



**PROJETO MAPEAMENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA
PLANEJAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA -
FOLHA - A D14SEA, D14SEB, D14SEC, D14SED; FOLHA - B D14SEE, D14SEF,
D23SOE, D42NEA, D42NEB, D51NOA**

Volume 1

CURITIBA
2014

Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR

Projeto mapeamento geológico geotécnico para planejamento na Região Metropolitana de Curitiba - Folha A D14SEA, D14SEB, D14SEC, D14SED ; Folha B D14SEE, D14SEF, D23SOE, D42NEA, D42NEB, D51NOA. Curitiba : Mineropar, 2014.

2 v.

Conteúdo: v.1. Texto, v.2. Anexos.

1. Mapeamento geológico. 2. Mapeamento geotécnico. 3. Riscos geológicos. 4 Região Metropolitana de Curitiba. I. Felipe, R. S. II Título.

CDU 624.13 (816.21)

Permitida a reprodução total ou parcial, desde que citada a fonte.
Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR
Rua Máximo João Kopp, 274 - Bloco 3M
CEP 82630.900 - Curitiba - Paraná - Brasil
Telefone: 55 41 3351-6900 - Fax 55 41 3351-6950
homepage: www.pr.gov.br/mineropar - email: minerais@pr.gov.br



GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

Carlos Alberto Richa
Governador

Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e Assuntos do Mercosul - SEIM

Ricardo Barros
Secretário

Serviço Geológico do Paraná – MINEROPAR

José Antonio Zem
Diretor Presidente

Marcos Vitor Fabro Dias
Diretor Técnico

Sérgio Roberto Pegoraro
Diretor Administrativo-Financeiro



GERÊNCIA DE MAPEAMENTO BÁSICO E TEMÁTICO

PROJETO MAPEAMENTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA PLANEJAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA - FOLHA - A D14SEA, D14SEB, D14SEC, D14SED; FOLHA - B D14SEE, D14SEF, D23SOE, D42NEA, D42NEB, D51NOA

Chefe do Projeto

Geólogo Rogério da Silva Felipe

Autor

Geólogo Rogério da Silva Felipe

Equipe Executora

Geólogo Diclécio Falcade

Geólogo Edir Edemir Arioli

Técnico em Mineração/Geoprocessamento

Miguel Ângelo Moretti

Auxiliares de Campo

Genésio Pinto Queiroz

Manoel de Cristo

Estagiários

Gabriel Fischer

Marcela Chinen Machado

Daniel Boller

SELAB - Serviço de Laboratório

Técnico em Mineração - Antônio Perdoná Alano

Auxiliar de Laboratório - Amilton Teixeira de Lara

Auxiliar de Laboratório - Antônio Mariano de Brito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 A importância do mapeamento geológico-geotécnico.....	9
1.2 Histórico.....	10
1.3 Etapa atual	10
2. JUSTIFICATIVA	10
3. OBJETIVOS	10
4. METODOLOGIA DE TRABALHO	11
5. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	12
6. ATIVIDADES REALIZADAS	14
7. MAPAS E CARTAS GEOTÉCNICAS	14
7.1 Mapa de documentação.....	15
7.2 Mapa de declividade.....	15
7.3 Mapa geomorfológico	16
7.4 Mapa de substrato rochoso	17
7.5 Mapa de materiais inconsolidados.....	19
7.5.1 Descrição das Unidades de Terreno.....	23
7.6 Carta de adequabilidade para loteamentos residenciais e industriais.....	41
7.6.1 Objetivos.....	41
7.6.2 Classificação e Avaliação das Unidades de Terreno	41
7.7 Carta geotécnica síntese de adequabilidade à ocupação frente aos desastres naturais	49
7.7.1 Movimento gravitacional de massa: conceitos.....	50
7.7.2 Movimentos gravitacionais de massa na área mapeada	51
7.7.3 Erosão:.....	56
7.7.4 Erosão na área mapeada.....	57
7.7.5 Inundações e alagamentos	61
7.7.6 Inundações e alagamentos na área mapeada.....	62
7.7.7 Áreas com declividade maior do que 30%	65
7.7.8 Áreas com baixa suscetibilidade aos desastres naturais.....	65
8. REFERÊNCIAS	67

ANEXOS - Laudos Geotécnicos

TÁBUA DE IDENTIFICAÇÃO DE ABREVIações E RESPECTIVAS UNIDADES

Ag	Argila (partículas <0,002 mm)
Si	Silte (0,002 a 0,02 mm)
Ar	Areia (0,02 a 2,0 mm)
ps	Massa específica dos sólidos - g/cm ³
pd_c	Massa específica seca de campo - g/cm ³
eo	Índice de vazios natural
η	Porosidade - %
Sr	Grau de saturação - %
pd_{mx}	Massa específica seca máxima - g/cm ³
w_{ot}	Teor de umidade ótima do solo - %
S	Índice de absorção de água
P	Perda de peso por imersão - %
E	Índice de erodibilidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
CTC	Capacidade de troca de cátions - meq/100 g
SE	Superfície específica - m ² /g
V_b	Valor de absorção de azul de metileno do solo - g/100 g
A_{cb}	Valor de absorção de azul de metileno na fração argila - g/100 g
Ph	Potencial hidrogeniônico

1. INTRODUÇÃO

1.1 A importância do mapeamento geológico-geotécnico

A sequência de desastres geológicos que, a propósito de chuvas cada vez mais intensas vem se abatendo sobre várias cidades na Região Sul-Sudeste, desde 2008, atinge a sociedade brasileira com perdas de muitas vidas.

A questão essencial é que estão sendo ocupadas pela urbanização áreas que, por suas condições geológicas, jamais poderiam ser utilizadas para tal fim, tais como encostas de alta declividade, várzeas e margens de rios. Na maior parte das vezes, essas tragédias atingem a população de baixa renda, mas, como nos casos do Vale do Itajaí, Petrópolis, Antonina, Morretes e Angra dos Reis, foram atingidas edificações de classe média alta, em situações de evidente ilegalidade fundiária e urbanística, expondo a falta de controle da administração pública sobre a gestão de seu território.

Recentemente, a difícil escolha de uma área para depositar resíduos sólidos na Região Metropolitana de Curitiba - RMC, após a verificação de mais de 30 áreas possíveis, demonstrou a importância do mapeamento geológico-geotécnico para o ordenamento territorial. Nem toda área tem condições de receber um aterro sanitário, porque ela deve apresentar determinados atributos geotécnicos, necessários para a sua implantação, sob risco de contaminação do lençol freático, entre outros problemas ambientais. Várias outras formas de ocupação do solo são essenciais em um município, tais como cemitérios, hospitais, loteamentos, obras enterradas, rodovias, ferrovias, aeroportos, abatedouros, frentes de mineração, entre outras.

Desta forma, o planejamento de um território ou município deve obrigatoriamente dispor de um mapa geológico-geotécnico para adequar as diferentes formas de uso e ocupação do solo.

A contribuição do mapeamento geológico-geotécnico ao planejamento regional e urbano consiste no uso de informações do meio físico para orientar o uso e ocupação da terra, a análise ambiental e o planejamento de obras civis. A geotecnia classifica e analisa os recursos naturais do meio físico quanto às limitações e potencialidades, representando esse processo cartograficamente através do mapeamento geológico-geotécnico. Procura avaliar também esses recursos quanto à adequabilidade, segundo critérios que visam o equilíbrio e o desenvolvimento para estudos de viabilidade, projetos, construção e monitoramento.

Sendo o meio ambiente a base natural do desenvolvimento sócio-econômico, o mapeamento geológico-geotécnico é a forma ambientalmente mais correta de planejar o uso e ocupação do solo, controlando riscos, potencialidades e adequabilidades, permitindo direcionar o crescimento urbano para as áreas mais adequadas e com menores riscos, permitindo também identificar os recursos naturais e equacionar o seu aproveitamento com a ocupação urbana.

1.2 Histórico

A MINEROPAR realizou, no período de 1994 a 1999, um total de 1.693 km² de mapeamento geológico-geotécnico na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, abrangendo total ou parcialmente os municípios limítrofes a Curitiba: Colombo, Bocaiúva do Sul, Quatro Barras, São José dos Pinhais, Pinhais, Araucária, Mandirituba, Almirante Tamandaré, Campo Magro e Campo Largo (Figura 1).

Esse mapeamento foi realizado na forma de três Convênios de Cooperação Técnica entre a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC e a MINEROPAR. A metodologia utilizada foi adaptada de ZUQUETTE (1987) e SOUZA (1992) e a escala adotada foi de 1:20.000. Foram gerados os seguintes mapas básicos e temáticos: documentação, declividades generalizadas, geológico, materiais inconsolidados (com resultados de ensaios geotécnicos), profundidade do lençol freático, erodibilidade, geotécnico geral e de adequabilidade para loteamentos residenciais. Foram também avaliados os riscos naturais associados a inundações, afundamentos cársticos, erosão e poluição das águas, assim como potencialidade para materiais de uso imediato para construção civil, em especial brita, areia e argila.

1.3 Etapa atual

Considerando a importância destes estudos e a necessidade premente de reforçar a base de conhecimento para a gestão de riscos geológicos e hidrológicos, a MINEROPAR decidiu, em 2012, retomar os levantamentos sistemáticos na Região Metropolitana de Curitiba. Os primeiros resultados desta nova etapa, objeto deste relatório, abrangem 268 km² de um total de 1.646 km² previstos até 2015. A metodologia e os temas considerados seguem os mesmos princípios adotados no período de 1994 a 1999.

2. JUSTIFICATIVA

Além de ser o maior aglomerado urbano do Paraná, a Região Metropolitana de Curitiba - RMC é a região que mais cresce no Estado. Os maiores problemas da RMC estão relacionados à ocupação, que afetam o reordenamento territorial, notadamente nos aspectos relativos ao assentamento populacional e ambiental.

Portanto, passados mais de 20 anos da execução dos levantamentos geológico-geotécnicos realizados pela MINEROPAR, há necessidade de uma atualização, bem como de completar este mapeamento no restante da área do Alto Iguaçu, perfazendo mais de 1.646 km².

3. OBJETIVOS

A retomada do mapeamento geológico-geotécnico da Região Metropolitana de Curitiba tem os seguintes objetivos:

- Revisar e atualizar os mapas geológico-geotécnicos executados na primeira etapa do projeto, em função de alterações ocorridas desde a sua conclusão,

principalmente no adensamento da ocupação e na execução de obras de infraestrutura que não existiam à época.

- Acrescentar aos mapas geológico-geotécnicos já executados o tema do risco geológico associado a inundações, erosão e movimentos gravitacionais de massa.
- Mapear as folhas restantes, na escala de 1:20.000, de modo a cobrir a área conurbada da Região Metropolitana de Curitiba.

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

O mapeamento geológico-geotécnico está sendo realizado segundo um conjunto de princípios metodológicos, proposto por ZUQUETTE (1987) e SOUZA (1992). Baseia-se numa sequência hierárquica de temas, conforme o seguinte esquema:

- Geomorfologia.
- Substrato rochoso.
- Materiais inconsolidados.
- Definição de arranjos.
- Águas superficiais.
- Águas subsuperficiais.
- Amostragem de materiais inconsolidados.
- Ensaio geotécnicos.

Dessa maneira, o terreno é compartimentado em Unidades de Terreno (UT), que levam em conta as formas de relevo, o material inconsolidado e o substrato rochoso. Para cada Unidade de Terreno é construído um perfil típico de alteração, que representa o material inconsolidado.

A amostragem para a realização de ensaios geotécnicos é feita levando-se em conta cada nível de alteração dos perfis típicos em cada Unidade de Terreno. Para caracterização das unidades foram realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria ou sedimentação (teores de argila, silte, areia e classe textural).
- Índices de campo (massa específica do solo, massa específica seca de campo, índice de vazios porosidade e grau de saturação).
- Proctor normal (massa específica aparente seca e massa específica aparente úmida).
- Limite de liquidez e plasticidade.
- Capacidade de troca de cátions (absorção de azul de metileno).
- Superfície específica (absorção de azul de metileno).
- Potencial hidrogeniônico (pH).
- Permeabilidade.
- Erodibilidade.
- Argilo-mineral.

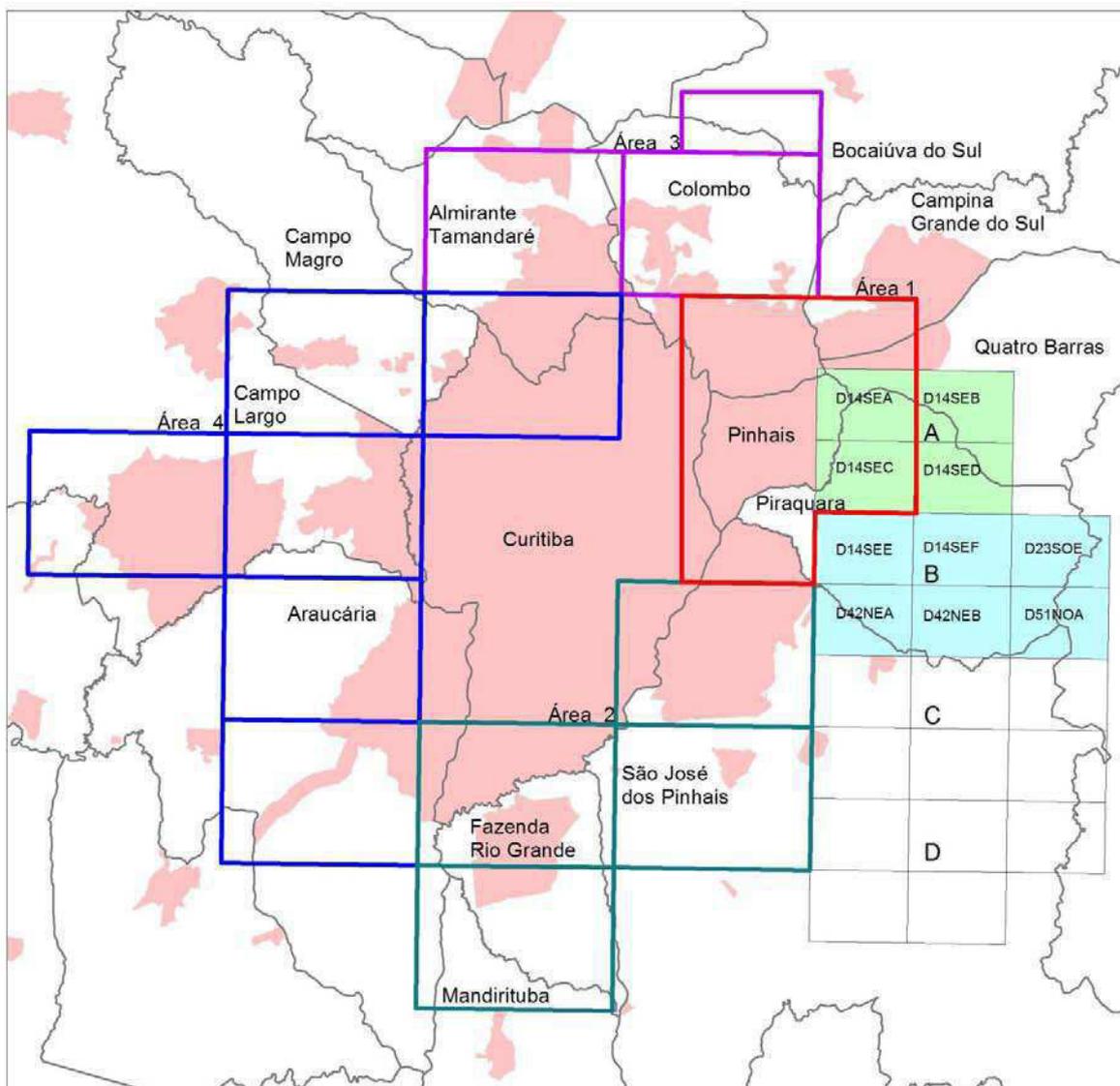
5. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área mapeada nesta etapa do projeto abrange aproximadamente 268 km² e inclui parte dos municípios de Quatro Barras, Piraquara e São José dos Pinhais.

