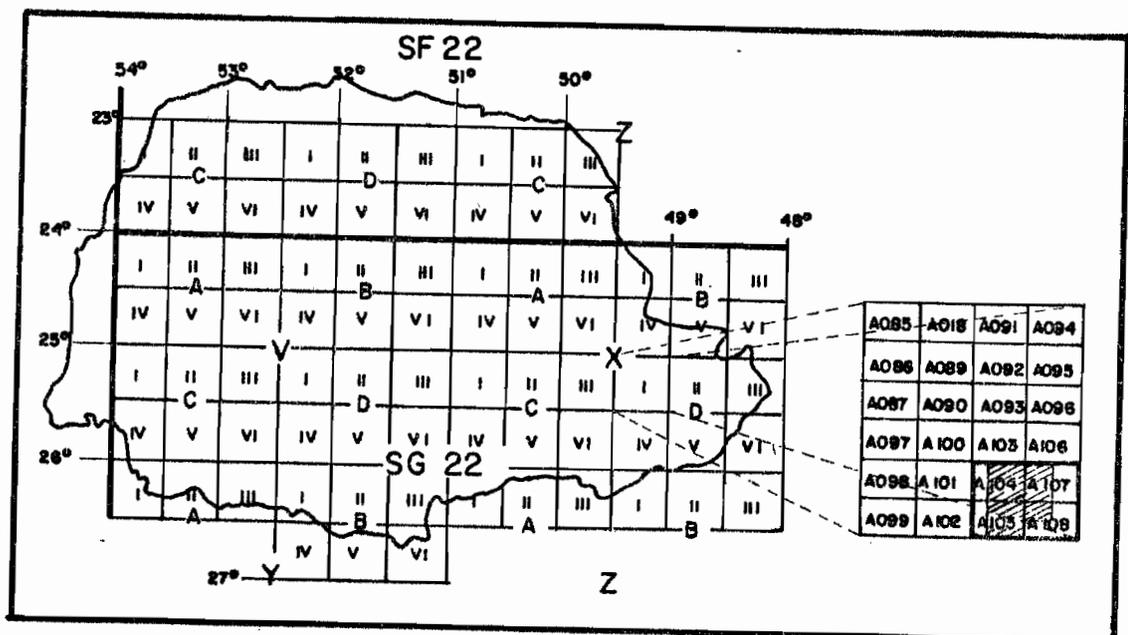


Fig. 01 - Localização da área de trabalho.

**4 - EQUIPE TÉCNICA**

O projeto Alto Iguaçu foi executado pela MINEROPAR, com a participação da seguinte equipe técnica:

**PROGEO-RMC (Programa de Geologia Aplicada ao Planejamento da Região Metropolitana de Curitiba)**

- Geólogo Rogério da Silva Felipe
- Geólogo Oscar Salazar Júnior
- Técnico Jovelino Luís Strapasson
- Técnico José Eurides Langner
- Estagiários: Dennys Moreira Pinto
- Raquel Mari Buba

**DILAB - Divisão de Laboratório**

- Geóloga Kátia Norma Siedlecki
- Técnico Antônio Perdoná Alano
- Laboratoristas: Alceu da Rocha Oliveira
- José Renato Dionízio

**Consultores:**

- Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquette (USP-Ribeirão Preto)
- Geólogo José Antônio Urroz Lopes (ENGEMIN)
- Geólogo Élbio Pellenz (MINEROPAR)

## 5 - ATIVIDADES REALIZADAS E DADOS DE PRODUÇÃO

No decorrer dos trabalhos foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Revisão bibliográfica relativa aos estudos geotécnicos e à geologia regional.
- b) Consultoria preliminar com o Prof. Lázaro Zuquete (USP), para definição das diretrizes do estudo.
- c) Coleta de dados geotécnicos de trabalhos e projetos executados por outras empresas ou instituições.
- d) Fotointerpretação com aerofotos 1:25.000.
- e) Levantamentos de campo, incluindo perfilagens geológicas, descrição de afloramentos, amostragens geotécnicas, sondagens e medidas do lençol freático.
- f) Instrumentação de laboratório para ensaios geotécnicos, incluindo construção e aquisição de equipamentos, estabelecimento de rotinas, testes e execução dos ensaios.
- g) Interpretação de dados e elaboração de mapas básicos e temáticos.
- h) Digitalização dos mapas básicos e temáticos no sistema MaxiCAD e constituição de banco de dados em meio magnético.
- i) Consultoria dirigida à fase de interpretação de dados, com os geólogos José Antônio Urroz Lopes e o Prof. Dr. Lázaro Zuquete.
- j) Relatório final.

Resumo dos dados de produção:

- Área cartografada: 250 km<sup>2</sup>.
- Fotointerpretação: 25 aerofotos 1:25.000.
- Afloramentos descritos: 480.
- Poços d'água medidos: 240.
- Ensaios geotécnicos: 246 em 54 amostras.
- Digitalização: 453 horas.
- Furos a trado: 37 sondagens.
- Dias de campo: 63.
- Quilometragem percorrida: 9.724 km.

## 6 - METODOLOGIA

O mapeamento geológico-geotécnico do projeto foi realizado segundo um conjunto de princípios fundamentais, conforme metodologia proposta por Zuquete (1987), considerando-se as condições brasileiras. O conjunto de procedimentos adotados compreende a seleção de atributos, verificação das relações atributos *versus* tipos de ocupação e elaboração de documentos gráficos básicos e interpretativos, de

prognósticos e conclusivos, para os usuários. Os principais tipos de ocupação de maior interesse para a região são relacionados a seguir (Zuquette, 1993):

#### Urbanas

- Áreas residenciais.
- Vias de acesso.
- Barragens/aterros.
- Parques industriais.
- Áreas de extração de materiais de construção (areia, brita, argila).
- Zonas de inundação.
- Loteamentos.
- Canalizações.
- Resíduos sépticos e aterros sanitários.
- Cemitérios.
- Áreas de ocorrência de eventos perigosos.

#### Regionais

- Rodovias e ferrovias.
- Linhas de transmissão.
- Barragens.
- Aterros sanitários.

#### Rurais

- Agroindústria.
- Pecuária e agricultura.
- Projetos de irrigação.

Considerando estes diferentes tipos de ocupação verifica-se que o equilíbrio ambiental depende da aplicação de conhecimentos geológicos associados aos outros componentes do meio ambiente. Isto permite reduzir os altos custos dos processos de ocupação, evita o surgimento de custos futuros não previstos decorrentes de limitações do meio e propicia o aproveitamento de vantagens do meio físico. No trabalho realizado foram considerados os seguintes componentes e atributos, de acordo com Zuquette (1993):

COMPONENTE	ATRIBUTOS
Águas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escoamento superficial.</li> <li>- Áreas de acúmulo de águas.</li> <li>- Densidade de canais.</li> <li>- Bacias hidrográficas.</li> <li>- Existência de aquíferos.</li> <li>- Profundidade do lençol freático</li> </ul>
Geomorfologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Declividade e sentido.</li> <li>- Formas de relevo.</li> <li>- Formas e comprimentos de encostas.</li> </ul>
Geologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo rochoso ou grupo litológico.</li> <li>- Mineralogia.</li> <li>- Densidade.</li> <li>- Permeabilidade.</li> <li>- Grau de intemperismo.</li> <li>- Erosão.</li> <li>- Assoreamento.</li> <li>- Movimentos de massa.</li> <li>- Materiais inconsolidados (textura, origem, espessura).</li> <li>- Capacidade de troca catiônica.</li> <li>- Processos de intemperismo e pedogênese.</li> <li>- Variação em profundidade.</li> <li>- Características químicas.</li> </ul>

Tabela 1 - Componentes e respectivos atributos considerados no mapeamento geológico-geotécnico.