O mapeamento foi realizado sobre as folhas topográficas produzidas pelo Instituto das Águas do Paraná, na escala 1:10.000, identificadas pelos seguintes códigos:

- D14SEA, D14SEB, D14SEC e D14SED, identificadas como Folha A;
- D14SEE, D14SEF, D23SOE, D42NEA, D42NEB e D51NOA, identificadas como Folha B.

Os 1.646 km² a serem mapeados até 2015 situam-se nos extremos leste, sul e oeste da Bacia do Alto Iguaçu. A Figura 1 mostra a disposição destes polígonos de mapeamento, além dos setores cobertos durante o Convênio COMEC - MINEROPAR, entre 1994 e 1999.



Área de cobertura do Projeto

- Folha A
- Folha B

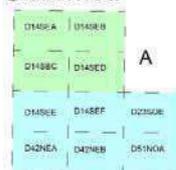
Área de mapeamento planejada

- Folha C
- Folha D

Projetos do Convênio COMEC - MINEROPAR

- Área 1 - 1994
- Área 2 - 1996
- Área 3 - 1997
- Área 4 - 1999

Cartas 1:10.000 Suderhsa



Situação na RMC



Setores censitários urbanos (IBGE, 2010)

Limites municipais (IBGE, 2010)



MINEROPAR
SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ

Figura 1. Mapa de localização da área mapeada.

6. ATIVIDADES REALIZADAS

No decorrer dos trabalhos foram realizadas as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica.
- Compilação de dados de trabalhos e projetos executados pela MINEROPAR e outras empresas ou instituições.
- Fotointerpretação em aerofotos Suderhsa na escala de 1:30.000.
- Levantamento de campo, incluindo perfilagens geológicas, descrição de afloramentos (materiais inconsolidados e rochas), totalizando 222 pontos.
- Amostragem geotécnica totalizando 31 amostras indeformadas e deformadas.
- Ensaio geotécnicos de laboratório nas 31 amostras coletadas, perfazendo um total de 279 ensaios.
- Confecção dos seguintes mapas básicos auxiliares e fundamentais: documentação, declividade, geomorfologia, substrato rochoso e materiais inconsolidados.
- Confecção das seguintes cartas interpretativas ou derivadas: unidades de terreno, alagamento e inundação, movimentos gravitacionais de massa, erodibilidade, adequabilidade a loteamentos residenciais e industriais, síntese geotécnica de adequabilidade à ocupação frente aos desastres naturais.

7. MAPAS E CARTAS GEOTÉCNICAS

Os resultados obtidos com a execução das etapas de trabalho relacionadas acima são apresentados a seguir na forma de descrição dos mapas e cartas geotécnicas. Desta maneira, busca-se produzir um texto mais sintético e descritivo, de consulta mais fácil pelo usuário do relatório.

Segundo ZUQUETTE (1987), considera-se como **mapa geotécnico** uma representação dos atributos do meio físico, sem a realização de análise interpretativa e sempre para escalas menores do que 1:10.000. Exemplos: mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de declividades.

Considera-se como **carta geotécnica** uma representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão contidos em um mapa. Exemplos: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, carta de escavabilidade, carta de adequabilidade a loteamentos.

Os produtos cartográficos seguem a seguinte classificação:

- **Mapas básicos auxiliares**
 - mapa de documentação;
 - mapa de declividade.

▪ Mapas básicos fundamentais

- mapa topográfico;
- mapa geomorfológico;
- mapa do substrato rochoso;
- mapa de materiais inconsolidados.

▪ Cartas interpretativas ou derivadas

- carta de suscetibilidade a alagamentos e inundações;
- carta de suscetibilidade a movimento gravitacional de massa;
- carta de suscetibilidade à erosão;
- carta de adequabilidade a loteamentos residenciais e industriais;
- carta geotécnica síntese de adequabilidade à ocupação frente aos desastres naturais.

7.1 Mapa de documentação

O mapa de documentação consiste no registro das informações relevantes obtidas no projeto na primeira fase (1993-1999) e na etapa atual (2012). Foram registrados no mapa os pontos de campo onde foram descritos solo, rocha, nível freático, amostras coletadas para ensaios geotécnicos, sondagens a trado e SPT. As siglas utilizadas são as seguintes:

- OS, RG, LM: pontos de campo com descrição de afloramentos ou de amostragem obtidos na primeira fase.
- RM: pontos de campo ou de amostragem obtidos na fase atual.
- ST: sondagens a trado realizadas pela MINEROPAR.
- SP: sondagens à percussão realizadas pela MINEROPAR.
- FB: sondagens a trado, à percussão ou poços de inspeção realizadas no projeto do Novo Ramal Ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul.
- FA: sondagens a trado, a percussão e de poços de inspeção realizados na implantação da Ferrovia Engenheiro Bley - Curitiba.
- SA: sondagens a trado ou percussão executadas no projeto da represa do Iraí.
- CPRM: sondagens a trado executadas pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

7.2 Mapa de declividades

O mapa de declividades foi obtido a partir de modelo digital do terreno, gerado com dados topográficos das cartas 1:10.000 da Suderhsa (2000), da Bacia do Alto Iguaçu. Foi utilizado o *software ArcView 3.2*, módulo *3D Analyst*, com o método de rede de triângulos (*Triangulated Irregular Network - TIN*). Foram adotadas as classes de declividade de 0-2,5%, 2,5-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30%, 30-45% e maior que 45%.

Este mapa básico auxiliar tem como objetivo determinar a distribuição, na área estudada, de um dos atributos mais importantes para a avaliação dos terrenos.

7.3 Mapa geomorfológico

A área mapeada está inserida nas unidades morfoestruturais da Bacia Sedimentar Cenozóica e do Cinturão Orogênico do Atlântico, bem como nas unidades morfoesculturais: Planícies, Primeiro Planalto e morros soerguidos.

Além das subunidades morfoesculturais que foram separadas através dos mapas de declividade, de materiais inconsolidados e do substrato rochoso, o mapa geomorfológico contém as formas de relevo, tais como vertentes retilíneas, côncavas e convexas, rampas suaves e abruptas, vales encaixados e de fundo chato. Nos morros soerguidos do Primeiro Planalto e da Serra do Mar foram demarcadas as bacias hidrográficas, cristas, direção preferencial de movimentos de massa nas encostas, bem como as áreas de deposição de sedimentos.

As subunidades morfoesculturais seguem a mesma descrição e classificação adotada no Mapa Geomorfológico do Paraná: 1.1.4, 1.2.1, 1.2.4, 1.2.5, e 3.5.2. A Figura 2 mostra a situação das áreas mapeadas no mapa geomorfológico do Paraná.

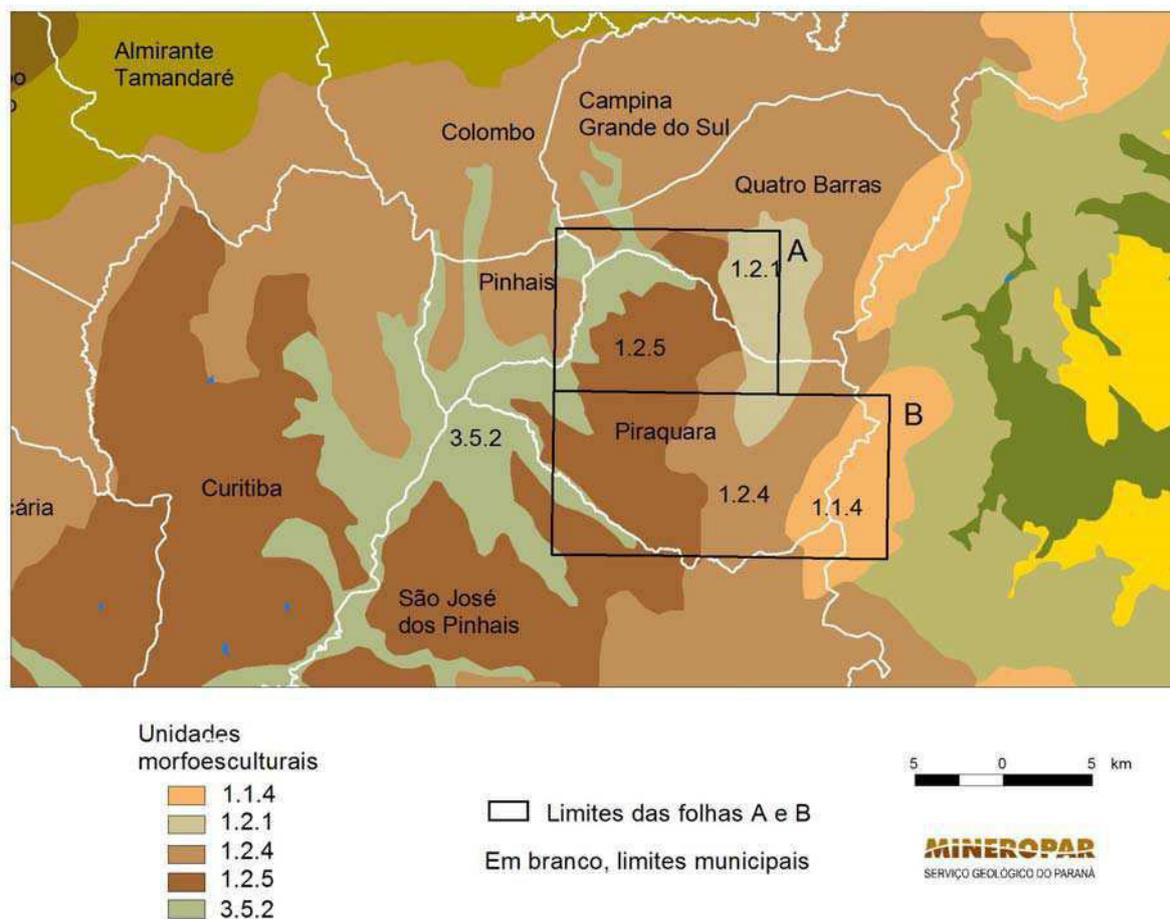


Figura 2 - Situação das áreas mapeadas sobre o mapa geomorfológico do Paraná, escala 1:250.000, Folha Curitiba (MINEROPAR-UFPR, 2006).

A subunidade morfoescultural 1.1.4 é denominada Blocos Soerguidos da Serra do Mar. Como representantes dessa subunidade temos os granitos Graciosa e Marumbi, também pertencentes à Suíte Álcali-Granitos. Em relação ao relevo apresentam um gradiente de 680 m, com altitudes variando de 900 e 1.350 m sobre o nível do mar. As classes de declividades dominantes no granito Graciosa são de 5 a 20% e, secundariamente, de 30% a maior que 45%. No granito Marumbi, as declividades predominantes são de 20 a 30% e maior que 45%. As formas predominantes em ambos granitos são topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em "V" fechados.

A subunidade morfoescultural 1.2.1 é denominada Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto. Como representante dessa subunidade temos o granito Anhangava, pertencente à Suíte Álcali-Granitos. As classes de declividades predominantes estão entre 30% e maior que 45%. O relevo apresenta um gradiente de 500 m, com altitudes variando entre 900 e 1.350 m sobre o nível do mar. As formas predominantes são topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em "V" fechado.

A subunidade morfoescultural 1.2.4, denominada Planalto de Curitiba, está situada no Primeiro Planalto Paranaense. Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 680 m, com altitudes variando de 880 a 1.000 m sobre o nível do mar. As formas predominantes são topos alongados e aplainados também conhecidos como chapadas e colinas suaves, vertentes convexas e vales em "V". As classes de declividades predominantes são 10 a 20% e de 30% a maior que 45%. Essa subunidade é modelada em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico.

A subunidade morfoescultural 1.2.5 é denominada de Planalto do Alto Iguaçu e está situada no Primeiro Planalto Paranaense. As classes de declividades predominantes estão entre 2,5% e 10%. Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 120 m, com altitudes variando de 880 a 955 m acima do nível médio do mar. As formas predominantes são topos alongados e aplainados, vertentes retilíneas a convexas, articulando-se às planícies fluviais mediante rampas suaves, vales em "V" e "U", modeladas principalmente em sedimentos da Formação Guabirotuba.

A subunidade 3.5.2 é denominada Planícies Fluviais, apresentando sedimentos inconsolidados do período Quaternário.

7.4 Mapa de substrato rochoso

O termo substrato rochoso descreve a rocha sã em que há necessidade de explosivo para o seu desmonte, classificando-se como metamórfica, ígnea ou sedimentar compacta. Por esse motivo, no mapa em questão não estão representados os aluviões e nem os sedimentos cenozóicos, que estão incluídos no mapa de materiais inconsolidados. A classificação estratigráfica tem importância secundária, no mapa de substrato rochoso, no entanto a litologia é fundamental.

Para a elaboração do mapa, foram utilizadas informações existentes, em escalas de 1:50.000 ou menores, mas elas não se mostraram adequadas ou suficientes para a

escala do trabalho de 1:20.000. Optou-se pela realização de fotointerpretação em fotografias aéreas na escala de 1:30.000, associadas às cartas topográficas na escala de 1:20.000 e à descrição de afloramentos no campo.

A seguir são descritas as características das unidades mapeadas:

- **Formação Serra Geral:** diques básicos ocorrem preenchendo falhas e fraturas segundo a direção N40-70°W, são bastante alongados, com extensões de quilômetros a dezenas de quilômetros, e com espessuras variando de alguns metros a mais de 40 metros. São constituídos por diabásio de cor cinza-escuro a negro e se apresentam em forma de matacões envoltos por solo.
- **Suíte Álcali-Granitos:** esta suíte está representada pelo granitos Anhangava (GA), Serra da Graciosa (GG) e Marumbi (GM), que ocupam respectivamente áreas de 55 km², 320 km² e 73 km².
 - Granito Anhangava: granito com granulação média a fina, equi a inequigranular, com predomínio de termos leucocráticos, de cores cinza, cinza-rosado a róseo. São constituídos por quartzo (10-25%), feldspato potássico (10-65%), albita-oligoclásio (0-30%), biotita (0-10%), hornblenda (0-10%), anfibólios sódicos (riebeckita-arfvedsonita) e piroxênio Na-Ca (aegirina-augita). Os minerais acessórios são zircão, titanita, allanita, apatita, fluorita e opacos, e como produtos de alteração ocorrem epidoto, clorita, sericita, e carbonato.
 - Granito Serra da Graciosa: esse granito apresenta uma grande variedade de litotipos, predominando rochas leucocráticas, com cores cinza-claro e rosado, granulação média, localmente porfíricas, com porções isentas de minerais máficos e outras ricas em biotita e anfibólios. São constituídos por quartzo (10-25%), feldspato potássico (15-65%), albita-oligoclásio (0-50%), hornblenda (0-10%), biotita (0-10%), anfibólios sódicos (riebeckita-arfvedsonita 0-10%), piroxênio Na-Ca (aegirina-augita, 0-10%). Como minerais acessórios ocorrem zircão, titanita, allanita, fluorita e opacos. Como produtos de alteração temos cloritas, muscovita, epidoto e carbonatos.
 - Granito Marumbi: apresenta fácies bastante homogêneas, leucocráticas, equigranulares, com granulação média a grossa e cores cinza-claro a rosado. Tem como minerais predominantes quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e albita.
- **Complexo Gnáissico-Migmatítico:** na área de abrangência do projeto foram encontradas as associações litológicas caracterizadas a seguir.
 - Migmatitos estromáticos: com paleossoma de biotita-hornblenda gnaisse, mica-quartzo xisto, ultrabásito e anfibolito.

- Migmatitos oftálmicos: com paleossoma de biotita-gnaïsse, biotita-hornblenda gnaïsse e hornblenda-gnaïsse, podendo-se encontrar localmente quartzito.

7.5 Mapa de materiais inconsolidados

O mapa de materiais inconsolidados consiste na síntese das informações sobre os processos de origem dos materiais inconsolidados, da rocha original, textura (incluindo áreas de matacões e áreas de solo hidromórfico), bem como do perfil típico de alteração desses materiais.

Uma associação de unidades de material inconsolidado corresponde a uma Unidade de Terreno (UT). O perfil típico de alteração de cada UT contém informações sobre espessuras, níveis de alteração (camadas distintas), textura, rocha original e índice de resistência (SPT), além dos dados de ensaios geotécnicos.

O mapeamento e a caracterização dos materiais inconsolidados envolveu várias fases. Os critérios utilizados para sua classificação encontram-se descritos a seguir.

1ª fase:

- Fotointerpretação na escala 1:25.000 e 1:30.000.
- Análise dos dados de sondagens à percussão e índice de resistência à penetração (SPT) de projetos do DER, DNER e COMEC.

2ª fase:

- Atividades de campo com descrição sistemática dos perfis de alteração, contendo observações qualitativas e quantitativas.
- Revisão da fotointerpretação com base em dados de campo.

3ª fase:

- Atividades de campo para observações finais e coleta de amostras por nível de alteração em cada UT representativa.
- Realização de ensaios geotécnicos de laboratório.
- Elaboração do mapa de materiais inconsolidados.
- Para a descrição dos materiais inconsolidados adotou-se a seguinte classificação:
 - a) Solo hidromórfico - Sob esta denominação, estão compreendidos os solos mal drenados ou muito mal drenados, regidos pela influência da água em função de relevo e do material originário.
 - b) Solo transportado (Colúvio) - Solo com fragmentos rochosos transportados ao longo das encostas devido à ação combinada da gravidade e da água. Possui características diferentes das rochas ou solo subjacentes.
 - c) Solo residual maduro - Desenvolvido no local da própria rocha (*in situ*), evoluído pedologicamente (horizonte B, latossolo), com laterização, concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio, lixiviação de bases e eventualmente formação de crostas duras.

- d) Solo residual jovem - Desenvolvido no local da própria alteração da rocha (*in situ*), pouco evoluído, início do processo pedogenético, com estrutura incipiente da rocha original.
- e) Saprólito - Primeiro nível de alteração do solo a partir da rocha, máximo grau de alteração da rocha, heterogêneo, estruturas reliquiares da rocha preservadas, podendo ou não conter matacões de rocha alterada ou sã.

Nas áreas mapeadas foram considerados os sedimentos aluvionares e os sedimentos da Formação Guabirotuba como materiais inconsolidados.

Os materiais inconsolidados são separados através de cores no respectivo mapa, de maneira que cada cor representa uma UT.

Visando caracterizar a variação em profundidade do material inconsolidado nas UTs, foi criado o código de haste, que é representado no mapa como um retângulo, cujas linhas horizontais representam essa variação. Essas linhas são divididas em quatro partes iguais, preenchidas por letras maiúsculas que representam as características geotécnicas de cada nível. O código de haste não representa necessariamente em cada ponto o perfil típico de uma UT. Em alguns pontos faltam determinadas variações ou níveis de solo, e em outros há variações adicionais, de maneira que a somatória dessas variações ou níveis de alteração geram o perfil típico de alteração da UT.

A legenda do código de haste está resumida a seguir:

A	B	C	D	ESPESSURA

Perfil típico de alteração ou níveis de alteração dos materiais inconsolidados:

1) Origem

Residual (R)

Colúvio (C)

Aluvião (A)

B - Rocha original

a) metapelito

b) quartzito

c) metadolomito

d) metacalcário

e) calcoxisto

f) gnaissé-migmatito

g) diabásio

h) argila

i) arcósio, cascalho

j) gnaissé granítico

k) metaultramáfica

l) siltito

m) conglomerado

2) Textura

1 - solo hidromórfico

2 - solo com matacões

3 - muito argilosa

4 - argilosa

5 - siltosa

6 - média

7 - arenosa

3) Características dos materiais inconsolidados

- a) Solo transportado (coluvial) de cor variegada (avermelhado, amarelado, marrom), imaturo. Ocorrem linhas de seixos (*stone lines*) de quartzo separando-o da camada inferior de metassedimentos. Ocorrem ainda paleocanais de pequenas dimensões preenchidos por seixos de quartzo. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1), secundariamente esmectita (2:1) e gibsita (2:1).
- b) Solo maduro ou jovem de cor vermelha, por vezes variegado, contendo concentrações de sílica. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1), esmectita (2:1) e gibsita (2:1).

- c) Solo maduro ou jovem de cor castanho-claro ou amarelo, normalmente muito raso, desenvolvido sobre metapelito, diabásio, gnaissé-migmatito e gnaissé granítico. O argilo-mineral predominante é a caulinita, secundariamente esmectita (2:1) e gibsita (2:1).
- d) Solo maduro ou jovem, vermelho ou amarronado, de espessuras variadas, produto da alteração de argilas esmectitas da Formação Guabirotuba. O argilo-mineral é a caulinita (1:1).
- e) Argila cinza-esverdeada, por vezes variegada, erosiva, expansiva, retrativa (empastilhamento). O argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1).
- f) Arcósio de cor avermelhada, por vezes variegada, com porcentagem de finos de 20 a 50%. Lateralmente descontínuo (lenticular) e com forma irregular. Ocorrem camadas de cascalhos associados. O argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1).
- g) Saprólito de diabásio de cor variegada (avermelhada, pardacenta), apresentando a forma reliquiar dos minerais intemperizados. São comuns blocos arredondados com foliação esferoidal. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e secundariamente a esmectita (2:1).
- h) Saprólito de metapelitos (filitos, metassiltitos, metargilitos e metarritmitos), de cor avermelhada normalmente foliados. Argilo-mineral é a caulinita (1:1).
- i) Saprólito de gnaissé-migmatito e gnaissé granítico, de cor rosa, vermelho, castanho e amarelo. Apresenta as estruturas reliquiares da rocha original. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1).
- j) Saprólito de quartzito, às vezes friável, esbranquiçado, podendo apresentar concentrações de blocos e matações resistentes ao intemperismo.
- k) Solo de cor negra, por vezes marrom-escuro, com abundante matéria orgânica. Desenvolvido sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba e dos depósitos aluvionares.
- l) Sedimentos aluvionares, constituídos por argila de cor marrom a cinza-claro. O argilo-mineral é a caulinita (1:1), desenvolvida sobre depósitos de areia esbranquiçada, granulometria fina a grossa, com intercalações de cascalho.
- m) Argila de cor cinza-escuro a negro, com abundante matéria orgânica, passando para cores variegadas em profundidade, com níveis arenosos intercalados. Desenvolvido sobre depósitos de paleoterraços.

7.5.1 Descrição das Unidades de Terreno

▪ UNIDADE DE TERRENO - I

Planícies aluvionares, sedimento aluvionar holocênico (Quaternário), declividade de 0-5%.

O perfil típico compreende:

- Camada superficial orgânica, cor negro, hidromórfica, por vezes turfosa, permeabilidade média (10^{-4} cm/s), plástica, mole a muito mole, espessura de 1,0 a 2,0 metros.
- Argila de cor cinza-escuro, caulínica, plástica, muito mole a mole, permeabilidade baixa e com espessuras variando de 1,0 a 2,0 metros.

Estas argilas estão sobrepostas a um pavimento de areia fina a grossa com cascalhos e blocos de quartzo, fofa, por vezes compacta, porosa, permeabilidade média (10^{-3} a 10^{-4} cm/s), espessura variável de 1,0 a 3,0 metros. O nível freático varia de 0,2 a 1,0 metros nesta unidade.

Este pacote de sedimentos está depositado sobre saprólito de gnaiss-migmatito e/ou sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba (Figuras 3 a 6).



Figura 3 - Cava de areia onde se observa o perfil típico da UT-I. Parte superior: argila orgânica. Parte intermediária: areia (cor branca). Parte inferior: saprólito do gnaiss-migmatito (cor verde).



Figura 4 - Detalhe da figura anterior, mostrando a plasticidade da argila.



Figura 5 - Contato da argila com camada de areia.



Figura 6 - Contato da camada de areia com a rocha do embasamento (saprólito de gnaiss-migmatito).

▪ UNIDADE DE TERRENO - II

Constitui os terraços de sedimentos que estão topograficamente situados pouco acima dos aluviões (UT-I), mas fazem parte da planície aluvionar. Apresentam declividades predominantes de 0-5% e subordinadamente 10-20%, podendo chegar, em alguns casos, a maior que 20%. Sedimento aluvionar holocênico (Quaternário).

O perfil típico compreende:

- Camada superficial orgânica, hidromórfica de cor negra, plástica, mole a muito mole, permeabilidade média (10^{-3} a 10^{-4} cm/s) e espessura de 0,5 a 2,0 metros.
- Argila de cor cinza-claro às vezes escuro, caulínica, plástica, mole a muito mole, permeabilidade média e de espessura variável de 0,5 a 3,0 metros.
- A base destas argilas é formada por um pavimento de sedimentos rudáceos, variando de areia grossa a cascalhos e com espessuras de 0,5 a 1,0 metros.

Estes terraços estão depositados sobre o aprólito de gnaisses-migmatitos e/ou sobre sedimentos da Formação Guabirotuba (Figuras 7 e 8).



Figura 7 - Argila cinza-claro dos terraços com materiais para coleta de amostra indeformada.



Figura 8 - Exposição de argila cinza-clara dos terraços.

▪ UNIDADES DE TERRENO - III e IV

Os sedimentos da Formação Guabirota constituem colinas suaves com topos planos, declividade predominante de 0 a 5%, subordinadamente 10 a 20% e maior que 20% (Pleistoceno - Quaternário). Estas UTs são constituídas de solos residuais

(maduro e jovem), sedimentos argilosos e arenosos, com inclusões de solos transportados pouco espessos.

Os sedimentos argilosos e arenosos foram divididos em duas UTs, a saber: unidade constituída predominantemente pela argila, com raros níveis lenticulares de arcósio (UT-III), e unidade constituída por uma sequência rítmica de argila com níveis lenticulares de arcósio (UT-IV).

Os solos transportados não foram delimitados no mapa devido à sua espessura de um modo geral pequena, bem como à falta de continuidade lateral. Estes solos são facilmente identificados no campo pela existência de um nível de seixos de quartzo (*stone line*), que os separa da argila e arcósio sotopostos.

Os dados de espessura máximas dos sedimentos da Formação Guabirota ficam entre 30 e 60 metros.

O perfil típico compreende:

- Solo transportado (colúvio), argilo-arenoso, poroso, não laterítico ($V_b=1,75\text{g}/100\text{g}$), massa específica dos sólidos $2,8\text{ g}/\text{cm}^3$ e umidade ótima em torno de 29%. Limites de Liquidez $LL = 60$ e de Plasticidade $LP = 37\%$. Apresenta capacidade de troca de cátions menor que $10\text{ cmol}/\text{kg}$ para a argila e $5,5\text{ cmol}/\text{kg}$ para o solo, conforme ensaios de absorção do azul de metileno. A permeabilidade é baixa ($10^{-6}\text{ cm}/\text{s}$) e a erodibilidade é baixa em talude, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valor de E maiores que 1 ($E>1$). Normalmente o solo transportado (coluvial) encontra-se depositado sobre a argila (raramente se observa solo residual sob o solo transportado).
- Linha de seixos de quartzo de espessuras centimétricas a decimétricas (*stone line*), que separa o solo transportado do solo residual.
- Solo residual maduro de cor vermelha, apresenta comportamento laterítico e não laterítico, variável, embora sejam comuns níveis centimétricos de laterita. A estrutura é maciça e a textura argilosa, argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e em menor proporção illita e gibbsita (2:1). A espessura pode atingir até 5,0 m. A permeabilidade é baixa ($10^{-5} - 10^{-6}\text{ cm}/\text{s}$), resistência à penetração é baixa à média. Apresenta massa específica dos sólidos de 2,7 a $2,89\text{ g}/\text{cm}^3$ e umidade ótima entre 28 e 30%, LL de 50 a 70% e LP de 32 a 46%. A erodibilidade deste material em talude não é elevada, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1 ($E>1$).
- Solo residual jovem, não laterítico ($V_b < 1,5\text{ g}/100\text{g}$), de cor variegada, vermelha a violácea, contendo grãos de quartzo e feldspatos alterados, textura argilosa a muito argilosa, mostra média permeabilidade ($10^{-4} - 10^{-5}\text{ cm}/\text{s}$). Argilo-mineral é a esmectita (2:1) de alta atividade, expansiva e retrativa. Os cátions trocáveis são predominantemente bivalentes, Ca^{+2} e Mg^{+2} , o que limita expansão e força. São comuns empastilhamento e trincas de retração. A espessura pode chegar a 2,0 m.