## 6.1 - Ensaio Geotécnicos

Para dar suporte aos trabalhos de mapeamento geotécnico foram necessários ensaios de laboratório para obtenção de parâmetros relativos às propriedades químicas, físicas e mineralógicas das diversas amostras de interesse. A determinação de atributos considerados fundamentais permitiu uma adequada avaliação do comportamento geotécnico dos materiais analisados. A relação de resultados obtidos nos ensaios geotécnicos está representada no anexo 1.

Os métodos empregados nessa caracterização estão descritos em sua maioria na literatura nacional. Durante a execução dos ensaios pequenas alterações foram introduzidas na metodologia, visando melhor adaptação às condições de rotina.

A fase de amostragem impôs uma estreita parceria entre equipe de campo e a de laboratório, no sentido de otimizar a implantação de uma rotina bastante específica, já que a confiabilidade dos resultados dos ensaios dependia diretamente da qualidade e da representatividade das amostras coletadas. Esta amostragem foi fundamentada sobretudo em amostras indeformadas, coletadas em anéis de PVC rígido (fotografias 01 e 02). Foram executados os seguintes tipos de ensaios:

### Granulometria/Sedimentação

Este ensaio permite expressar a classe textural da amostra em função da distribuição percentual das partículas. O princípio é a desagregação mecânica da amostra, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas por sedimentação em meio aquoso - método da pipeta e norma técnica NBR 7181/84 (ABNT).



Fotografia 1 - Exemplo de amostragem geotécnica para ensaio de permeabilidade em arcósios da Formação Guabirotuba (OS-903).



Fotografia 2 - Amostragem geotécnica em solos residuais para determinação de índices de campo (01 PVC médio) e de erodibilidade (03 PVCs) (OS-667).

### Índices de Campo

Referem-se a índices físicos de caracterização do solo, expressos por parâmetros representativos do estado em que se encontra o mesmo, na época da amostragem.

Em laboratório são determinados diretamente três índices: teor de umidade, massa específica de campo e massa específica dos sólidos. Os demais índices, relativos à porosidade, índice de vazios e grau de saturação, são calculados através de fórmulas de correlação. Para a massa específica dos sólidos adotou-se a norma técnica da ABNT (NBR 6508/84). Todas as amostras ensaiadas foram submetidas à fervura em picnômetro, objetivando expulsar gases intersticiais, conforme modelo preconizado pelo DER - PR. A massa específica seca de campo foi determinada pelo método do anel, proposto por Zuquette (1987). Com auxílio de um cilindro de PVC rígido retira-se do terreno uma amostra indeformada, de volume conhecido. O cálculo é feito após determinado o peso do solo seco.

Os parâmetros decorrentes de correlação são os seguintes:

**Índice de Vazios:** é apresentado como um número puro e pressupõe o conhecimento do valor da massa específica dos sólidos e da massa específica de campo.

**Porosidade:** é normalmente apresentada em porcentagem, sendo maior do que zero e menor do que 100%.

**Grau de Saturação (em relação a água):** seus valores estão compreendidos no intervalo fechado de 0 - 100%.

### Proctor Normal

Consiste na compactação de solo em laboratório, com a finalidade de determinar a curva de variação da massa específica seca em função do teor de umidade, para uma dada energia de compactação. Além desta curva, o ensaio fornece também a variação do grau de saturação em função do teor de umidade. Como resultado final obtém-se o valor da massa específica seca máxima e o teor de umidade ótima, que tem aplicações importantes em obras de terra compactada, indicando as condições ideais de compactação máxima. Princípio: para distintos teores de umidades definidas aplica-se no corpo de prova um número especificado de golpes, seguido da pesagem do mesmo.

### Limites de Liquidez e Plasticidade

São definidos pelos teores de umidade que separam dois estados de consistência de um solo, caracterizando-se os limites de liquidez e de plasticidade. O limite de liquidez é definido como o teor de água, expresso em porcentagem de argila seca a 110°C, acima do qual a massa flui como líquido (metodologia de Casagrande). O limite de plasticidade é definido como o teor de água expresso em porcentagem, de argila seca a 110°C, acima do qual a massa pode ser enrolada em cilindros de 3 a 4 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento (Souza Santos, 1989).

### Capacidade de Troca de Cátions - CTC

As argilas têm a capacidade de reagir eletroquímica e reversivelmente com cátions. Este atributo é muito importante, visto que os cátions permutáveis influem fortemente sobre o comportamento agrônômico e geotécnico da fração fina (no tocante à disposição de rejeitos, erosão, retenção de poluentes, etc).

Para a determinação da CTC foi adotado o método da adsorção de azul de metileno (Beaulieu 1979), que fornece ainda outros parâmetros de interesse, como a superfície específica (SE) e os índices  $V_b$  e  $A_{cb}$ , que indicam respectivamente a quantidade de azul de metileno adsorvido em 100 g de solo e em 100 g de argila, sendo assim possível a caracterização da atividade da fração argilosa, bem como o comportamento do solo (Lautrin 1989, in Pejon, 1992).

Princípio: o azul de metileno (C-H-N-S-Cl-H-O) é um corante orgânico que em solução aquosa dissocia-se em ânions cloreto e cátions azul de metileno. O cátion de azul de metileno substitui Na, K, Ca, Mg, H e O, adsorvidos aos argilos minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível que configura uma forma de medida da capacidade de troca de cátions. Proceda-se ao gotejamento da suspensão do solo com a solução de azul de metileno, retirando-se gotas da suspensão que são dispostas sobre um papel de filtro. Se formar uma mancha escura, prossegue o ensaio até o surgimento de uma auréola azul clara na borda externa da mancha. Isto indica que exauriu-se a capacidade de troca de cátions, obtendo-se os índices correspondentes.

### Potencial de Hidrogenação (pH)

O pH de uma argila resulta, em parte, da natureza dos cátions trocáveis presentes. A variação de cargas negativas ou mesmo positivas (em valores de pH muito baixo) pode interferir na determinação da CTC e da SE. Por esse motivo determinou-se o pH da suspensão em que o ensaio foi realizado, o pH do solo em água e em solução de KCl, conforme metodologia de Camargo et al. (1986). Quando o pH em KCl for menor que o pH em água ocorre predomínio de cargas negativas. Em caso contrário, imperam as cargas positivas na superfície dos argilos-minerais (Demattê, 1989).

### Permeabilidade

A permeabilidade é expressa pelo volume de fluxo por unidade de área de uma seção, por unidade de tempo.

A determinação do coeficiente de permeabilidade em laboratório revelou, além das dificuldades concernentes a própria coleta da amostra indeformada, dificuldades impostas por fatores ocasionais, como existência de raízes, orifícios causados por animais, fraturas internas, etc. Por estas razões decidiu-se realizar dois ensaios por ponto amostrado, como medida de segurança, montando-se dois permeômetros verticais de PVC rígido à carga constante, com filtros de areia acoplados às duas extremidades.

### Erodibilidade

Nogami & Villibor (1979) contribuíram de forma fundamental para avaliação do índice de erodibilidade, propondo um método simples e de fácil execução que considera o efeito da secagem e permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração, baseando-se essencialmente na avaliação da absorção de água e na perda de peso por imersão.

Para o desenvolvimento de rotina foi confeccionado equipamento composto de recipiente cilíndrico, com dimensões equivalentes ao cilindro de amostragem, ligado a um tubo de vidro graduado, disposto horizontalmente. O conjunto deve ser preenchido com água e na porção superior do recipiente é adaptada uma rocha porosa que se mantém saturada. Sobre esta rocha coloca-se a amostra indeformada, seca e pesada, iniciando-se a contagem de tempo e procedendo-se às leituras do volume de água absorvido por intervalo de tempo.

### Análise Termo Diferencial - ATD

Consiste no aquecimento, em velocidade constante, de uma argila junto com uma substância termicamente inerte (geralmente óxido de alumínio -  $\alpha$ ), registrando-se as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a argila em estudo, em função da temperatura. Quando ocorrem transformações endo e exotérmicas, estas aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termodiferencial.