- Argila de cor cinza-esverdeado, onde é comum a presença de grãos de quartzo e feldspato alterados, não laterítica ($V_b > 1,5$ g/100g), o argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1), de alta atividade (expansiva e retrativa), onde os cátions trocáveis são bivalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} o que limita a força e expansão. São comuns o empastilhamento e as trincas de retração. Por ter natureza higroscópica, quando a argila é reidratada (através da chuva) torna-se expansiva, o que lhe confere uma alta desagregabilidade e também em função de sua granulometria, uma alta transportabilidade. A espessura varia de 1,0 a mais de 10,0 m. O LL varia de 56 a 86% e o LP de 37 a 52%. Apresenta capacidade de troca de cátions variando de 50 a 70 cmol/kg para a argila e cerca 25 cmol/kg para o solo, conforme ensaios de adsorção do azul de metileno. A massa específica dos sólidos é de cerca de $2,75$ g/cm³ com umidade ótima em torno de 25 - 30%. No entanto, muitas vezes a argila tem umidade natural acima da umidade ótima. A erodibilidade em talude, cortes e em terraplenagem é muito elevada, conforme observado em campo e por meio de ensaios de permeabilidade que apresentam valores de E menores que 1 ($E < 1$). O nível d'água nesse perfil é em torno de 3,8 m. A escavabilidade desta unidade é de primeira categoria, e a resistência à penetração é crescente com a profundidade.
- Arcósios, que ocorrem de maneira dispersa e em diversos níveis de profundidade na UT-III, e em sequência rítmica com a argila na UT-IV. Esses arcósios são lenticulares e apresentam espessuras variando de alguns centímetros até mais de 5,0 metros (próximo ao trevo de Quatro Barras). Apresentam cor cinza em profundidade e variegados mais próximos da superfície. Textura média a argilosa, com porcentagens variáveis de finos, onde o cimento é argila esmectita (2:1). Os minerais da fração areia são constituídos de quartzo e feldspato, permeabilidade baixa (10^{-4} a 10^{-5} cm/s). Os ensaios de adsorção de azul de metileno indicam $V_b > 1,5$ g/100g um comportamento não laterítico a profundidade, em contrapartida dos que se encontram em superfície $V_b < 1,5$ g/100g. Os valores de $A_{cb} = 5,0$ g/100g e $SE = 122$ m²/g confirmam a alta atividade para a fração argilosa. A resistência à penetração é baixa à média. A erodibilidade desse material é também alta, mas em menor proporção quando comparada com a argila esmectita, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade, que apresenta valores de E menores que 1 ($E < 1$). O nível d'água nesse perfil é em torno de 3,8 metros. A escavabilidade desta UT é de primeira categoria e a resistência à penetração é crescente com a profundidade. A base desses sedimentos é constituída por depósitos de cascalhos e/ou níveis de quartzo com espessuras que podem atingir em alguns locais valores inferiores a 1 metro e até mais de 5,0 metros.

Nas fotografias das Figuras 9 a 21, a seguir, podem ser observadas exposições típicas das unidades descritas, algumas delas provenientes do acervo dos mapeamentos realizados desde 1994.



Figura 9 - Linha de seixos separando solo residual jovem ou saprolítico do solo transportado.



Figura 10 - Solo residual argiloso caulinítico (1:1) não erosivo, derivado da argila esmectita (2:1).



Figura 11 - Camada de arcósio com mais de 5 m de espessura, trevo de acesso a Quatro Barras.



Figura 12 - Contato da lente de arcósio com argila esmectita.



Figura 13 - Aquífero confinado na lente de arcósio.



Figura 14 - Empastilhamento da esmectita.



Figura 15 - Contato da Formação Guabirotuba com saprólito de gnaiss-migmatito. Notar camada métrica de cascalho no contato.



Figura 16 - Detalhe do contato ilustrado na Figura 14.



Figura 17 - Detalhe do cascalho, na base da Formação Guabirota.



Figura 18 - Contato erosivo da camada de argila esmectita recoberta por argila caulínica.



Figura 19 - Cascalheira da base dos sedimentos da Formação Guabirota com mais de 5 m de espessura, próximo ao pedágio da BR-277.



Figura 20 - Detalhe da cascalheira da Figura 19.



Figura 21 - Contato erosivo de arcócio com solo transportado.

▪ UNIDADES DE TERRENO - V e VI

Estas unidades são descritas em conjunto, pois ambas possuem uma camada de material inconsolidado em comum. Trata-se da camada de argila caulínica da Formação Guabirotuba, que recobre as argilas esmectitas da UT-V e também os saprólitos dos gnaisses-migmatitos da UT-VI. Constituem colinas suaves de topo plano, com declividades predominantes de 0-5% e de 5-10%, raramente maiores que 10% na UT-V. Verifica-se que a UT-VI também tem essas mesmas declividades predominantes mas, com mais frequência as declividades acima de 10%.

O perfil típico compreende:

- A espessura da camada varia de 2 a 5 m. Na parte superior desenvolve-se um nível com matéria orgânica de 1 a 1,5 metros. Apresenta cor rósea, formando também estratificação de cores negra, rósea e avermelhada. Argilo-mineral é a caulinita, textura argilosa a muito argilosa, com percentual de areia variando de 21 a 39% (areia quartzosa). De 11 amostras coletadas, 6 amostras apresentaram comportamento laterítico ($V_b < 1,5\text{g}/100\text{g}$). Permeabilidade média à elevada (10^{-2} cm/s a 10^{-4} cm/s), a umidade ótima varia de 26 a 31%, a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo mínima é de 3,24 MEQ/100g, e máxima de 8,55 MEQ/100g e o CTC da argila com valores de 5,75 MEQ/100g e 15,33 MEQ/100g, respectivamente, massa específica dos sólidos apresenta um resultado médio de $2,99\text{ g/cm}^3$. LL = 79,2% máximo e 41,5% mínimo, sendo a média 52,3%, LP= 46,4% máximo e mínimo 35,6%, sendo a média de 40,15%. A erodibilidade desse material em talude não é elevada, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1 ($E > 1$).
- Como citado no início, a diferença entre a UT-V e UT-VI é a base dessa camada, que pode ser de argila esmectita da Formação Guabirotuba (UT-V) ou o saprólito dos gnaisses-migmatitos (UT-VI). A escavabilidade dessa camada é de primeira categoria e a resistência à penetração (SPT) é crescente com a profundidade. Devido ao seu endurecimento, este material é denominado "torrão" pela equipe do projeto (Figuras 22 a 24).



Figura 22 - Camada de argila caulinitica com muitos grãos de quartzo, recobrendo sedimentos da Formação Guabirotuba. As diferentes cores são produto da evolução pedológica. Devido ao endurecimento, é denominado "torrão" pela equipe do projeto.



Figura 23 - Detalhe da foto anterior, mostrando contato de variação de cores marcado por uma fina camada de laterita.



Figura 24 - Argila caulínica. Observar a grande quantidade de grãos de quartzo dispersos, visíveis em ambas as fotos.

▪ UNIDADE DE TERRENO - Va

Esta unidade compreende um material inconsolidado que está sendo considerado como solo residual dos gnaisses-migmatitos. É um solo muito fofo, de pequena resistência à penetração no meio dos gnaisses-migmatitos. Estamos deduzindo que seja parte dos gnaisses-migmatitos milonitizados e altamente intemperizados. Geomorfologicamente formam "mar de morros" com declividade predominante de 10 a 20%, embora declividades superiores e inferiores ocorram secundariamente. O perfil típico compreende:

- Solo residual de cor rósea, argilo-mineral caulinita (1:1), de comportamento laterítico ($V_b < 1,5\text{g}/100\text{g}$), textura argilosa, permeabilidade alta à média (10^{-2} e 10^{-4} cm/s), erodível ($E < 1$), fofo.
- Saprólito de gnaiss-migmatito milonitizado e hidrotermalizado, de cor bege a castanho-claro, apresentando veios de cor verde e castanho-escuro de minerais alterados, provavelmente preenchendo antigas fraturas. Contém porções com até dezenas de metros de aspecto pulverulento, recebendo da equipe do projeto a denominação de argila "podre". A espessura é superior a 5 metros. Argilo-mineral é a caulinita (1:1), textura siltosa, porosidade alta, permeabilidade elevada à média (10^{-2} e 10^{-4} cm/s) e apresenta comportamento laterítico ($V_b < 1,5$ g/100g). A massa específica dos sólidos é de $2,66$ g/cm³. A erodibilidade é alta, conforme observado no campo e no teste de erodibilidade que apresentou $E < 1$. A escavabilidade desta unidade é de primeira categoria e a resistência à penetração é crescente com a profundidade (Figuras 25 a 27).



Figura 25 - Argila caulinitica muito fofo, que no projeto é denominada argila "podre", encontra-se entre os saprólitos dos gnaisses-migmatitos. Trata-se de rocha hidrotermalizada e intemperizada.



Figura 26 - Talude escavado em argila "podre" dos gnaiss-migmatitos.



Figura 27 - Detalhe da argila "podre" dos gnaiss-migmatitos.

▪ UNIDADE DE TERRENO - V

Os gnaiss-migmatitos apresentam geomorfologicamente topos alongados e aplainados com vertentes convexas, declividades predominantes de 10-20% e secundariamente declividades superiores.

A exemplo dos solos residuais da Formação Guabirota, esta unidade apresenta grande expressão na área mapeada. É constituída predominantemente de solos residuais (maduro, jovem e saprólito) e eventualmente com inclusões de solos transportados (colúvio), não individualizados em mapa devido à sua pequena espessura e à falta de continuidade lateral. O solo transportado é facilmente

diferenciado do solo residual, por que entre ambos existe um nível de cascalho que é a base do solo transportado.

O perfil típico compreende:

- Solo transportado, marcado na base pelos pavimentos centimétricos a métricos de seixos de quartzo, localizados normalmente a meia encosta e em vertentes inclinadas. Possui textura argilosa, de coloração castanha, média, porosa, com espessura variando de 0,5 a 3,0 metros. Na área mapeada encontra-se sobre o saprólito de gnaiss-migmatito.
- Solo residual maduro, textura argilosa a muito argilosa, por vezes argilo-siltosa, de cor marrom, castanho a avermelhado. Argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1). A espessura média é de 3,0 metros, permeabilidade baixa (10^{-4} cm/s), resistência à penetração baixa à média. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor médio de $V_b = 1,39\text{g}/100\text{g}$, indicando um comportamento laterítico. A erodibilidade desse material é baixa, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1 ($E > 1$).
- Saprólito de cor cinza-claro a escuro, variegado a vermelho, textura siltosa, média à argilosa, apresentando a estrutura original da rocha (bandeamento, mica, veios de quartzo, etc). O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1), a espessura é variável, desde alguns metros até mais de uma dezena de metros, permeabilidade média (10^{-4} cm/s), resistência à penetração média à alta. Os ensaios de adsorção de azul de metileno indicam um valor médio de $1,29\text{g}/100\text{g}$, prevendo-se um comportamento laterítico, os valores de a_{cb} variando de 2,2 a $36\text{g}/100\text{g}$ e a SE de 53,2 a $79,8\text{ m}^2/\text{g}$ indicam que a reatividade desta argila é alta à baixa. A massa específica seca máxima do próctor normal situa-se em torno de $1,5\text{g}/\text{cm}^3$, com umidade ótima em torno de 25,4%. A erodibilidade desse material em talude é média à alta, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valor médio de E menor que 1 ($E < 1$). Foi também mapeado um solo residual maduro, contendo matacões arredondados com diâmetro em torno de 1 metro (Figuras 28 a 30).



Figura 28 - Solo residual maduro dos gnaisses-migmatitos.



Figura 29 - Saprólito dos gnaisses-migmatitos.



Figura 30 - Saprólito dos gnaisses-migmatitos.

7.6 Carta de adequabilidade para loteamentos residenciais e industriais

7.6.1 Objetivos

Esta carta tem por objetivo subsidiar o planejamento e a gestão territorial, apresentando elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo, facultando ao gestor público o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território, bem como a sua implantação e monitoramento.

Para este fim, foram avaliadas oito UTs, levando-se em conta a litologia, material inconsolidado (perfil típico, espessura e gênese), geomorfologia, geotecnia (textura, Proctor normal, índices de campo, LL e LP, permeabilidade, CTC, argilo-mineral, declividade e erodibilidade).

Cada UT foi avaliada em função de três critérios: adequabilidade ao uso, suscetibilidade a acidentes naturais e potencialidade de recursos naturais.

Essas UTs foram avaliadas quanto à adequabilidade para:

- loteamentos residenciais e industriais;
- construção de estradas;
- disposição de resíduos;
- obras enterradas.

Quanto aos problemas de riscos naturais, geotécnicos e ambientais, foi avaliada a suscetibilidade para:

- erosão;
- deslizamentos de encostas;
- enchentes, inundações e alagamentos.

Quanto à potencialidade de recursos naturais, considera-se:

- recursos naturais relativos a materiais de construção (argila para cerâmica vermelha, areia e calcário - para diversos usos);
- recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Convém salientar que o objetivo deste estudo é prevenir, orientar e recomendar medidas de gestão territorial, considerando-se a escala de trabalho (1:20.000). Portanto, qualquer projeto de ocupação local na área em questão deverá necessariamente buscar informações mais específicas, em trabalho de detalhamento para complementação dos dados aqui apresentados.

7.6.2 Classificação e Avaliação das Unidades de Terreno

UNIDADE DE TERRENO - I

Classificação: planície aluvionar com declividade predominante < 5%, cuja camada superficial é uma argila muito rica em matéria orgânica, por vezes turfosa, hidromórfica, plástica, mole a muito mole, de baixa permeabilidade e com espessura

variando de 1,0 a 3,0 metros. Sotoposta a essa camada, ocorre argila de cor cinza-claro a escuro, mole a muito mole, plástica, de baixa permeabilidade e com espessura em torno de 2,0 metros. A base desse pacote de argilas é um pavimento formado por camadas lenticulares de areia e cascalhos fofos, por vezes compactos, porosos, de permeabilidade média à elevada e espessuras variando de 1,0 a 3,0 metros. No entanto, espessuras inferiores a 1,0 metro também são normais. A granulometria da areia vai desde areia fina a muito grossa, com seixos de quartzo. Normalmente essa areia quase não possui finos, mas ocorrem níveis em que a proporção de finos é grande, com maiores proporções de areia siltosa ou argilosa. A espessura média total dessa UT é 5,0 metros e o nível freático varia de 0,20 a 2,0 metros.