Esse método teve larga aplicação na identificação de argilas e suas misturas durante o desenvolvimento do projeto, consistindo num recurso confiável e ágil disponível no laboratório da MINEROPAR.

## **6.2 - Mapas Básicos e Temáticos**

Os mapas básicos e temáticos produzidos para cada carta da COMEC (A104, A105, A107 e A108) serão descritos a seguir, apresentando-se os procedimentos utilizados em sua elaboração. Os mapas obtidos encontram-se no anexo 3.

### **6.2.1 - Mapa de Documentação**

O mapa de documentação consiste no documento de registro das informações relevantes obtidas no projeto e dados provenientes de outras entidades. Os dados foram plotados em cartas 1:20.000, da COMEC, e posteriormente digitalizados. No mapa de documentação estão representadas as seguintes entidades, com as respectivas siglas:

OS - Afloramentos ou pontos de amostragem obtidos no decorrer do mapeamento realizado neste projeto.

ST - Sondagens a trado realizadas pela MINEROPAR no decorrer deste projeto.

CPRM - Sondagens a trado executadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

FA - Sondagens a trado, a percussão e de poço de inspeção realizados na implantação da ferrovia Engenheiro Bley - Curitiba.

FB - Sondagens a trado, à percussão ou poços de inspeção realizados no projeto do Novo Ramal Ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul.

SA - Sondagens a trado ou percussão executadas no projeto da represa do Iraí (SANEPAR).

Além deste conjunto de dados foram obtidos dados geotécnicos relativos às rodovias federais BR-277 e BR-116 e à estrada estadual PR-415. Estes dados, arquivados na MINEROPAR, não foram incluídos no mapa de documentação. De todas as entidades inseridas no mapa foram obtidas as coordenadas UTM.

### **6.2.2 - Mapa de Declividades Generalizadas**

O mapa de declividades foi obtido a partir de cartas 1:10.000 da COMEC, utilizando-se intervalos de classe de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 e >30%. A partir destes mapas foram obtidos mapas de declividade generalizada, com a delimitação de polígonos onde pelo menos 80% da área pertence a cada classe referida. Estes mapas foram digitalizados e transformados para a escala 1:20.000 por meio do sistema MaxiCAD.

### **6.2.3 - Mapa Geológico**

A área de trabalho está localizada no Primeiro Planalto, na maior parte sobre os sedimentos da Bacia de Curitiba. Esta bacia sedimentar foi formada sobre um embasamento de rochas gnáissico-migmatíticas, sob condições de clima variando do semi-árido ao úmido, provavelmente durante o Pleistoceno (Bigarella e Salamuni, 1958). Sobre os sedimentos pleistocênicos foram acumulados depósitos de planície de inundações e os baixos terraços da planície atual do Rio Iguaçu (Bigarella e Salamuni, 1958; Bigarella, Salamuni & Ab'Sáber, 1961).

Neste relatório os dados relativos à geologia da área serão restritos a uma breve descrição das diferentes unidades.

A ocorrência de rochas do embasamento gnáissico-migmatítico é bastante subordinada, concentrando-se nos setores noroeste e sudeste. As regiões com ocorrência dos sedimentos da Formação Guabirotuba abrangem cerca de 40% da área, enquanto as coberturas de sedimentos aluvionares recentes e terraços atingem cerca de 40% da área.

QUATERNÁRIO	HOLOCENO	Aluviões e terraços aluvionares
	PLEISTOCENO	Formação Guabirotuba
PROTEROZÓICO INDIVISO		Gnaisses e migmatitos

Tabela 2 - Coluna estratigráfica da área mapeada.

No decorrer do mapeamento geológico do Alto Iguaçu a Formação Guabirotuba foi dividida em duas subunidades. A primeira apresenta sedimentos argilosos de cor cinza, com porcentagem variável de grânulos de quartzo e feldspato, com ocorrências subordinadas de níveis de arcósios. Esta subunidade (QPgb) está geralmente relacionada com níveis topográficos inferiores. A segunda subunidade (QPga) é composta por sedimentos argilosos com freqüentes intercalações de arcósios. Normalmente esta subunidade é encontrada nos níveis topográficos mais elevados. Estas intercalações ocorrem na escala centimétrica (fotografias 3 a 6).

Fotografia 03 - Aspecto das intercalações de arcósios em sedimentos argilosos na subunidade QPga da Formação Guabirotuba (OS-903).



Fotografia 04 - Aspecto das alternâncias centimétricas de argilas e arcósios em sedimentos argilosos da Formação Guabirota (OS-903).



Fotografia 05 - Intercalações de argilas e arcósios da Formação Guabirota, com adelgaçamento de camadas plásticas de argila devido aos processos de compactação da bacia (OS-777)



Fotografia 06 - Sedimentos arcósios com estratificação tangencial na base, interpretados como de ambiente de leque anastomosado. Ocorrem como exposições isoladas nas porções basais da Formação Guabirota (OS-676).



A unidade de sedimentos aluvionares recentes está representada por depósitos assentados sobre o embasamento gnáissico-migmatítico. Os sedimentos são compostos de cascalhos arenosos e areias de granulometria média a grossa, com seixos subarredondados e subangulosos de quartzo. Nos níveis superiores ocorrem camadas de argilas plásticas, de cor cinza. Os depósitos aluvionares são capeados por solos hidromórficos com espessura de cerca de 1,0 m. A espessura média total dos depósitos aluvionares atinge 5,0 m. Em diversos locais foram reconhecidos depósitos de origem aluvionar situados em nível mais elevado que os aluviões, englobados sob a denominação genérica de terraços. Na região do Guarituba ocorre um depósito deste tipo, sobre os sedimentos da Formação Guabirota, a cerca de 15 m acima do nível dos aluviões atuais. Estes sedimentos apresentam areias e cascalhos na base, argila plástica cinza e solo com abundante matéria orgânica no topo (fotografias 7 e 8).

Fotografia 07 - Aspecto do contato entre areias e cascalhos dos aluviões atuais com o embasamento gnáissico-migmatítico. Área de lavra em Piraquara, junto a PR-415 (OS-1140).



Fotografia 08 - Visão geral de cava de areia com o embasamento gnáissico aflorando (cor verde). Em branco os sedimentos arenosos, recobertos por argilas e solo hidromórfico. Região de Piraquara na PR-415.



A unidade de gnaisses e migmatitos abrange essencialmente hornblenda gnaisses e biotita-hornblenda gnaisses, com intercalação de composição quartzo-feldspática. A estrutura predominante é bandada. A pequena expressão destas rochas na área mapeada impediu a delimitação de estruturas, o que necessitaria da complementação de dados geofísicos.

#### 6.2.4 - Mapa de Materiais Inconsolidados

Como os sedimentos aluvionares e sedimentos da Formação Guabirotuba são inconsolidados, neste trabalho discriminou-se como cobertura inconsolidada o primeiro nível, que inclui o solo e a parte superior dos sedimentos ou da rocha alterada (horizontes B e C), no caso dos gnaisses e migmatitos.

No mapa de coberturas inconsolidadas estão discriminados os solos hidromórficos, desenvolvidos sobre sedimentos aluvionares. Na área de terraços estão representados solos ricos em matéria orgânica, com espessuras médias de 1,0 m. Na região de ocorrência da Formação Guabirotuba foram identificadas coberturas de solo argiloso, residual ou transportado, de cor vermelha, que cobrem a maior parte desta unidade. Foram discriminadas áreas onde os solos apresentam espessuras de até 1,5 m e áreas com espessuras de solo superiores a 1,5 m. Na unidade de gnaisses e migmatitos foram reconhecidas áreas de coberturas predominantes de solos residuais, com espessuras entre 1,5 e 3,0 m, e áreas com cobertura de solos transportados e/ou residuais sobre saprolito, com espessura entre inferior a 1,5 m. ?

Visando identificar o primeiro nível de inconsolidados e o nível subjacente, foram representados perfis no mapa de materiais inconsolidados nos locais de sondagem ou amostragem. Os códigos utilizados indicam quanto a Origem (A), se residual, coluvial ou aluvial; Rocha Original (B) dependendo da unidade geológica; Textura (C), conforme o resultado de ensaio geotécnico; e Características do Material Inconsolidado (D). Entre as características arroladas no item D foram relacionadas a cor e o mineral de argila predominante, obtido a partir do ensaio de ATD (Análise Térmica Diferencial). Nas hastes são considerados os sucessivos níveis de alteração, a partir da superfície.

Conforme as determinações obtidas nos ensaios de Análise Térmica Diferencial, os principais minerais de argila presentes na área de trabalho são os seguintes:

- Argila cinza (terraços) = caulinita (1:1) predominante.
- Argila (aluviões) = caulinita (1:1) predominante e montmorillonita (2:1) provável.
- Solo residual (gnaises-migmatitos) = caulinita (1:1) predominante, gibbsita, ilita prováveis..
- Solo residual vermelho (Formação Guabirotuba) = caulinita predominante, gibbsita (4:1) e ilita (2:1) prováveis.
- Saprolito (gnaisse-migmatitos) = caulinita.
- Argilas (sedimentos da Formação Guabirotuba) = montmorillonita (2:1) predominante, caulinita e ilita prováveis.

A caracterização dos materiais inconsolidados e o mapeamento das unidades envolveu as seguintes fases:

1ª fase

- Fotointerpretação na escala 1:25.000.
- Trabalho de campo preliminar com a realização de perfis longitudinais na área, visando tanto a caracterização das unidades geológicas quanto os produtos de alteração derivados (solos).

2ª fase

- Revisão da fotointerpretação com base nos dados de campo.
- Atividades de campo, com descrições sistemáticas de litologias e dos perfis de alteração, com observações qualitativas e quantitativas.

3ª fase

- Atividades de campo para observações finais e coleta de amostras por nível de alteração em cada unidade representativa.
- Realização de ensaios de laboratório.
- Elaboração do mapa de materiais inconsolidados.

Após a 2ª fase de campo, os materiais inconsolidados (incluindo neste conceito os sedimentos da Formação Guabirota), foram divididos quanto ao aspecto genético (residuais, coluviais ou retrabalhados) e suas respectivas espessuras. Na terceira fase de campo, com a delimitação mais precisa das unidades, foram realizadas coletas de amostras representativas por perfil, em cada nível de alteração. Este tipo de amostragem permitiu a generalização dos atributos na área da unidade de terreno. Possibilitou ainda estimativas de comportamento através dos atributos que atenderam aos critérios de avaliação da classificação.

O mapa de materiais inconsolidados, portanto, consistiu na síntese das informações do processo de origem dos materiais, rocha original, textura (incluindo áreas de solos hidromórficos), características do material inconsolidado (cor, argilo-mineral, espessura, nível de alteração e presença de matações) e o perfil típico de alteração.

Os critérios utilizados para a classificação dos materiais inconsolidados encontram-se a seguir:

## LEGENDA

### CÓDIGO DE HASTE

A	B	C	D

Espessura

Perfil

Típico de  
Alteração

#### A - ORIGEM

(R) - Residual

(C) - Colúvio

(A) - Aluvião

#### B - ROCHA ORIGINAL

- a) Argila (unidade argilosa, Formação Guabiro tuba)
- b) Arcósio (unidade de argilas + arcósios, Formação Guabiro tuba)
- c) Argila (unidade de argilas + arcósios, Formação Guabiro tuba)
- d) Gnaisse-migmatito

#### C - TEXTURA

- 1 - Solo hidromórfico
- 2 - Muito argilosa
- 3 - Argilosa
- 4 - Franco arenosa
- 5 - Franco siltosa
- 6 - Franco argilo siltosa
- 7 - Franco argilo arenosa
- 8 - Franco
- 9 - Franco argilosa
- 10 - Argilo siltosa

#### D - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL INCONSOLIDADO

0 - Solo de cor negra com muita matéria orgânica, por vezes turfoso, espessura 0,20 a 1,00 m.

1 - Argila de cor marrom a cinza clara, argilo-mineral predominante = caulinita (1:1), argilo-mineral provável = montmorillonita (2:1), com espessura - 2,00 a 5,00 m.

2 - Areia de cor cinza esbranquiçada, granulometria fina a grossa, com cascalho e seixos de quartzo, espessura de 1,00 a 3,00 m.

3 - Terraço - argila de cor cinza clara, escura a negra espessura <5 m. Argilo-mineral predominante = caulinita (1:1). Sobre esta argila desenvolve-se um solo de cor negra, argiloso, poroso, com muita matéria orgânica e espessura média de 1,00 m.

4 - Solo transportado - de cores negra, marrom escura e vermelha. Poroso e rico em matéria orgânica.

5 - Solo maduro ou jovem - cores vermelha, marrom. Argilo-mineral predominante = caulinita (1:1) e argilo-mineral provável = gibbsita, ilita (2:1).

6 - Cor cinza esverdeada, por vezes variegada. Argilo-mineral predominante = montmorillonita (2:1), argilo-minerais prováveis = caulinita (1:1) e ilita (2:1).

7 - Cor cinza esverdeada, vermelha, por vezes variegada, com menos de 25% de finos. Lateralmente descontínuos e com forma lenticular. Finos = montmorillonita (2:1) predominante e caulinita (1:1), ilita (2:1) prováveis.

8 - Saprolito (alteração dos gnaisses e migmatitos), de cor rósea, vermelha-castanha e sob os aluviões de cor verde. Não raramente encontram-se matacões. Argilo-mineral predominante = caulinita (2:1).

Legenda utilizada na descrição dos materiais inconsolidados.

### 6.2.4.1 - Descrição das Unidades de Materiais Inconsolidados

#### Solos Hidromórficos:

Unidade de grande expressão na região, compreende cerca de 40% da área estudada. Está representada pelo aluvião da Bacia do Alto Iguaçu. O perfil típico desta unidade compreende, do topo para a base:

- Solo de cor negra, argiloso, poroso, muito rico em matéria orgânica. A espessura varia de 0,20 a 1,00 m.

- Argila cinza escura a negra, textura argilo-siltosa, com níveis turfosos. A espessura varia de 1,00 a 5,00 m. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e em proporções menores montmorillonita e illita (2:1) (fotografia 09).

- Sotopostos e interdigitados com a argila acima citada encontram-se corpos lenticulares de areia com espessuras variando de 1,00 a 3,00 m. A areia é de cor cinza esbranquiçada, porosa, com granulometria fina a grossa, contendo seixos e matações de quartzo. Apresenta uma porcentagem muito variável em finos.

A espessura média desta unidade é de 5,00 m, e está sobreposta a rochas gnáissicas-migmatíticas alteradas (saprolito), de cor verde, cuja espessura varia de 1,00 a 20,00 m (ver fotografias 7, 8 e 9).

Deve ser ressaltado que ocorrem áreas isoladas parcialmente mais elevadas dentro do aluvião, cujos substratos são migmatitos, terraços e possíveis sedimentos da Formação Guabiro tuba, recobertos apenas pelo primeiro nível acima citado (vide mapa geológico em anexo).



Fotografia 09 - Argilas plásticas de cor branca a cinza, com recobrimento de solo hidromórfico, em cava de areia (Piraquara, OS-1140).

#### Solos de Terraços

Esta unidade tem pequena expressão na região, ocorrendo sobre terraços aluvionares normalmente na periferia dos aluviões. O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo de cor negra, argiloso, poroso, com espessura média de 1,00 m.
- Sotoposta a este solo, encontra-se uma argila de cor cinza clara a escura, por vezes de cor negra. Possui espessura inferior a 5,00 m e o argilo-mineral é a caulinita (1:1).