Avaliação: a UT-I foi subdividida nas seguintes áreas, em função dos critérios de adequabilidade, suscetibilidade e potencialidade:

- áreas de equilíbrio hidrológico;
- áreas de preservação permanente;
- áreas adequadas para construção de tanques;
- áreas com grande potencial hidrogeológico;
- áreas com potencial para extração de argila para cerâmica vermelha e areia;
- áreas inadequadas (não recomendadas) para loteamentos residenciais e industriais devido ao nível freático raso ou aflorante, assoreamento dos canais de drenagem, material com baixa capacidade de carga, com possibilidade de recalques em fundações, solo plástico colapsível, necessidade de aterros com drenagem eficiente nas fundações, além de sistemas de escoamento de águas pluviais e servidas;
- áreas inadequadas para infraestruturas enterradas, em função do nível freático raso de baixa declividade;
- áreas inadequadas para disposição de resíduos;
- áreas com suscetibilidade alta à média para inundações, enchentes e alagamentos;
- áreas com baixa suscetibilidade para erosão.

UNIDADE DE TERRENO - II

Classificação: terraços aluvionares com declividades predominantes de 0-5% e de 5-10% localizadas. Trata-se de um pacote de argila de cor cinza-claro a escuro, com espessura variando de 5 a 7 metros. A parte superficial desse pacote apresenta também um nível com muita matéria orgânica, por vezes turfosas, variando de 0,5 a 2,0 metros. Estas argilas são hidromórficas, moles a muito moles e de baixa permeabilidade. A base desse pacote de argilas é composta por eventuais níveis de cascalho. A profundidade do nível freático está em torno de 2,0 metros.

Avaliação: com base nos mesmos critérios, a UT-II foi subdividida da seguinte maneira:

- áreas com suscetibilidade média à alta para inundações e alagamentos;

- áreas com suscetibilidade baixa para erosão;
- áreas adequadas para construção de tanques;
- áreas inadequadas para disposição de resíduos;
- áreas com potencial para extração de argila para cerâmica vermelha;
- áreas inadequadas para infraestruturas enterradas, em função do nível freático raso e da declividade;
- inadequadas (não recomendadas) para loteamentos residenciais e industriais, devido ao nível freático raso ou subaflorante, solo com baixa capacidade de suporte, possibilidade de recalque em fundações, solo plástico colapsível, necessidade de aterro com sistemas de drenagem adequados nas fundações.

UNIDADES DE TERRENO - III e IV

Classificação: colinas suaves com topos aplainados e vertentes retilíneas com baixas inclinações na UT-III e vertentes convexas e acidentadas na UT-IV. A declividade predominante é de 0-10%, localmente de 10-20% e >20%. Trata-se de um pacote formado por argilas e lentes arcóianas, com espessuras variando de alguns metros até dezenas de metros, depositadas sobre uma superfície irregular de rocha alterada (saprólito) de gnaiss-migmatito. A diferença entre a UT-III e a UT-IV é a quantidade de níveis (camadas) de arcócio, que é maior na UT-IV.

Essas rochas inconsolidadas são recobertas por um solo residual maduro de cor vermelha, cujo argilo-mineral é a caulinita (1:1). É um solo de comportamento laterítico, argiloso com espessuras variando de 0,5 a 3,0 metros, sendo pedologicamente mais evoluído com o argilo-mineral em equilíbrio com o clima atual, não sendo expansivo, retrativo ou erosivo. Este solo tem comportamento distinto dos horizontes subjacentes, formados por argilas esmectitas (2:1), que são expansivas, retrativas e altamente erosivas e de comportamento não laterítico.

A alternância de níveis de arcócio é muito comum na UT-IV e rara na UT-III. Os níveis são lenticulares, apresentam espessuras centimétricas a métricas (chegando em alguns casos a 5,0 metros). São constituídos por areia quartzosa e feldspática, com menos de 25% de finos (esmectita 2:1).

A profundidade média do nível freático é de 3,8 metros. A resistência à penetração (SPT) é crescente com a profundidade, ocorrendo localmente índices mais elevados na passagem das lentes de arcócio. No entanto, não se verifica a impenetrabilidade do processo de trepanação. Todo o perfil típico apresenta escavabilidade de primeira categoria.

Avaliação: os terrenos com declividade de 0-5% foram subdivididos nas seguintes categorias:

- áreas com suscetibilidade baixa à média para erosão;
- áreas com suscetibilidade alta para alagamento em função da declividade, da baixa permeabilidade do solo e do lençol freático raso;

- áreas inadequadas para disposição de resíduos e obras enterradas em função do nível d'água, expansão da argila e declividade;
- áreas adequadas com restrições para loteamentos residenciais e industriais (indústrias que não gerem efluentes líquidos), vias de circulação principais e secundárias. No caso de implantação de grandes obras, a terraplenagem será baixa, com volumes reduzidos, predominando o corte sobre o aterro.

Em possíveis áreas com exposição do solo residual jovem ou da argila cinza-esverdeada, há necessidade de proteção vegetal e/ou com solos estáveis, para evitar erosão.

Os terrenos com declividade de 5-20% foram assim subdivididos:

- áreas com suscetibilidade média à alta para erosão, onde ela é crescente com o aumento da declividade, mesmo em pequenas áreas, tais como lotes residenciais. A erosão pode ser tanto laminar como linear (em sulcos). Evitar o decapamento com a retirada do solo superficial (transportado, residual), deixando as argilas expostas. Nesse caso, deve-se usar proteção vegetal e/ou material inerte;
- áreas com suscetibilidade alta para deslizamentos em cortes devido à expansividade da argila;
- áreas com solo inadequado para material de empréstimo, devido à expansividade, podendo sofrer liquefação, uma vez que a argila é também higroscópica, isto é, ela se reidrata com a presença de água e expande, perde consistência e flui como líquido viscoso, assim como pode ser facilmente transportada, formando grandes sulcos erosivos. No caso de implantação de grandes obras em que haja necessidade de terraplenagem, os volumes a serem trabalhados serão moderados, com compensação de cortes e aterros, havendo necessidade de projeto de estabilização dos cortes, taludes e do solo exposto;
- áreas de solo adequado com restrições para obras enterradas, sendo adequado quanto à escavabilidade de primeira categoria, e restrições em função da declividade, profundidade do lençol freático e pela expansividade do argilo-mineral;
- inadequado para disposição de resíduos em função do nível d'água;
- adequado com restrições para loteamentos residenciais e industriais, vias de circulação principais e secundárias, adequado quanto a fundações, e com restrições em função da declividade da pequena espessura do solo residual maduro, da alta erodibilidade do solo, da alta suscetibilidade a deslizamentos nos cortes, bem como da alta desagregabilidade da argila no caso de aterro (liquefação do solo). São necessárias obras para a contenção dos cortes para dissipar o escoamento das águas das chuvas e para a proteção da área decapada. Nesse caso, usar solo estável e/ou proteção vegetal. No caso de loteamentos, não decapar os lotes, deixar que seja feito pelo proprietário na época da construção. O arruamento deve ser revestido com material estável.

Os terrenos com declividade de 20-30% foram subdivididos em:

- áreas com suscetibilidade alta à erosão, devendo ser evitados os decapamentos extensivos com exposição da argila;
- áreas com suscetibilidade alta para deslizamentos rotacional e rastejo, em encostas naturais e cortes;
- áreas de solo adequado com restrições para obras enterradas, sendo adequado quanto à escavabilidade de primeira categoria e restrições devido à declividade, profundidade do lençol freático, alta suscetibilidade para movimentos gravitacionais de massa e expansividade do argilo-mineral (esmectita);
- áreas de solo adequado com severas restrições na implantação de loteamentos residenciais/industriais, vias de circulação principal e secundária em função da declividade, da pequena espessura do solo residual maduro, da alta suscetibilidade para erosão e a alta suscetibilidade a deslizamentos em cortes e encostas naturais. Há necessidade de projeto de contenção e estabilização de cortes e aterros.

UNIDADE DE TERRENO - V e VI

Classificação: esta camada de material inconsolidado recobre tanto as argilas da Formação Guabirotuba (UT-V) como os saprólitos dos gnaisses-migmatitos (UT-VI). Na UT-V, a base dessa camada de solo é formada por leito centimétrico de cascalho, que não foi identificado na UT-VI, recobrando os saprólitos dos gnaisses-migmatitos.

Colinas suaves com topos aplainados e vertentes retilíneas com baixas inclinações (UT-V), vertentes convexas e acidentadas (UT-VI). A declividade predominante é de 0-10%, localmente de 10-20% principalmente na UT-VI. Trata-se de uma camada argilosa de cor rósea, com espessura variável de 2,0 a 5,0 metros, cujo argilo-mineral é a caulinita (1:1). Possui comportamento laterítico e apresenta macroporos na porção superficial. Contém de 20 a 30% de grãos de quartzo de granulometria variada (mal selecionado) e contém um nível superficial métrico rico em matéria orgânica.

Avaliação: os terrenos com declividade de 0-5% foram assim subdivididos:

- áreas com suscetibilidade baixa para erosão, porém com necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- áreas com suscetibilidade alta para alagamentos em função da declividade, lençol freático raso e da permeabilidade do solo;
- áreas com potencialidade boa para material de empréstimo;
- áreas com baixa à média necessidade de terraplenagem com compensação entre aterros e cortes;

- áreas com solo inadequado para disposição de resíduo devido ao nível freático raso;
- áreas com solo adequado com restrições para obras enterradas, sendo a adequabilidade devida à escavabilidade de primeira categoria e à baixa declividade, enquanto as restrições são em função da profundidade do lençol freático, que é raso, e ao solo expansivo;
- áreas com solo adequado com restrições para loteamentos residenciais e industriais, em função do nível freático raso (portanto, há necessidade de coleta e tratamento de efluentes líquidos), para implantação de vias de circulação principais e secundárias.

Os terrenos com declividade de 5-20% foram subdivididos em:

- áreas com baixa suscetibilidade à erosão, porém com necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- áreas com moderados volumes a serem trabalhados em terraplenagem com compensação entre aterros e cortes;
- áreas de solo adequado para loteamentos residenciais e industriais, com facilidades na implantação de infraestruturas enterradas, mas com restrições devido à expansividade do solo e vias de circulação principais e secundárias;
- áreas com solo inadequado para disposição de resíduos em função da permeabilidade do solo (alta à média), da declividade (10-20%) e do nível freático.

Os terrenos com declividade de 20-30% tiveram esta subdivisão:

- áreas com suscetibilidade média à erosão, com necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- áreas adequadas à terraplenagem, com grandes volumes a serem trabalhados e com necessidade de projetos de contenção e estabilização de cortes e aterros, principalmente se os cortes atingirem a camada de argila esmectita;
- áreas de solo adequado com restrições para loteamentos residenciais e industriais, implantação de vias de circulação, instalações de infraestruturas enterradas em função do que foi exposto acima, da declividade e da expansividade do solo;
- áreas de solo inadequado para a disposição de resíduos sólidos.

UNIDADE DE TERRENO – VII

Classificação: solos residuais e/ou transportados sobre os gnaisses-migmatitos. Relevo em forma de mar de morros, com colinas arredondadas e vertentes convexas. Esta UT exhibe um perfil completo de intemperismo nos solos, desde a rocha sã, passando pelo saprólito (podendo ou não conter matacões), até o solo residual maduro. Recobrimo essa unidade, pode ou não existir solo transportado.

O saprólito que representa as maiores espessuras da UT (4,0 m a mais de 30 metros), possui textura média a siltosa, por vezes argilosa, sendo o argilo-mineral predominante a caulinita (1:1), permeabilidade média. Comportamento não laterítico, embora ocorram porções de comportamento laterítico.

O solo residual maduro apresenta textura argilosa, comportamento laterítico, argilo-mineral é a caulinita (1:1), e não erodível. As espessuras são variáveis de 1,0 a 3,0 metros. Quando ocorrem solos transportados, apresentam espessuras em torno de 1,0 a 3,0 metros, permeabilidade média e argilo-mineral caulinita (1:1).

A resistência à penetração no perfil como um todo aumenta com a profundidade, podendo chegar ao impenetrável a poucos metros. A profundidade média do nível freático é em torno de 6,0 metros.

Avaliação: os terrenos com declividade de 0-5% foram subdivididos em áreas com as seguintes características:

- suscetibilidade baixa à erosão;
- baixa a média necessidade de terraplenagem, com compensação entre cortes e aterros;
- suscetibilidade alta a alagamentos, principalmente na folha A, próximo aos aluviões e terraços, e fora dessa condição a suscetibilidade é média à baixa;
- inadequado para disposição de resíduos nas UTs próximas aos aluviões (nível freático raso), e fora dessa condição e adequado (regular a bom) nas outras UTs;
- adequada com restrições na implantação de loteamentos residenciais e industriais, devido ao lençol próximo aos aluviões e terraços, necessidade de coleta e tratamento de efluentes líquidos e, em função da declividade, o volume de corte deverá ser reduzido, no caso de implantação de grandes obras, a terraplenagem deverá ser baixa, com volumes reduzidos, predominando o corte sobre aterro;
- adequado com restrições para obras enterradas devido ao lençol freático raso e à declividade baixa.

Os terrenos com declividade de 5-20% foram subdivididos em áreas:

- suscetibilidade baixa para erosão;
- moderados volumes a serem trabalhados em terraplenagem, com compensação entre cortes e aterros, incluindo necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- suscetibilidade média para deslizamentos em cortes acima de 3,0 metros;
- solo adequado para loteamentos residenciais e industriais, vias de circulação, instalações de infraestruturas enterradas;
- adequabilidade razoável para disposição de resíduos em declividades menores que 10%;
- bom para material de empréstimo (perfil como um todo).

Os terrenos com declividade de 20-30% foram subdivididos da seguinte maneira:

- suscetibilidade baixa à média para erosão, necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- terraplenagem com grandes volumes a serem trabalhados, necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- suscetibilidade média de deslizamentos em cortes, com altura maior ou igual a 3,0 metros, principalmente onde o bandeamento metamórfico do saprólito é paralelo ou com certa inclinação em relação ao corte, havendo necessidade de estabilização do corte;
- adequado com restrições para loteamentos residenciais e industriais, implantação de vias de circulação e de implantação de infraestruturas enterradas, devido à declividade e ao acima exposto;
- inadequado para disposição de resíduos;
- considerar o que determina a legislação em áreas com declividades acima de 30%.

UNIDADE DE TERRENO – Va

Classificação: trata-se de um nível ou camada de solo que está sendo considerado como residual dos gnaisses-migmatitos cisalhados e hidrotermalizados.

O relevo apresenta-se em forma de mar de morros, com colinas arredondadas e vertentes convexas. É um solo róseo com veios de minerais alterados de cores verde e negro. O argilo-mineral é a caulinita (1:1), poroso, muito fofo e de comportamento laterítico, erosivo, permeabilidade alta à média (denominado informalmente pela equipe do projeto como *argila podre*). Trata-se de rocha gnáissico-migmatítica profundamente hidrotermalizada e intemperizada. A espessura em afloramento possui mais de 3,0 metros.