Esta unidade pode ocorrer tanto sobre gnaisses-mignatitos como sobre os sedimentos da Formação Guabirota (fotografia 10).

Fotografia 10 - Solo turfoso desenvolvido sobre terraços aluvionares, com abundante matéria orgânica, recobrindo níveis de argila e areia. Observa-se aspecto de amostragem geotécnica da argila (OS-754).



#### Solos Residuais e Transportados da Formação Guabirota

Esta unidade, com a maior expressão sobre esta formação, é constituída por uma associação de materiais residuais e transportados (colúvio), com a predominância do primeiro tipo. Estes materiais são facilmente separados no campo, pela existência de um nível de seixos entre ambos. Além disso, o material transportado (colúvio) apresenta cores escuras (preto, marrom escuro) e espessuras centimétricas, por vezes métricas, e o solo residual apresenta cor predominante vermelha e espessuras que variam de menos de 0,5 m até 3,00 m (fotografias 11 a 13).

Este nível de solos residuais e transportados que capeiam as unidades argilosa e de argilas + arcólios da Formação Guabirota foi dividido em duas unidades, em função de sua espessura: solos residuais vermelhos com espessuras de 1,50 a 3,00 m e solos residuais vermelhos com espessura menor que 1,50 m. A primeira unidade ocorre normalmente nas partes mais planas, em geral em topos de morros, formando os divisores d'água. A segunda ocorre com mais freqüência nas encostas, com menor espessura quanto mais íngreme for a topografia. O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo transportado (colúvio), argiloso, poroso de cores negra a marrom escura, com espessura centimétrica a métrica.

- Linha de seixos, com espessura centimétrica.

- Solo residual vermelho, maduro (quando é homogêneo) ou jovem (quando apresenta algumas características da rocha original), argiloso a muito argiloso, argilo-mineral = caulinita (2:1) predominante e em menor proporção illita (2:1) e Gibbsita, (comumente se observa níveis centimétricos de laterita).

- Argila de cor cinza esverdeada, franco argilosa a muito argilosa, com argilo-mineral predominante = montmorillonita (2:1) e em menor proporção illita (2:1) e caulinita (1:1). Esta argila, quando perde sua umidade natural, apresenta uma forte retração que lhe confere um empastilhamento característico. Este fenômeno pode ocorrer simplesmente com a retirada do solo residual acima citado. Por ter natureza higroscópica, quando a argila é re-hidratada (através da chuva) torna-se expansiva, o que lhe confere uma alta desagregabilidade e, também, em função de sua granulometria, uma alta transportabilidade. São comuns nestas argilas trincas profundas em forma conchoidal e níveis centimétricos de laterita.

Este seria o perfil típico da unidade de argilas da Formação Guabirotuba. As mesmas características são válidas para o perfil típico da unidade de argilas + arcósios, faltando apenas acrescentar a descrição do arcósio, uma vez que a argila desta unidade tem as mesmas características da descrita anteriormente. Neste caso, o solo residual poderia estar recobrendo ou o arcósio ou a argila.

- O arcósio apresenta cor cinza, às vezes vermelha ou variegada, com forma lenticular e espessuras centimétricas a métricas (chegando a 5,00 m). São porosos, com textura franco arenosa, com 25% de finos (montmorillonita e illita 2:1).

O ensaio de adsorção do azul de metileno confirma que o índice de atividade da fração argilosa (Acb) tanto da argila como de arcósio é muito alta (19,5 a 39,92 g/100 g), CTC 55,65 a 124,58 meq/100 g.



Fotografia 11 - Solo residual argiloso, de cor vermelha, sobre sedimentos da Formação Guabirotuba (OS-667).



Fotografia 12 - Solo residual, com espesso horizonte de matéria orgânica, mostrando variações de cor em função de processos pedogenéticos, com lixiviação e deposição de óxidos de ferro (área da Penitenciária Central do Estado, Piraquara - OS-719).



Fotografia 13 - Solo coluvionar preenchendo paleosuperfície, sobre sedimentos da Formação Guabirotuba. Observar linhas de seixos de quartzo (proximidades de Campina Grande do Sul - OS-679).

#### Solos Residuais dos Gnaisses e Migmatitos

Esta unidade tem pequena expressão na área mapeada, restringindo-se à região da cidade de Piraquara. O seu perfil típico compreende:

- Solo residual (maduro ou jovem) argiloso, poroso, com espessura maior que 3,00 m. Argilo mineral = caulinita (1:1) predominante, gibbsita e ilita (2:1) em menores proporções.

- Sotoposto a este solo encontra-se saprolito derivado das rochas gnáissicas-migmatíticas, com estruturas reliquias da rocha original. Argilo-mineral predominante = caulinita (1:1) (fotografia 14).

#### Solos Transportados Sobre Gnaisses-Migmatitos:

Unidade com média expressão na região, ocorre nas porções noroeste (ao longo dos rios Atuba e Palmital) e sudeste (cidade de Piraquara). Trata-se de uma associação

de solos transportados (colúvio) e residuais, com predominância do primeiro. Da mesma forma que para os solos da Formação Guabirotuba, não foi possível separar os solos transportados dos residuais, devido a pequena espessura e a falta de continuidade lateral. O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo transportado apresentando cor negra, marrom escura, às vezes vermelha. São argilosos, porosos e ricos em matéria orgânica. A espessura varia de 0,50 a 1,50 m.

- Linha de seixos com espessura centimétrica, separa tanto o solo transportado do solo residual quanto o solo transportado do saprolito.

- Solo residual (normalmente solo jovem) argiloso, poroso, com espessura inferior a 1,00 m. Argilo-mineral predominante = caulinita (1:1) e illita (2:1) em menor proporção.

- Saprolito derivado das rochas gnáissico-migmatíticas, com estruturas reliquias da rocha original e presença esporádica de matacões. Argilo-mineral predominante = caulinita (1:1). Normalmente esta unidade apresenta forma de relevo côncava e sustenta a topografia (fotografia 14).

Fotografia 14 - Aspecto de saprolito em unidade de gnaisses anfíbolíticos, com as estruturas da rocha original ainda preservadas (OS-1137).



### 6.2.5 - Mapa de Áreas Inundáveis

Este mapa foi restrito à folha COMEC 105, em função da existência de dados de réguas adequadas para as medidas apenas nesta área. O mapa foi digitalizado a partir de mapa do CEHPAR, da Universidade Federal do Paraná, apresentando-se os dados de periodicidade de enchentes no período de 10, 20 e >50 anos. Para as demais folhas devem ser consideradas as áreas aluvionares como sujeitas a enchentes e inundações, faltando as medidas sistemáticas para elaboração do mapa previewal.

### 6.2.6 - Mapa de Profundidade do Lençol Freático

Neste mapa estão discriminadas as diferentes formações geológicas e os poços ou cacimbas onde foram coletadas as medidas da profundidade do lençol freático. Estas medidas abrangeram 240 poços, numa proporção de aproximadamente 1 poço/km<sup>2</sup>, e foram concentradas no mês de janeiro/94. O mapa indica profundidades médias para cada formação, que devem ser vistas como indicativas de tendências, uma vez que o

lençol oscila sazonalmente em função dos períodos de seca e de chuvas. As médias obtidas para cada unidade estão relacionadas a seguir (válidas para janeiro/94).

Unidade Geológica	Profundidade média	Nº de medidas
Aluviões	0,90	23
Terraços aluvionares	2,60	21
Formação Guabirota (total)	3,80	171
Formação Guabirota (argilas + arcósios)	4,40	75
Formação Guabirota (argilas)	3,40	96
Complexo gnáissico migmatítico	4,50	25

Tabela 3 - Dados de profundidade do lençol freático

### 6.2.7 - Mapa de Erodibilidade

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provoca o destacamento e o transporte de materiais sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são a água da chuva, rios, geleiras, mares e ventos. Dentre estes, as águas pluviais têm grande importância, por propiciarem o escoamento superficial e o transporte do material inconsolidado. Pode-se classificar a erosão causada pelo escoamento superficial das águas da chuva em natural e antrópica de acordo com Oliveira et al. (1987) e Dage (1990, *in* Pejon, 1992).

A erosão é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente controlado pelos fatores naturais. Esta erosão pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo. A remoção do material inconsolidado pode tornar-se mais rápida do que sua geração a partir dos processos de intemperismo das rochas, o que caracteriza o fenômeno como de erosão acelerada. Outro tipo de erosão está relacionado à ação do homem, que provoca desequilíbrios pela interferência no ambiente natural, recebendo o nome de erosão antrópica e caracterizando-se por uma aceleração dos fenômenos erosivos, num processo mais rápido do que a erosão acelerada natural, podendo evoluir em poucos anos e atingir áreas extensas.

Tanto a erosão normal quanto a acelerada podem ocorrer de duas maneiras principais: como erosão laminar ou por escoamento concentrado. A erosão laminar afeta a superfície do solo como um todo, quando o escoamento da água de chuva ocorre sem concentrar-se em canais definidos. Quando ocorre a formação de filetes ou canais de água arrastando material tem-se a erosão concentrada.

Os fenômenos de erosão concentrada podem apresentar proporções diferentes, desde pequenos sulcos ou ravinas que apresentam dimensões relativamente pequenas, até processos que atingem grandes áreas, com o aprofundamento dos canais até dezenas de metros, interceptando muitas vezes o nível d'água. Estas erosões totalmente descontroladas denominadas boçorocas causam grandes danos, em áreas rurais e urbanas.

### Metodologia de elaboração do mapa de erodibilidade (risco à erosão acelerada)

Para a elaboração do mapa de erodibilidade, sugeriu-se a metodologia utilizada por Pejon (1992), para a folha de Piracicaba no Estado de São Paulo.

Os fatores intervenientes no processo erosivo acelerado utilizados foram: escoamento superficial, espessura e índice de erodibilidade dos materiais inconsolidados.

Os materiais inconsolidados foram separados em espessuras e em dois níveis diferentes: no primeiro nível (superficial) foram agrupados os solos residuais e retrabalhados (colúvio) indiscriminadamente, com três espessuras (<1,5 m, 1,5 a 3,0 m e >3,0 m). No segundo nível foram separados os sedimentos da Formação Guabirotuba (argilas e arcósios), as argilas dos terraços e o saprolito proveniente dos gnaisses-migmatitos, com duas espessuras (>5,0 m e <5,0 m).

A separação em dois níveis dos materiais inconsolidados e a separação entre os tipos de materiais inconsolidados no segundo nível deu-se em função dos sedimentos da Formação Guabirotuba serem formados por argilo-mineral tipo 2:1 (montmorillonita).

Estas argilas apresentam retração e expansão muito grande pela perda ou absorção de água (argila higroscópica). Este fato, aliado a sua granulometria, fazem com que estas argilas sejam facilmente transportadas. Portanto, a destacabilidade desta argila se dá mais pelo caráter físico-químico do que pela força dinâmica da água concentrada, o que acontece com os demais materiais inconsolidados da região (fotografias 15 a 18).



Fotografia 15 - Detalhe do aspecto de pastilhamento apresentado pelas argilas da Formação Guabirotuba pelo processo de alternância de perda e absorção de água, quando é retirada a cobertura de solo (OS-1013).

Fotografia 16 - Boçoroca produzida em sedimentos argilosos da Formação Guabirota após a retirada do solo argiloso como material de empréstimo (Pinhais, OS-903).



Fotografia 17 - Erosão causada pela exposição das argilas da Formação Guabirota devido a realização de terraplenagem (região de Campina Grande do Sul, OS-696).



Fotografia 18 - Erosão de grandes proporções na unidade de argilas e arcósios da Formação Guabirota, junto ao Clube de Campo Santa Mônica (BR-116, OS-1013), devido a retirada do solo para material de empréstimo



Com estes dados, os fatores intervenientes no processo erosivo acima citado, foram hierarquizados e receberam pontuações (tabela 4). Em seguida foram estabelecidas as situações do meio físico da região, que determinam as zonas não suscetíveis a formação de ravinas. Desta forma, as zonas com acúmulo d'água retirada do mapa de escoamento superficial (aluviões com declividade de 0-2,5%) e zonas com rocha aflorante (migmatitos da pedra do Atuba) foram consideradas como áreas de muito baixa suscetibilidade a erosão. Além disso, com a elaboração da tabela 4, foram estabelecidas mais três classes: áreas de baixa suscetibilidade à erosão, áreas de média suscetibilidade à erosão e áreas de alta suscetibilidade à erosão.

Classes de risco potencial à erosão	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Total de pontos de cada classe	120-111	110-101	100-91	90-81	80-71	70-61	60-51	50-41	40-31	30-20
Potencial de escoamento superficial	10 (40 pts.)	9 (35)	8 (30)	7 (25)	6 (20)	5 (15)	4 (13)	3 (10)	2 (8)	1 (5)
1º Nível Espessura		<1,5 m (30 pts.)				1,5 - 3,0 m (15)			> 3,0m (5)	
Erodibilidade	Não Erodível									
2o nível Espessura		> 5m (30 pts.)							1,5 a 5,0 m (5)	
Índice de Erodibilidade		Erodível (20 pts.)							Não Erodível (5)	

Tabela 4 - Tabela de critérios de elaboração do mapa de erodibilidade

Os ravinamentos observados em fotografias aéreas e de informações de campo, encontram-se indicados no mapa de erodibilidade. Tanto os ravinamentos naturais como os causados pela ação antrópica localizam-se principalmente sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba.

Os ravinamentos considerados como naturais encontram-se normalmente em cabeceiras de drenagens ou sob as lentes de arcósios, em áreas com declividade acentuada, com solos rasos e sem vegetação. As lentes de arcósios são aquíferos confinados e as vezes atuam como canais de escoamento d'água, quando interceptados pela topografia, apresentando surgência de água (fotografia 19). Em áreas com declividade alta, a água que sai destes arcósios ganha velocidade e inicia o processo de ravinamento, ou de pequenos deslizamentos de terra. Estes deslizamentos e ravinamentos podem ser considerados sem relevância.



Fotografia 19 - Surgência de água em contato de arcósios e argilas da Formação Guabirotuba (OS-671).

Estes processos podem ser agravados pela ação antrópica com a retirada da camada de solo residual ou transportado (colúvio) para construção de estradas, implantação de loteamentos, retirada de material de empréstimo, etc, deixando a argila ou arcósio expostos. Estas argilas perdem a umidade natural e se retraem, se re-hidratam e se expandem com as águas da chuva formando uma lama facilmente transportada mesmo em pequenos gradientes em que a água se concentre e escoe em filetes ou canais. Desta maneira inicia-se o processo de ravinamento que pode alcançar grandes dimensões se não forem tomadas medidas mitigadoras, e cuja evolução causa grandes danos tanto em áreas rurais como em áreas urbanas.

Exemplos destes ravinamentos poderão ser observados na Planta Carla, no Município de Pinhais, na estrada de ligação da BR-116 (na região do Atuba) com a estrada da Ribeira e ao lado do Clube Santa Mônica, entre outros (ver fotografias 16 a 18).

Nas outras litologias merecem mais atenção os saprolitos derivados dos gnaisses-migmatitos, nas zonas de média suscetibilidade à erosão, onde a declividade seja maior que 10%. Embora não se tenha verificado nenhum ravinamento eles podem ocorrer, embora não tão expressivos como os verificados nos terrenos da Formação Guabirotuba.