Avaliação: os terrenos com declividade de 0-5% foram assim subdivididos:

- suscetibilidade à erosão baixa à média, em função da declividade e do teste de erodibilidade;
- no caso de implantação de grandes obras, a terraplenagem será baixa, com reduzidos volumes, predominando o corte sobre aterro, havendo necessidade de proteção vegetal nos cortes;
- suscetibilidade média para escorregamento de solo nos cortes;
- terreno adequado com restrições para a implantação de loteamentos residenciais e industriais, para a implantação de vias de circulação principal e secundárias, bom para a implantação de obras enterradas, sendo a adequabilidade devida à declividade e à escavabilidade e às restrições devidas à erodibilidade e à baixa carga de peso desse solo;
- suscetibilidade alta para inundação em área próxima dos aluviões e terraços aluvionares.

Os terrenos com declividade de 5-20% foram subdivididos em áreas com as seguintes características:

- suscetibilidade alta à erosão em função da declividade e do teste de erodibilidade do solo;
- no caso de implantação de grandes obras em que haja necessidade de terraplenagem, os volumes a serem trabalhados serão moderados, com necessidade de compensação de corte e aterro e de projeto de estabilização de taludes;
- suscetibilidade média à alta a escorregamentos de solo nos cortes, havendo necessidade de estabilização de taludes;
- adequado com restrições para a implantação de loteamentos residenciais e industriais, para a implantação de vias de circulação principal e secundárias, implantação de obras enterradas, devido aos dados anteriormente citados e também da declividade;
- inadequado para disposição de resíduos em função da declividade, lençol freático raso e da alta permeabilidade do solo.

Os terrenos com declividade de 20-30% foram assim subdivididos, de acordo com os critérios de suscetibilidade, adequabilidade e potencialidade:

- suscetibilidade alta para erosão, com necessidade de proteção vegetal nos cortes e aterros devido à declividade e do teste de erodibilidade do solo;
- terraplenagem com grandes volumes a serem trabalhados, necessitando de projetos para a estabilização de taludes;
- suscetibilidade alta à média para deslizamentos em cortes e necessidade de estabilização dos talvegues;
- adequado com restrições para a implantação de loteamentos residenciais e industriais, implantação de infraestrutura enterrada, vias de circulação principal e secundária, sendo as restrições em função dos dados citados anteriormente e da declividade;
- inadequado para disposição de resíduos;
- considerar o que determina a legislação em áreas com declividade acima de 30%.

7.7 Carta geotécnica síntese de adequabilidade à ocupação frente aos desastres naturais

Esta carta é uma síntese de parte das avaliações feitas na carta de adequabilidade a loteamentos residenciais e industriais.

Os desastres naturais avaliados, cadastrados e cartografados nas folhas A e B são: movimentos gravitacionais de massa (rastejos, deslizamentos rotacionais e translacionais, quedas de blocos, fluxos de lama e detritos), erosão, inundações e alagamentos. Foram também consideradas as áreas de alta declividade (>30%) como restritivas à ocupação, conforme o que faculta a legislação em vigor.

A sua leitura é dirigida a técnicos com pouco conhecimento específico de geotecnia e visa, de forma bastante pragmática, instrumentar o fornecimento de diretrizes para novos parcelamentos do solo e para a implantação de obras de urbanização em áreas cuja urbanização ainda não é consolidada.

7.7.1 Movimento gravitacional de massa: conceitos

Movimento gravitacional de massa (MGM) é o deslocamento de um volume de rocha, solo, vegetação e/ou água ao longo de uma encosta natural ou talude escavado, por efeito da força da gravidade, devido à redução da coesão interna e à ruptura do limite de resistência ao cisalhamento. Este deslocamento pode ocorrer com proporções muito variadas de água e, em casos especiais, sem água nenhuma, como nas quedas e rolamentos de blocos.

Estes movimentos podem ocorrer principalmente com elevados volumes de precipitação pluviométrica, degelo sazonal ou associado à atividade vulcânica ou terremotos. Tanto chuvas intensas de curta duração quanto de longa duração (chuvas contínuas e acumuladas) fornecem condições propícias para a redução da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos gravitacionais de massa em ambientes tropicais úmidos.

Os movimentos gravitacionais de massa são classificados quanto à cinemática do movimento (velocidade e direção), do tipo do material (solo, rocha, detritos), a geometria (tamanho e forma das massas) CARSON e KIRKBY (1975), CROZIER (1986), SELBY (1993), FERNANDES e AMARAL (1996), *in* KOBAYAMA *et al.*, 2006.

O **rastejo** (*creep*), afeta grandes áreas do terreno e atua, tanto nos horizontes superficiais das encostas (solo superficial), quanto nos estratos mais profundos, deslocando e abrindo fendas no solo residual e na rocha. É um fenômeno bem lento (cm/ano) e a energia destrutiva, conseqüentemente, é menor que a dos demais tipos. Entretanto, podem ser facilmente identificados pela mudança na verticalidade das árvores, postes, muros, etc.

Movimentos translacionais são deslocamentos rápidos, com velocidades médias a altas (m/h a m/s), de curta duração e de elevado poder destrutivo, em função do material transportado encosta abaixo (rocha, solo, árvores, etc.), e com limites laterais e profundidades bem definidas. Por ser um fenômeno bastante comum em todo o mundo, a sociedade busca entender a dinâmica do fenômeno (modelagem) e mapear as áreas de risco, com o propósito de evitar grandes danos e prejuízos.

Movimentos rotacionais são deslocamentos lentos de volumes de solo, em torno de um eixo aproximadamente horizontal, formando superfícies côncavas a partir da escarpa superior, que afloram geralmente junto ao pé de um talude escavado. Eles se desenvolvem em solos espessos e homogêneos, mais comumente em encostas que tiveram o seu equilíbrio alterado por escavações ou por erosão natural.

Os **fluxos**, cujos produtos são denominados **corridas**, são movimentos rápidos (m/s), devido às características do material transportado que se comporta como

fluido altamente viscoso. Apesar de serem mais raros de ocorrer, produzem estragos maiores que os deslizamentos. O fluxo destrói tudo em seu caminho, ou seja, no local da formação (encosta), durante o caminho (cursos d'água e fundos de vales) e na área de deposição (planícies). Dependendo da viscosidade e do tipo de material, podem receber outros nomes como: fluxos de terra (*earth flows*), fluxos de lama (*mud flows*) e fluxos de detritos (*debris flows*). (SELBY,1993; AUGUSTO FILHO, 1994; MARCELINO,2003a) in KOBIYAMA et. AL, 2006.

Já as **quedas de blocos** ou **lascas de rocha** são movimentos rápidos, do tipo queda livre (vários m/s) que se desprendem de escarpas rochosas verticais ou subverticais, sendo potencializadas pelas variações térmicas (dilatação e contração da rocha), por discontinuidades (planos de fraqueza, tais como planos de acamamento e de fraturas), erosão ou ação das águas das chuvas que escavam as camadas de solo em volta dos blocos e matacões, liberando-os encosta abaixo. Neste fenômeno, a maior preocupação é com a trajetória dos blocos, ou seja, durante a queda e o rolamento.

Apesar dos danos causados pelos movimentos gravitacionais de massa, estes fenômenos são processos naturais e fazem parte da evolução da paisagem. Entretanto, o aumento da população nas áreas urbanas pode agravar esta situação devido à ocupação de áreas inadequadas. À medida que o homem se apropria de uma encosta, através dos desmatamentos, cortes e aterros, altera a sua estabilidade, aumentando a probabilidade de desencadear deslizamentos. Estatisticamente, vários especialistas da área chegaram à conclusão de que 20 a 50% dos deslizamentos estudados foram induzidos por cortes e aterros em encosta para a construção de casas e estradas. Outros fatores, tais como esgotos, fossas e tanques, entre outros, também podem contribuir para estes deslizamentos.

Os movimentos gravitacionais de massa vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nos últimos anos. A principal causa é a ocupação desordenada de áreas que apresentam elevada suscetibilidade a esses fenômenos.

7.7.2 Movimentos gravitacionais de massa na área mapeada

As áreas com suscetibilidade a deslizamentos rotacionais, translacionais, rastejo, quedas de blocos e fluxos de lama e detritos, delimitadas nos blocos soerguidos do Primeiro Planalto e da Serra do Mar, apresentados na carta em questão, basearam-se na metodologia usada nos trabalhos do convênio IBAMA/MINEROPAR (2005) e da MINEROPAR (2011).

O cruzamento de informações dos materiais inconsolidados, de aspectos geomorfológicos e da declividade, conforme usados nos trabalhos acima citados, possibilitou gerar um mapa de suscetibilidade aos MGM, tendo como indicador principal a declividade. As áreas com declividade de 0-20% (cor verde) representam a menor suscetibilidade, 20-45% (cor amarela) representam a média suscetibilidade e as com declividade acima de 45% (cor laranja) são áreas de alta suscetibilidade. No que se refere aos fluxos de lama e detritos, deve-se considerar os locais

possíveis de ocorrerem como de alta suscetibilidade. Isto quer dizer que todas as calhas dos rios e fundos de vales secos inseridos nos blocos soerguidos, independentemente deles cortarem as áreas de baixa, média ou alta suscetibilidade aos MGM como de alta suscetibilidade aos fluxos de detritos.

As fotografias a seguir (Figuras 31 a 34) mostram aspectos dos MGMs verificados na região litorânea em março de 2011 e as feições resultantes.



Figura 31 - Deslizamentos em segundo plano, e no primeiro plano área de deposição de detritos, na localidade de Floresta, divisa dos municípios de Morretes e Paranaguá. Exemplo do que pode acontecer no lado oriental da Serra do Mar.



Figura 32 - Planície de deposição de detritos, na localidade de Floresta, divisa dos municípios de Morretes e Paranaguá.



Figura 33 - Residência atingida pelos detritos provenientes da Serra do Mar na planície de deposição de sedimentos, em Floresta.



Figura 34 - Canal escavado pela corrida dos fluxos de detritos em direção à planície de deposição. Bacia do Rio Jacareí, Serra da Prata.

Nas áreas de ocorrência dos sedimentos da Formação Guabirota, os deslizamentos rotacionais e rastejos são os principais representantes dos MGM em encostas naturais, com declividade maior que 20% e desprovidas de cobertura vegetal. Estes movimentos de terra não se dão necessariamente devido à declividade, mas também pelas variações volumétricas da esmectita, que é expansiva.

A retirada da cobertura vegetal faz com que a argila esmectita perca água natural de sua estrutura e resseque, e devido ao poder de absorver água (higroscopia) se reidrata e se expande, nos períodos de chuva. Ciclos de ressecamento e umedecimento, isto é, de contração e expansão, geram empastilhamentos, bem como a formação de superfícies de ruptura, potencializando os movimentos gravitacionais de massa. Estes movimentos se dão também em cortes e aterros, desde que a argila esmectita fique exposta (exemplos das feições resultantes nas Figuras 35 a 38, a seguir).



Figura 35 - Deslizamento rotacional em declividade $>20\%$ nos sedimentos da Formação Guabirota.



Figura 36 - Deslizamento em aterro, por liquefação da esmectita.



Figura 37 - Rastejo em declividade $>20\%$ nos sedimentos da Formação Guabirota. Notar inclinação do pinheiro.



Figura 38. Deslizamento rotacional em terreno argiloso da Formação Guabirota.

7.7.3 Erosão

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provocam o destacamento e o transporte de materiais sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são a água da chuva, rios, geleiras, mar e vento. 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), DAGE (1990) *in* PEJON (1992).

A erosão é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em 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 (solo), pode se tornar mais rápida do que a 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 desequilíbrio pela sua 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 natural quanto a antrópica 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 da chuva ocorre sem concentrar-se em canais definidos. Quando ocorre a formação de filetes de água arrastando materiais, tem-se a erosão linear ou concentrada.

O fenômeno de erosão concentrada pode 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 às vezes o nível d'água. Estas erosões totalmente descontroladas denominadas boçorocas causam grandes danos em áreas rurais e urbanas. A erosão concentrada é a mais danosa para os diversos tipos de uso e ocupação de um território.

7.7.4 Erosão na área mapeada

Os ravinamentos observados na área de trabalho localizam-se sobre os sedimentos da Formação Guabirota e estão localizados em áreas com declividades acima de 5%. Como citado anteriormente, estes sedimentos são constituídos por argilas expansivas, cujo argilo-mineral é a esmectita (2:1), de propriedades higroscópicas e comportamento expansivo devido à retração e expansão, pela perda ou absorção de água.

O processo erosivo nestas áreas é agravado pela ação antrópica, com a retirada da camada de solo residual ou transportado, para a construção de estradas, implantação de loteamentos, terraplanagem e como de material de empréstimo, deixando a argila exposta. Nesses casos, a argila perde a umidade natural e se retrai, com a água da chuva se reidrata e expande, formando uma lama que é transportada facilmente tanto de forma laminar como em sulcos, através da concentração das águas da chuva. Este fenômeno se dá mesmo em pequenas áreas com baixo gradiente, tais como lotes residenciais, bastando apenas que a água escoe.

Desta maneira, inicia-se o processo de ravinamento, que pode alcançar grandes dimensões se não forem tomadas medidas mitigadoras. A evolução deste fenômeno causa grandes danos tanto em área rural como em áreas urbanas. Quanto maior for a declividade e a área exposta desta argila, mais extensos e profundos serão estes ravinamentos.

Merecem também atenção em relação a este fenômeno os saprólitos dos gnaisses-migmatitos, em áreas de exposição deste material e com declividade superior a 20% (exemplos das feições regionais nas Figuras 39 a 46).



Figura 39 - Ravinamento que se torna mais extenso e profundo conforme aumenta a declividade.



Figura 40 - Ravinamento em processo de expansão, em área cuja cobertura de solo foi removida.



Figura 41 - Ravinamento profundo em alta declividade, mesmo em área pequena.



Figura 42 - Ravinamento profundo, passando à dimensão de boçoroca, expõe a tubulação. Notar a cobertura de solo remanescente, no topo do terreno.



Figura 43 - Boçorocas formadas nos sedimentos da Formação Guabirota. Extensas áreas decapadas, na localidade de Alto Maracanã, município de Colombo.



Figura 44 - Boçoroca com profundidade de mais de 4 m, em localidade próxima ao Supermercado Carrefour, município de Pinhais.



Figura 45 - Grande área decapada para a implantação do loteamento Santa Rosa, expondo a esmectita e iniciando o processo de erosão, em Campina Grande do Sul.



Figura 46 - Detalhe da foto anterior (Figura 44). Notar o alto grau de assoreamento da drenagem em consequência da implantação do loteamento Santa Rosa, em Campina Grande do Sul.