#### 6.2.8 - Mapa de Zoneamento Geotécnico

Este mapa foi obtido por meio do cruzamento de informações dos mapas geológico, de materiais inconsolidados e da carta de declividade generalizada com base nos trabalhos de Souza (1992) e Pejon (1992). A sobreposição destes documentos gráficos permitiu a definição de cinco atributos: textura, espessura e gênese dos materiais inconsolidados, declividade e litologia.

Estes atributos, aliados aos resultados dos ensaios geotécnicos e do mapa de erodibilidade, permitem o estabelecimento de sete unidades de terrenos com características bastante uniformes em termos de propriedades geotécnicas. No anexo 2 estão representados perfis característicos das Unidades de terreno consideradas.

Convém salientar, no entanto, que o objetivo do estudo é prevenir, orientar e recomendar, considerando a escala utilizada (1:20.000). Portanto, qualquer projeto de

ocupação na área em questão deverá necessariamente buscar informações locais e específicas para complementação dos dados aqui apresentados, com trabalhos de detalhamento, mapeamentos em escalas maiores e em alguns casos com investigação geotécnica local.

Conforme solicitação da COMEC, tendo em vista a expansão urbana, as unidades de terrenos (U.T.) foram avaliadas quanto a adequabilidade de:

- loteamentos residenciais;
- construção de estradas;
- disposição de resíduos.

Quanto aos problemas de riscos geológicos os terrenos foram avaliados quanto a suscetibilidade de:

- erosão;
- inundações;
- movimentos de massa.

Quanto a potencialidade de recursos naturais consideraram-se:

- recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- recursos minerais relativos a materiais de construção (areia e cerâmica vermelha);

### **6.2.8.1 - Avaliação das Unidades de Terrenos**

#### Unidade de Terreno A

Classificação: planície aluvionar com declividade <5%, solo hidromórfico argilo-siltoso, muito rico em matéria orgânica, mole a muito mole, com níveis turfosos. Espessura de 2,00 a 5,00 metros, N.A. varia de 0,20 a 1,00 m. O valor da capacidade troca de cátions para o material como um todo é de 14,33 meq/100 g, enquanto o CTC da fração argila é 31,52 meq/100 g, em função da presença da montmorillonita.

Sotoposto a este nível existem corpos lenticulares de areia com gradação granulométrica que vai deste areia fina a muito grossa, com seixos de quartzo. Normalmente esta areia quase não possui finos, mas ocorrem outros níveis em que a proporção de finos é grande (areia siltosa ou areia argilosa). A espessura de uma maneira geral é de 1,00 a 3,00 m, no entanto, espessuras inferiores a 1,00 m também são normais. Possui consistência fofa a muito fofa por vezes compacta, porosa e permeável.

#### Avaliação:

Inadequado para loteamentos, estradas e disposição de resíduos:

- Alta suscetibilidade a inundações e enchentes.
- Fonte de recursos hídricos tanto superficial como subsuperficial, de areia para construção civil e argila para cerâmica vermelha.
- Adequada para tanques.

### Unidade de Terreno T

Classificação Geral da U.T.: terraços aluvionares, situados em vales, declividade de 0-5% predominante, 5-10% localizadas. Argilosos, mole a pouco compactos, permeabilidade baixa, média plasticidade, não colapsíveis. Os resultados com ensaio de azul de metileno (Vb) indicam que este material deve apresentar comportamento não laterítico. O nível de água em média situa-se entre 0,50 a 1,00 m, CTC=14,33 meq/100 g. O ensaio de erodibilidade apresenta índice >1 (17,81) indicando comportamento não erosivo.

#### Avaliação:

- Adequado com restrições para loteamentos com referências a fundação devido a sua baixa consistência, e a obras enterradas, devido ao nível de água (2,60 m) e suscetibilidade à inundação.

- Adequado com restrições para estradas com referência ao traçado em função ao N.A. <2,60 e suscetibilidade à inundação.

- Inadequados para disposição de resíduos, pelo nível de água médio, proximidades do aluvião e pela suscetibilidade à inundação.

- Suscetibilidade baixa a erosão.

As áreas com declividade de 5-10%, não são suscetíveis a inundações, mas as demais restrições são válidas.

### Unidade de Terreno GA-Gb-Gd

Classificação geral: solo residual com inclusões de solo transportado (colúvio), desenvolvido sobre as unidades argilosas e/ou de argilas + arcósios da Formação Guabirota, com espessura maior que 1,50 m. (Ga); unidade argilosa da Formação Guabirota, recoberta por solo residual com inclusões de solo transportado e com espessuras inferiores a 1,50 m (Gb); unidades argilas + arcósios da Formação Guabirota recoberta por solo residual com inclusões de solo transportado e com espessuras inferiores a 1,50 m (Gd).

O solo residual da Formação Guabirota independente de sua espessura é argiloso a muito argiloso. Possui consistência média, permeabilidade média, plasticidade média, não colapsível. Os ensaios com azul de metileno (Vb) indicam que este material deve apresentar comportamento não laterítico. Apresenta alternância de níveis centimétricos de material ferruginoso (laterita).

A argila possui textura franco argilosa a argilosa, consistência média a alta, porosa, permeabilidade baixa, plasticidade média, higroscópica, média a alta contração, alta expansividade, presença de trincas, troca catiônica alta (CTC do solo = 29,84 meq/100 g e da fração argila é de 53,16 meq/100 g teores médios). O teste de erodibilidade apresenta índice inferior a 1 (média 0,22), indicando comportamento muito erosivo.

Alternância de níveis de arcósio muito comum na Gd e menos freqüentes a raros na Gb. Os níveis de arcósio são lenticulares, possuem espessuras centimétricas a métricas

(chegando a 5,00 m), textura franco arenosa, porosos, baixa plasticidade, permeabilidade média, consistência média a baixa, surgência d'água e apresentam menos de 25% de finos (montmorillonita e ilita). O material apresenta CTC baixo (10,26 meq/100 g) enquanto a fração argila deste material apresenta um CTC muito alto (91,30 meq/100 g). O teste de erodibilidade apresenta índice <1 (0,50), de caráter erosivo.

#### Avaliação da U.T. (GA)

Ocorre na parte superior dos morros, normalmente formando os divisores de bacias. Declividade de 0-5%, suscetibilidade média a erosão, adequados para implantação de loteamentos e estradas e inadequados para disposição de resíduos em função do nível d'água.

#### Avaliação das U.Ts. Gb e Gd

Suscetibilidade média a erosão para declividade de 0-5%, e alta para as demais declividades. Alta vulnerabilidade a contaminação de aquífero subterrâneo raso em função das lentes de arcósio (Gd).

Adequado com restrições para loteamentos em função da espessura do solo (<1,5 m) uma vez que qualquer obra de engenharia despreza os primeiros metros de solo. Devem-se adotar cuidados especiais quanto ao escoamento superficial (águas da chuva), a drenabilidade das fundações, aos cortes para arruamentos e de terraplenagem nos terrenos, em função do caráter físico-químico da argila (retrativa higroscópica e expansiva), a qual facilmente pode atingir o limite de liquidez. Embora naturalmente não seja colapsível, poderá apresentar o fenômeno da colapsividade, erosão concentrada e laminar.

Restrições também quanto a fundação, em relação às consistências (distintas) dos níveis de argila e arcósio na Gd.

Adequado com restrições para estradas em referência ao seu traçado e subleito pelas características do material acima citado.

Em declividades superiores a 10% os cuidados deverão ser redobrados, principalmente no que se refere ao escoamento das águas da chuva, já que nestas condições de declividade, a força dinâmica da água concentrada acelera os processos erosivos. Devido a presença de trincas, os cortes mais profundos no traçado das estradas ou terraplenagem nos terrenos ou arruamentos poderão eventualmente sofrer deslizamentos. Nestas declividades, deverá ser estudada a melhor situação para a implantação de loteamentos visando <sup>ao</sup> cortar o mínimo possível o terreno.