7.7.5 Inundações e alagamentos

Alagamentos são acúmulos de água formados pela enxurradas (escoamento superficial), por efeito de chuvas intensas e em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas. Bueiros e redes coletoras de águas pluviais mal dimensionadas, ou obstruídas por desleixo dos moradores, não suportam o volume d'água e extravasam, alagando ruas adjacentes. Neste caso, não houve participação de

nenhum curso de água na geração do alagamento. O rio só irá receber, depois, os volumes escoados dos alagamentos (VALENTE, 2009).

Ocorrem os alagamentos em áreas distantes dos canais de rios, em terrenos com ocupação antrópica e baixo coeficiente de escoamento superficial, isto é, com fluxos de baixa velocidade (SOUZA, 2004). Segundo outra definição, alagamento é água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistema de drenagem deficiente (Defesa Civil de Angra dos Reis - Plano de Contingência).

Inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica fluvial, atingindo periodicamente as várzeas, também chamadas de planícies de inundação. Este processo constitui um problema quando afeta os terrenos ocupados junto às drenagens. Em termos de problemas associados a riscos naturais, são as inundações que oferecem as maiores dificuldades no seu controle e prevenção. Os problemas decorrentes das cheias são variados e, via de regra, derivados da utilização inadequada das áreas suscetíveis a inundações, em especial pela população de baixa renda.

A ocupação desordenada dos baixios, além de causar o desequilíbrio ambiental de uma região, traz consigo vários problemas de natureza socioeconômica, principalmente no setor de saúde pública e infraestrutura. As obras necessárias para promover a proteção das comunidades assentadas em aluviões (planícies aluvionais) são muito onerosas se comparadas aos baixos custos de ações para viabilizar o uso e ocupação destes solos. Podemos distinguir áreas de suscetibilidade a enchentes e inundações conforme os seguintes conceitos:

- **Inundação:** nível em que as águas atingem quando ultrapassam o canal normal do rio, alcançando os limites da planície de inundação (várzea ou aluvião). Esta, por sua vez, funciona como um regulador do equilíbrio hidrológico, absorvendo o excesso de água nas situações de cheias e também ao contrário, fornecendo água ao rio em épocas de secas.
- **Enchente:** nível que as águas atingem quando correm fora do canal do rio, além dos limites da planície de inundação, sendo causadas por fenômenos sazonais de alta pluviosidade ou pela interferência do homem no meio físico (construções de aterros, diques, loteamentos, etc).

7.7.6 Inundações e alagamentos na área mapeada

Como citado anteriormente, as inundações ocorrem nas planícies de inundação ou ainda conhecidas como planícies fluviais, várzea e aluviões. Só por este motivo estas áreas deveriam ser consideradas como áreas inadequadas à implantação de loteamentos residenciais e industriais. Somando-se às inundações, o material inconsolidado que constitui estas planícies apresentam um péssimo comportamento mecânico, são considerados problemáticos para a engenharia e também merecem, por esta razão, atenção especial no processo de uso e ocupação deste solo.

O material inconsolidado dessas planícies constituem-se de solos compressíveis, moles, com baixos valores de coesão e baixa capacidade de suporte de carga, o que inviabiliza tecnicamente obras de engenharia, tais como fundações, construções, aterros direto, obras enterradas e outros. Como a sua ocorrência está intimamente relacionada às áreas de inundações, a forma mais racional de encaminhar soluções no processo de planejamento urbano ou uso e ocupação do solo, é restringir ou evitar loteamentos e construções nestes locais, optando por usos voltados à preservação destas áreas, tais como construções de tanques, parques e outros.

As manchas de inundação apresentadas no mapa foram fornecidas pelo Instituto das Águas do Paraná e pela COMEC. O Instituto das Águas do Paraná forneceu as áreas com suscetibilidade para inundações com tempo de recorrência de 10-20-50 anos e a COMEC forneceu as curvas de 100 anos. Para maiores esclarecimentos, entrar em contato com esses órgãos.

As áreas de alagamento (cor marrom) indicadas nos mapas apresentam declividade menor que 5%, lençol freático raso e permeabilidade baixa. São áreas de grandes extensões e necessitam de planejamento quanto ao escoamento superficial (captação das águas, bueiros, diâmetros das manilhas que irão integrar a rede de captação das águas da chuva, coleta periódica da coleta de lixo, etc).

A figura 47 apresenta um flagrante publicado na imprensa de um alagamento registrado em 1999, como um testemunho da recorrência destes eventos nas áreas urbanas da Região Metropolitana de Curitiba.



O pesadelo que volta

CLASSIFICADO DE "típica pancada de verão", o temporal ocorrido no início da tarde de ontem provocou alagamentos em diversos bairros de Curitiba. Os mais atingidos foram Boqueirão, Alto Boqueirão, Bairro Novo, Xaxim e Pinheirinho; Na Vila Osternack, a inundação atingiu pelo menos 200 casas.

Figura 47 - Alagamento ocorrido em março de 1999.

7.7.7 Áreas com declividade maior do que 30%

São áreas restritivas ao uso e ocupação do solo conforme estas leis em vigor:

- Lei federal N° 6766/79 (Lei Lehmann), proíbe o parcelamento do solo em áreas com declividade maior que 30%, salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes.
- Lei federal N° 12.651/12 (Código Florestal), define como APP áreas com declividades superiores a 45° (equivalente a 100%), na linha de maior declive.
- Resolução CONAMA 303/2.002 - art. 3º, define como APP as áreas situadas em encostas ou parte destas, com declividade superior a 100% ou 45° na linha de maior declive.

Na carta em questão, são as áreas de cor negra. Nestas declividades há também a possibilidade de deslizamentos tanto em encostas naturais como em cortes, além da erosão.

7.7.8 Áreas com baixa suscetibilidade aos desastres naturais

São áreas adequadas para loteamentos residenciais e industriais, parcelamentos e assentamentos. A ocupação demanda apenas os cuidados usuais com relação aos estudos para fundações e leis ambientais. Na carta em questão são as áreas pintadas de azul.

8. REFERÊNCIAS

FELIPE, R. S. *et al.* **Mapeamento geológico-geotécnico na Região do Alto Iguaçu. Área 1.** Curitiba : MINEROPAR/COMEC, 1994. 2 v , A1. Convênio MINEROPAR/COMEC.

GEOAMBIENTE SENSORIAMENTO REMOTO S/C LTDA. **Suporte natural geologia, geotecnia e uso do solo da Bacia do Alto Iguaçu**, relatório final. Curitiba : Suderhsa, 2002. 149 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Mapeamento dos atributos do meio físico como subsidio a gestão de áreas protegidas:** área piloto do Parque Nacional Saint Hilaire/Lange - Litoral do Paraná. Curitiba : MINEROPAR, 2006. 2 v.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Florianópolis : Ed. Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima>. Acesso em: 16.09.2013.

OKA FIORI, C. Coord.. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná, escala base 1:250.000 modelos reduzidos 1:500.000.** Curitiba : MINEROPAR, 2007. 59 p. Convênio MINEROPAR/UFPR.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas COMEC A100, A103, A093 (Parcial) Área 3.** Curitiba : MINEROPAR/COMEC, 1997. 3 v , A3. Convênio COMEC/MINEROPAR.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000) estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.** 2 v. Tese (Doutorado em geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGRA DOS REIS. **Plano de contingência:** organização e participação da sociedade aumentando a capacidade de resposta. Disponível em:< http://www.defesacivil.angra.rj.gov.br/asp/plano_cont.asp>. Acesso em 19.09.2013.

SALAZAR JR., O. *et al.* **Plano diretor de mineração para a região metropolitana de Curitiba.** Curitiba : MINEROPAR/DNPM, 2004. 2 v. Conteúdo: v.1.Texto - v.2. Mapas. Convenio DNPM/MINEROPAR.

SALAZAR JR., O. *et al.* **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas COMEC A137, A138, A139 e A140 Área 2.** Curitiba: MINEROPAR, 1996. v. 1.. Convênio COMEC/MINEROPAR.

SALAZAR JR., O. *et al.* **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas Comec A060, A098, A099, A101,, A133 e A134. Área 4.** Curitiba: MINEROPAR : COMEC, 1999. 3 v. , A4. Convênio COMEC/MINEROPAR.

SOUZA, C. R. G. Risco e inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis : GEDN/UFSC, 2004. P. 231-247. CD-ROOM.

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.** 2. v. Dissertação (Mestrado em geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

VALENTE, O. F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. Revista Minha Cidade. Disponível em:< <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade>>. Acesso em: 16.09.2013.

LAUDOS GEOTÉCNICOS

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da R.M.C

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Teor Umid da Coleta (%)	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***		
																CTC		Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E				
																solo	argila												solo	argila
																MEQ / 100g	SE m ² /g	g/cm3	g/cm3	%	%	g/cm3		%						
RM 251 ZAF 716	699.200 E 7.165.000 N	35	57	8	Franco Arg-Siltoso	37,2	2,669	1,21	1,20	54,5	82,8	1,362	27,8	39,3	36,3	5,19	14,84	40,7	116,2	1,66	4,75	4,6	3,7	-0,9	5 x 10 ⁻⁴ 0,000532cm/s	0,51	52,66	0,39	1:1 caulinita	5YR 8/2 Salmão Claro
RM 251 A ZAF 717	699.200 E 7.165.000 N	23	51	26	Franco Siltoso	32,0	2,737	1,39	0,98	49,4	89,6	1,414	27,7	48,0	38,3	3,69	16,03	28,9	125,4	1,18	5,13	4,6	3,7	-0,9	1 x 10 ⁻⁵ 0,000018cm/s	0,36	50,79	0,28	1:1 caulinita	5YR 8/3 Róseo
RM 262 ZAF 718	700.560 E 7.164.613 N	23	54	23	Franco Siltoso	28,0	2,725	1,23	1,21	54,7	63,1	1,372	29,8	39,4	34,7	2,76	12,02	21,6	94,1	0,88	3,85	4,7	3,7	-1,0	1 x 10 ⁻³ 0,001100cm/s	0,29	9,49	1,22	1:1 caulinita	5YR 7/6 Vermelho Amarelo
RM 276 ZAF 719	696.680 E 7.161.685 N	32	44	24	Franco Argiloso	27,9	2,641	1,34	0,98	49,4	75,4	1,426	26,7	48,8	39,4	3,16	9,87	24,7	77,2	1,01	3,16	4,6	3,6	-1	7 x 10 ⁻⁴ 0,000715cm/s	0,21	35,21	0,24	1:1 caulinita	7,5YR 8/3 Pink
RM 281 ZAF 720	695.100 E 7.162.340 N	49	30	21	Argila	31,3	2,742	1,36	1,01	50,4	84,6	1,476	28,6	58,9	41,4	4,42	9,03	34,6	70,7	1,42	2,89	5,1	4,0	-1,1	3 x 10 ⁻³ 0,003925cm/s	0,17	1,97	3,63	1:1 caulinita	10YR 6/6 Marrom Amarelo

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
odmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartizosa

RM 251	7,8	%
RM 251 A	25,9	%
RM 262	22,8	%
RM 276	23,5	%
RM 281	18,2	%

K - Permeabilidade **1** - Elevada, Superior a 10⁻¹; **2** - Média 10⁻² a 10⁻³; **3** - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁴; **4** - Muito Baixa 10⁻⁴ a 10⁻⁵; **5** - Praticamente Impermeável > 10⁻⁶.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano

Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias

Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 28/02/2014

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***		
															CTC		SE m ² /g		Vb	Acb	em água		em KCL	A pH	S			P %	E
		MEQ / 100g solo	argila	solo		argila																							
		Ag %	Si %	Ar %		δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %	δdmx g/cm ³	wot %																	
RM 145 ZAF 175	697.534 E 7.179.101 N				Argila								53,2	37,3	5,46	9,75	42,7	76,3	1,75	3,12	4,7	3,7	-1,0	9 x 10 ⁻⁴ 0,000902cm/s	0,50	0,31	64,52	1:1 caulinita	10 YR 5 / 6 Marrom Amarel
RM 145 A ZAF 176	697.534 E 7.179.101 N	39	44	17	Fran. Arg Siltoso	2,796	1,10	1,53	60,5	53,1	1,434	29,8	46,0	35,6	5,17	13,26	40,5	103,8	1,65	4,24	4,8	3,9	-0,9	1 x 10 ⁻³ 0,001466cm/s	0,40	2,10	7,62	1:1 caulinita	5 YR 6 / 6 Marrom Avermel
RM 148 ZAF 177	679.909 E 7.178.104 N	16	57	27	Franco Siltoso	2,674	1,07	1,49	59,8	46,6	1,480	23,8	35,0	33,0	3,07	19,20	24,0	150,3	0,98	6,14	4,8	4,0	-0,8	3 x 10 ⁻⁴ 0,000356cm/s	0,60	58,48	0,41	1:1 caulinita	7,5 YR 8 / 2 Palha
RM 179 ZAF 178	696.587 E 7.175.116 N	57	11	32	Argila	2,707	1,23	1,20	54,5	58,9	1,288	31,7	48,6	36,2	5,40	9,47	42,2	74,1	1,73	3,03	5,8	4,5	-1,3	2 x 10 ⁻² 0,021333cm/s	0,62	0,06	413,34	1:1 caulinita	5 YR 5 / 6 Vermelho Amarel
RM 189 ZAF 179	692.607 E 7.176.176 N	50	24	26	Argila	2,693	1,17	1,30	56,6	59,9	1,382	28,5	52,7	38,9	4,95	9,90	38,7	77,5	1,58	3,17	4,3	3,4	-0,9	3 x 10 ⁻² 0,004038cm/s	0,13	0,57	9,13	1:1 caulinita	2,5 YR 5 / 4 Marrom Avermel
RM 189 A ZAF 180	692.607 E 7.176.176 N	30	39	31	Franco Argiloso	2,686	1,08	1,48	59,6	47,7	1,378	26,5	42,0	37,7	3,24	10,81	25,4	84,6	1,04	3,46	5,2	3,9	-1,3	7 x 10 ⁻⁴ 0,000729cm/s	0,27	0,22	49,09	1:1 caulinita	2,5 YR 6 / 6 Vermelho Claro

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
odmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartziza

RM 145	18,0	%
RM 145 A	16,0	%
RM 148	26,0	%
RM 179	31,0	%
RM 189	25,0	%
RM 189 A	22,0	%

K - Permeabilidade **1** - Elevada, Superior a 10⁻¹; **2** - Média 10⁻² a 10⁻³; **3** - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁴; **4** - Muito Baixa 10⁻⁴ a 10⁻⁵; **5** - Praticamente Impermeável > 10⁻⁵.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano

Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias

Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 09/08/2013

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***		
															CTC		Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E				
															MEQ / 100g	SE m ² /g												em solo	em argila
															g/cm ³	g/cm ³	eo	n %	Sr %	δ _{dmx} g/cm ³	wot %		g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³			g/cm ³	
RM 50 ZAF 169	696.779 E 7.186.284 N				Argila	2,857	1,31	1,19	54,3	78,6	1,442	28,8	79,2	46,2	8,55	14,50	66,9	113,5	2,74	4,64	5,1	3,7	-1,4	1 x 10 ⁻² 0,018802cm/s	0,95	2,64	14,40	1:1 caulinita	2,5 YR 4 / 8 Vermelho
RM 64 ZAF 170	697.490 E 7.184.571 N				Argilo Siltoso	2,809	1,14	1,46	59,3	51,3	1,390	29,4	55,0	46,2	6,19	14,73	48,4	115,3	1,98	4,71	4,9	3,9	-1	7 x 10 ⁻³ 0,007273cm/s	0,15	0,23	26,09	1:1 caulinita	2,5 YR 4 / 4 Marrom Avermel
RM 64 A ZAF 171	697.100 E 7.184.571 N				Fran. Arg Siltoso	2,939	0,95	2,09	67,6	74,5	1,176	31,5	57,9	49,3	9,90	26,05	77,5	203,9	3,17	8,33	4,9	3,9	-1,0	2 x 10 ⁻⁴ 0,000220cm/s	0,13	8,37	0,63	1:1 caulinita	5 YR 7 / 3 Pink
RM 131 ZAF 172	696.650 E 7.178.555 N				Franco	2,772	1,22	1,27	55,9	60,7	1,484	24,9	42,0	37,0	5,71	28,53	44,7	223,3	1,83	9,13	5,9	4,6	-1,3	5 x 10 ⁻⁵ 0,000055cm/s	0,33	40,02	0,33	1:1 caulinita	2,5 YR 6 / 8 Vermelho Claro
RM 132 ZAF 173	690.568 E 7.177.336 N				Argila	2,695	1,29	1,09	52,1	73,7	1,330	30,0	47,0	37,7	5,71	9,68	44,7	75,8	1,83	3,10	5,2	4,1	-1,1	1 x 10 ⁻² 0,012519cm/s	0,60	0,11	218,19	1:1 caulinita	10 YR 4 / 3 Marrom Amarel
RM 132 A ZAF 174	690.568 E 7.177.336 N				Argila	2,813	1,26	1,23	55,2	75,1	1,470	26,9	47,2	32,2	4,67	8,98	36,6	70,3	1,49	2,87	5,0	3,7	-1,3	5 x 10 ⁻³ 0,005926cm/s	0,36	4,46	3,23	1:1 caulinita	2,5 YR 6 / 6 Vermelho Claro

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
odmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartziza

RM 50	30,0	%
RM 64	12,0	%
RM 64 A	1,0	%
RM 131	26,0	%
RM 132	11,0	%
RM 132 A	21,0	%

K - Permeabilidade **1** - Elevada, Superior a 10⁻²; **2** - Média 10⁻² a 10⁻³; **3** - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁴; **4** - Muito Baixa 10⁻⁴ a 10⁻⁵; **5** - Praticamente Impermeável > 10⁻⁵.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano

Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias

Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 09/08/2013

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***		
															CTC		SE m ² /g		Vb	Acb	em água		em KCL	A pH	S			P %	E
		MEQ / 100g	solo	argila		solo	argila	δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %			δdmx g/cm ³	wot %													
		Ag %	Si %	Ar %		δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %	δdmx g/cm ³	wot %			solo	argila	solo	argila	Vb	Acb	em água		em KCL	A pH	cm/s			S	P %
RM 01 ZAF 163	696.520 E 7.191.787 N	46	11	43	Argila	2,674	1,29	1,07	51,7	59,2	1,530	23,6	42,7	34,1	4,98	10,83	39,0	84,8	1,59	3,46	5,0	4,2	-0,8	2 x 10 ⁻³ 0,002135cm/s	0,46	0,02	92,00	1:1 caulinita	7,5 YR 4 / 2 Marrom
RM 03 ZAF 164	698.611 E 7.191.330 N	62	19	19	Muito Argiloso	2,786	1,16	1,40	58,4	68,1	1,378	30,1	58,0	26,9	4,16	6,72	32,6	52,6	1,33	2,15	5,4	4,1	-1,3	1 x 10 ⁻³ 0,001098cm/s	0,04	0,83	1,93	1:1 caulinita	10 YR 6 / 6 Amarelo Amarron
RM 03 A ZAF 165	698.318 E 7.191.387 N	38	35	27	Franco Argiloso	2,972	1,14	1,62	61,8	62,8	1,366	31,7	39,1	37,1	3,45	9,08	27,0	71,1	1,10	2,91	4,9	3,9	-1,0	8 x 10 ⁻⁴ 0,000807cm/s	0,25	1,33	7,52	1:1 caulinita	10 YR 6 / 8 Amarelo Amarron
RM 05 ZAF 166	697.802 E 7.190.651 N	43	35	22	Argila	2,782	0,97	1,88	65,2	69,0	1,340	42,5	63,4	55,2	45,20	105,12	353,8	822,7	14,46	33,63	4,8	3,6	-1,2	4 x 10 ⁻⁴ 0,000489cm/s	0,42	4,15	4,05	1:1 caulinita	10 YR 6 / 6 Amarelo Amarron
RM 06 ZAF 167	696.068 E 7.190.328 N	79	15	6	Muito Argiloso	2,809	0,98	1,86	65,0	79,0	1,390	31,1	60,1	51,5	25,23	31,93	197,5	249,9	8,07	10,22	5,1	3,8	-1,3	1 x 10 ⁻⁶ 0,000001cm/s	0,70	20,18	1,39	1:1 caulinita	2,5 YR 6 / 6 Vermelho Claro
RM 27 ZAF 168	694.746 E 7.187.519 N	61	11	28	Muito Argiloso	2,747	1,17	1,35	57,4	67,8	1,270	32,0	41,5	35,6	3,51	5,75	27,5	45,0	1,12	1,84	5,3	4,6	-0,7	1 x 10 ⁻³ 0,001176cm/s	0,46	0,09	204,45	1:1 caulinita	7,5 YR 4 / 2 Marrom

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
odmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartzozoa

RM 01	30,0	%
RM 03	18,0	%
RM 03 A	9,0	%
RM 05	8,0	%
RM 06	4,0	%
RM 27	16,0	%

K - Permeabilidade **1** - Elevada, Superior a 10⁻¹; **2** - Média 10⁻² a 10⁻³; **3** - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁴; **4** - Muito Baixa 10⁻⁴ a 10⁻⁵; **5** - Praticamente Impermeável > 10⁻⁵.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano

Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias

Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 09/08/2013

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***			
															CTC		Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E					
		MEQ / 100g solo	SE m ² /g argila	em água		em KCL	A pH																							
		Ag %	Si %	Ar %		δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %	ødmx g/cm ³	wot %			MEQ / 100g solo	SE m ² /g argila	Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E					
RM 159 ZAF 036	700.300 E 7.176.500 N	28	42	30	Fran. Arg à Franco	2,661	1,13	1,36	57,6	55,8	1,354	29,8	N.A	N.A	5,66	20,23	44,3	158,3	1,81	6,47	4,3	3,5	-0,8	5 x 10 ⁻⁴ 0,000567cm/s	0,44	1,70	10,36	1:1 caulinita	2,5 YR 7 / 4 Róseo	
RM 162 ZAF 037	697.474 E 7.177.262 N	21	51	28	Franco Siltoso	2,704	1,15	1,34	57,3	50,7	1,394	28,5	N.A	N.A	2,34	11,12	18,3	87,1	0,75	3,56	5,1	3,9	-1,2	9 x 10 ⁻⁴ 0,000942cm/s	0,35	59,26	0,24	1:1 caulinita	10 YR 8 / 3 Palha	
RM 175 ZAF 038	697.100 E 7.176.280 N	18	50	32	Franco à Fran. Silt	2,764	1,31	1,11	52,5	51,6	1,432	25,7	N.A	N.A	8,45	46,95	66,1	367,5	2,70	15,02	5,1	3,8	-1,3	1 x 10 ⁻³ 0,001024cm/s	0,43	19,31	0,89	1:1 caulinita	10 YR 6 / 4 Marrom Amarel	

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
ødmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartizosa

RM 159	30,0	%
RM 162	28,0	%
RM 175	32,0	%

K - Permeabilidade 1 - Elevada, Superior a 10⁻¹, 2 - Média 10⁻² a 10⁻³, 3 - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁴, 4 - Muito Baixa 10⁻⁴ a 10⁻⁵, 5 - Praticamente Impermeável > 10⁻⁶.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano

Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias

Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 16/01/2013

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***		
															CTC		Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E				
		MEQ / 100g solo	SE m ² /g argila																										
		Ag %	Si %	Ar %		δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %	δdmx g/cm ³	wot %																	
RM 127 - A ZAE 952	695.126 E 7.177.086 N	60	14	26	Muito Argiloso	2,740	1,19	1,30	56,6	53,9	1,392	31,0	54,0	40,2	4,02	6,69	31,4	52,4	1,28	2,14	5,5	4,1	-1,4	4 x 10 ⁻³ 0,004592cm/s	0,20	0,11	72,73	1:1 caulinita	7,5 YR 6 / 6 Amarelo Averm
RM 127 - B ZAE 953	695.126 E 7.177.086 N	26	48	26	Fran. Arg Siltoso	2,666	1,51	0,76	43,3	54,5	1,438	27,8	38,0	34,9	2,67	10,27	20,9	80,4	0,85	3,29	5,5	4,1	-1,4	3 x 10 ⁻² 0,0337374cm/s	0,06	13,33	0,18	1:1 caulinita	10 YR 8 / 6 Amarelo
RM 155 ZAE 954	698.341 E 7.176.729 N	40	17	43	Franco Argiloso	2,736	1,41	0,95	48,6	75,5	1,536	21,3	54,2	34,6	4,00	9,99	31,3	78,2	1,28	3,20	5,2	4,0	-1,2	1 x 10 ⁻³ 0,001210cm/s	0,04	2,26	0,71	1:1 caulinita	10 YR 7 / 1 Cinza Claro
RM 218 ZAE 955	691.254 E 7.174.512 N	37	31	32	Franco Argiloso	2,823	1,23	1,29	56,4	74,2	1,478	26,4	49,9	43,1	5,67	15,33	44,4	120,0	1,81	4,90	5,3	4,1	-1,2	8 x 10 ⁻⁴ 0,000801cm/s	0,50	1,86	10,76	1:1 caulinita	10 YR 7 / 8 Amarelo
RM 222 - A ZAE 956	693.256 E 7.179.890 N	52	18	30	Argila	2,743	1,18	1,32	57,0	55,5	1,462	26,9	50,9	39,3	6,30	12,12	49,3	94,8	2,02	3,88	5,3	4,1	-1,2	6 x 10 ⁻³ 0,006370cm/s	5,90	0,50	472,1	1:1 caulinita	7,5 YR 5 / 4 Marrom
RM 222 - B ZAE 957	693.256 E 7.179.890 N	42	31	27	Argila	2,752	1,21	1,27	56,0	57,4	1,440	27,2	52,8	41,4	6,14	14,61	48,0	114,3	1,96	4,67	5,1	4,1	-1,0	7 x 10 ⁻³ 0,007944cm/s	0,70	0,83	33,74	1:1 caulinita	2,5 YR 5 / 8 Vermelho

Ag - argila
Si - silte
Ar - areia
δs - massa específica dos sólidos
δdc - massa específica seca de campo
eo - índice de vazios
n - porosidade
Sr - grau de saturação
δdmx - massa específica aparente seca
wot - massa específica aparente úmida

LL - limite de liquidez
LP - limite de plasticidade
CTC - capacidade de troca de cátions
SE - superfície específica
Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
S - índice de adsorção
P - perda por imersão
E - índice de erodibilidade

Percentual de Areia Quartizosa

RM 127 A =	23,0	%
RM 127 B =	25,0	%
RM 155 =	43,0	%
RM 218 =	31,0	%
RM 222 A =	28,0	%
RM 222 B =	27,0	%

K - Permeabilidade 1 - Elevada, Superior a 10⁻⁴, 2 - Média 10⁻⁴ a 10⁻⁵, 3 - Baixa 10⁻⁵ a 10⁻⁶, 4 - Muito Baixa 10⁻⁶ a 10⁻⁷, 5 - Praticamente Impermeável > 10⁻¹⁰.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano
Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias
Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 30/11/2012

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.

Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

SELAB - Serviço de Laboratório

Interessado : Mapeamento Geológico-Geotécnico da RMC

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	UTMs	Sedimento			Classe Textural *	Índice de campo					Proctor Normal		LL	LP	Absorção de Azul de Metileno				pH do solo			Permeabilidade cm/s K	Erodibilidade			Argilo Mineral **	Cor ***			
															CTC		Vb	Acb	em água	em KCL	A pH		S	P %	E					
		MEQ / 100g solo	SE m ² /g argila	em água		em KCL	A pH	S	P %	E																				
		Ag %	Si %	Ar %		δs g/cm ³	δdc g/cm ³	eo	n %	Sr %	δdmx g/cm ³	wot %			em água	em KCL	A pH	S	P %	E										
RM 17 ZAE 764	696.611 E 7.187.064 N	63	6	31	Muito Argiloso	2,702	1,31	1,06	51,5	78,7	1,482	27,8	65,5	46,4	5,14	8,15	40,2	63,8	1,64	2,61	5,2	4,2	-1	6x10 ⁻³ 0,006078cm/s	0,77	0,69	44,64	Caulinita	5 YR 5 / 6 Vermelho Amarelo	

Ag - argila
 Si - silte
 Ar - areia
 δs - massa específica dos sólidos
 δdc - massa específica seca de campo
 eo - índice de vazios
 n - porosidade
 Sr - grau de saturação
 δdmx - massa específica aparente seca
 wot - massa específica aparente úmida
 LL - limite de liquidez
 LP - limite de plasticidade
 CTC - capacidade de troca de cátions
 SE - superfície específica
 Vb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de solo
 Acb - quantidade de azul de metileno gasto em 100 g de argila
 S - índice de adsorção
 P - perda por imersão
 E - índice de erodibilidade

K - Permeabilidade 1 - Elevada, Superior a 10⁻¹, 2 - Média 10⁻² a 10⁻³, 3 - Baixa 10⁻³ a 10⁻⁵, 4 - Muito Baixa 10⁻⁵ a 10⁻⁷, 5 - Praticamente Impermeável > 10⁻¹⁰.

* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA
 ** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD
 *** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

Antônio Perdoná Alano
 Chefe do Selab CREA 8726-2 / SC CREA 250075743-9 Nac

Marcos Vitor Fabro Dias
 Geólogo CREA 8220-D / PR CREA 170171850-2 Nac

DATA: 16/08/2012

Obs: O presente laudo tem seu valor restrito somente a amostra em questão, respondendo o SELAB, apenas pela veracidade desta via.
 Rua Máximo João Kopp, 274, bloco 3/M, Santa Cândida - Curitiba - PR, CEP 82630 - 900 Fone: 3351 - 6900 / 3267-3472