Inadequado para obras civis em declividade superior a 30%. Estas áreas deverão ser de preservação permanente.

Inadequadas para disposição de rejeitos em função do nível de água (variando em torno de 3,80 m).

#### Unidade de Terreno CS

Classificação: associação de solos transportados com solos residuais e inclusões de sedimentos da Formação Guabirota com espessura inferior a 1,50 m. O solo

coluvionar é argiloso, poroso, consistência baixa; permeabilidade média. Esta associação de solos recobre saprolitos de gnaiss-migmatito, franco siltoso, poroso, alta plasticidade, não colapsível, consistência média a alta, permeabilidade média, apresentando estrutura reliquiar da rocha original e com ocorrência esparsa de matacões. Teste de erodibilidade apresenta índice superior a 1 (3,10 - não erodível).

**Avaliação:**

Baixa suscetibilidade a erosão em declividades inferiores a 20%, e média suscetibilidade em declividades superiores.

Adequado com pequena restrição para loteamento em função da escavabilidade, devido a possibilidade de ocorrência de matacões.

Adequado com restrições para estrada em referência ao seu traçado para declividades superiores a 20%. Nesta mesma condição deverá ser estudada a melhor situação para a implantação de loteamentos visando cortar o mínimo possível o terreno.

Inadequado para disposição de resíduos em função do nível de água, pela sua proximidade aos aluviões, e por estarem em regiões já habitadas.

Inadequado para obras civis em declividades superiores a 30%. Áreas para preservação permanente.

Unidade de Terreno Cr

Classificação: Solo residual de gnaiss-migmatito, argiloso, poroso, permeabilidade média, média plasticidade, não colapsível, consistência baixa a média, espessura maior que 3,00 m. Índice de erodibilidade maior que 1 (86,66) não erodível. Os resultados dos ensaios com azul de metileno ( $V_b = 1,5$ ) situam-se na linha divisória entre material com comportamento laterítico ( $V_b < 1,5$ ) dos não lateríticos ( $V_b > 1,5$ ). N.A. (1,00 a 8,00 m).

**Avaliação:**

Suscetibilidade baixa a erosão em declividades inferiores a 20% e média suscetibilidade em declividades superiores.

Adequado para loteamentos e adequado para construção de estradas. Em declividades acima de 20% apresenta restrições para o traçado em construções de estradas, e deve ser observada a melhor situação para a implantação de loteamentos visando cortar o mínimo possível o terreno.

Inadequado para disposição de resíduos em função do nível de água e por estar urbanizado.

Em declividades superiores a 30% são inadequados para quaisquer obras civis. Áreas para reservação permanente.

Obs.: Em todas as unidades de terreno, as drenagens que não se encontram em aluviões e as suas cabeceiras com declividades inferiores a 30%, também devem ser consideradas como áreas de preservação permanente.

*superiores*

## 7 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A região do Alto Iguaçu apresenta graves problemas de ordenamento territorial, em função das áreas de mananciais, pela acelerada ocupação urbana e pelas fortes limitações do meio físico. As características das unidades geológicas, principalmente da Formação Guabirota e dos aluviões atuais, conforme demonstrado pelos dados de campo e de laboratório, reforçam a necessidade de um maior controle das diferentes formas de ocupação.

As áreas de aluviões devem ser de ocupação restrita. Além dos problemas de enchentes e de saneamento básico (fotografias 20 a 23), os aluviões representam uma importante fonte de água para consumo humano. Prosseguindo a ocupação destes terrenos esta possibilidade será perdida, em função da contaminação do lençol freático, subflorante nestas áreas. Neste sentido, também deve-se buscar uma alternativa para as lavras de areia na várzea do Rio Iguaçu, incompatíveis com as necessidades de preservação destes terrenos.

O outro aspecto crítico da ocupação da região do Alto Iguaçu está relacionado com os altos índices de erodibilidade das argilas da Formação Guabirota. Estas argilas são fortemente instáveis, quando é removida a cobertura de solo argiloso, como material de empréstimo ou nas diferentes obras de engenharia (fotografias 24 e 28).

O conjunto de dados e informações obtido no mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguaçu indica a necessidade de forte atuação do poder público, para compatibilizar a demanda ocupacional com a fragilidade do meio físico. Este processo implica em ação coordenada a nível estadual e municipal, restringindo-se à ocupação das unidades de terreno consideradas inadequadas, exigindo-se estudos adicionais de caracterização das áreas passíveis de ocupação.

Recomenda-se a urgente ampliação dos estudos geológico-geotécnicos na Região Metropolitana de Curitiba, visando minimizar os custos ambientais dos processos inadequados de uso do solo que se verificam atualmente, trabalhando-se com maior detalhe nas zonas urbanas. A ação do Estado deve pautar-se pela orientação e cooperação com o poder municipal, complementando com a fiscalização e aplicação dos dispositivos legais pertinentes. É necessário, também, levar a informação geotécnica à população, para que se disseminem as formas mais adequadas de intervenção no meio físico.



Fotografia 20 - Aspecto da ocupação progressiva das áreas aluvionares na região de Campina Grande do Sul (OS-687).



Fotografia 21 - Área de aluvião alagadiça, com lençol freático subaflorente totalmente contaminado, sem condição de saneamento pela falta de gradiente para escoamento. Região de Pinhais, Vila Amélia.



Fotografia 22 - Aspecto do problema de saneamento nas áreas aluvionares, no Município de Curitiba, Jardim Acrópole, mostrando a contaminação total do lençol freático. Proximidades da captação da SANEPAR no Rio Iguaçu.



Fotografia 23 - Área de antigas lavras de areia reocupadas por loteamentos. Região do Jardim Acrópole, Município de Curitiba.



Fotografia 24 - Erosão de grandes proporções gerada pela remoção do solo como material de empréstimo, atingindo sedimentos da Formação Guabirotuba (OS-903).



Fotografia 25 - Erosão e escorregamentos atingindo residências na região de Campina Grande do Sul, em área de sedimentos da Formação Guabirotuba.



Fotografia 26 - Erosão e escorregamentos atingindo residências na área urbana de Curitiba.



Fotografia 27 - Corte de encosta instabilizando o terreno em função da existência de sedimentos argilosos. Região a norte do trevo do Atuba, em direção a Colombo.



Fotografia 28 - Corte inadequado do terreno, expondo argilas erosivas, na região do Clube Santa Mônica - BR-116.



Fotografia 29 - Ocupação de cabeceiras de drenagens (loteamento João Paulo II, região de Campina Grande do Sul).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BIGARELLA, João José, SALAMUNI, Riad. Considerações sobre o paleoclima da bacia de Curitiba. Notícias Geomorfológicas. Campinas, n. 3, p. 33-39, abr, 1959.
- 2 \_\_\_\_\_. et al. Origem e ambiente de deposições da Bacia de Curitiba. Bol. Paran. Geogr. Curitiba, n. 415, p. 71-81, 1961.
- 3 CAMARGO, O.A. de, MUNIZ, A.C. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas : Instituto Agrônomo de Campinas, s.d. (Boletim Técnico, n. 106).
- 4 DEMATTÉ, J.L.I. Curso de gênese e classificação dos solos. Piracicaba : Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1989. 210 p.
- 5 NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. São Paulo : DER, 1979. "Não paginado".
- 6 PEJON, Osni José. Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba - SP (escala 1:100.000) estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1992. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia), 1992.
- 7 SANTOS, Pêrsio de Souza. Ciência e tecnologia de argilas. 2. ed. rev. e amp. São Paulo : Edgard Blücher Ltda. 1989. v. 1., 408 p.
- 8 SOUZA, Noris Costa Diniz Coelho de. Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai : com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1992. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), 1992.
- 9 ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1987. 3 v. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil - Geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1987.
- 10 ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Importância do mapeamento geotécnico uso e ocupação do meio físico : fundamentos e guia para elaboração. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1993. 2 v. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1993.

