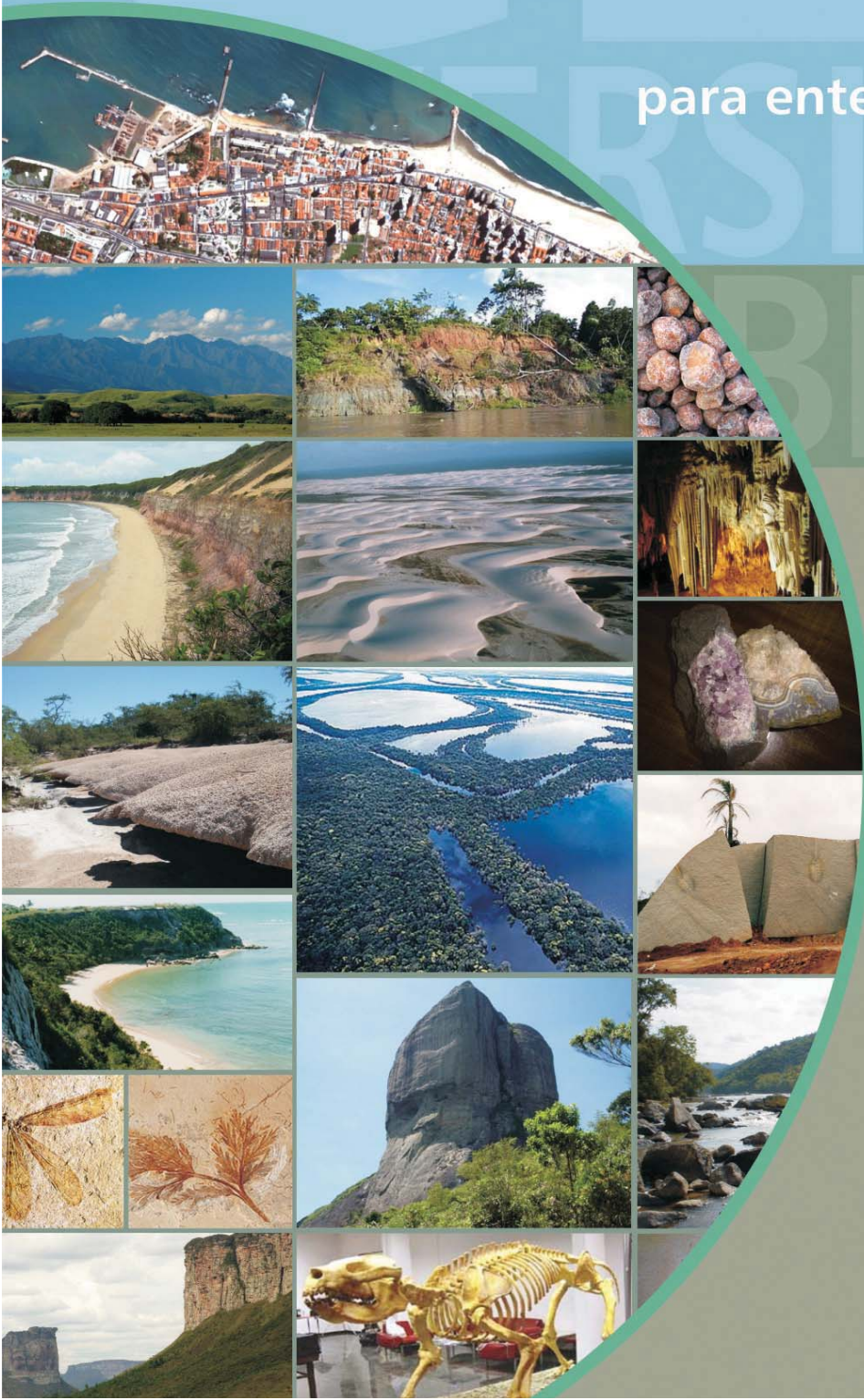


# GEODIVERSIDADE DO BRASIL

Conhecer o passado  
para entender o presente  
e prever o futuro

EDITOR  
Cassio Roberto da Silva



## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **MINISTRO DE ESTADO**

Edison Lobão

### **SECRETÁRIO EXECUTIVO**

Márcio Pereira Zimmermann

### **SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar

## **COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **Diretor-Presidente**

Agamenon Sergio Lucas Dantas

#### **Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

José Ribeiro Mendes

#### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Manoel Barretto da Rocha Neto

#### **Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Fernando Pereira de Carvalho

#### **Diretor de Administração e Finanças**

Eduardo Santa Helena da Silva

## **REVISORES**

Cassio Roberto da Silva

Marcelo Eduardo Dantas

Regina Célia Gimenez Armesto

Sabino Loguercio

Paulo César de Azevedo Branco

## **PROJETO GRÁFICO / EDITORAÇÃO**

**CPRM/SGB – DEPAT / DIEDIG**

Agmar Alves Lopes

Andréia Amado Continentino

José Luiz Coelho

Laura Maria Rigoni Dias

Pedro da Silva

Valter Alvarenga Barradas

Adriano Lopes Mendes (estagiário)

Juliana Colussi (estagiária)

## **REVISORA LINGÜÍSTICA**

Sueli Cardoso de Araújo

Silva, Cassio Roberto da.

Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro / editor: Cassio Roberto da Silva.

Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

264 p.: il.: 28 cm.

1.Geodiversidade – Brasil. 2.Meio ambiente – Brasil.

3.Planejamento territorial – Brasil. 4.Geologia ambiental – Brasil.

I.Título.

CDD 551.0981

# 14

## **GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES E LIMITAÇÕES AO USO E OCUPAÇÃO**

Antonio Theodorovicz (*theodoro@sp.cprm.gov.br*)  
Ângela Maria de Godoy Theodorovicz (*angela@sp.cprm.gov.br*)

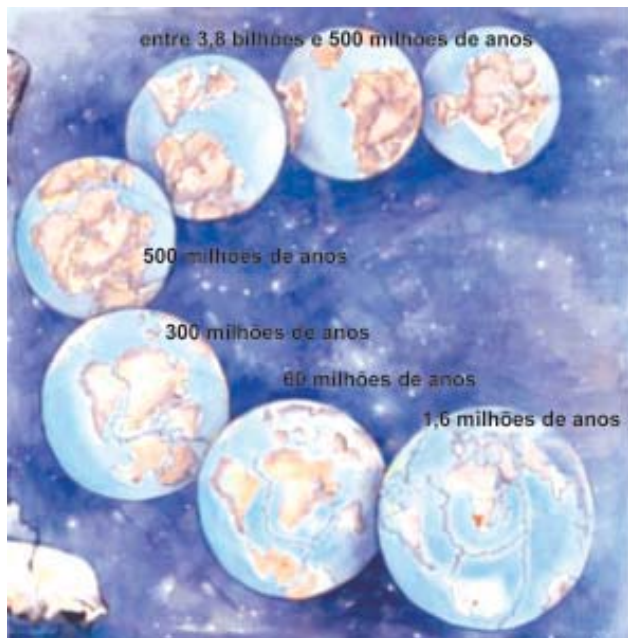
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

### SUMÁRIO

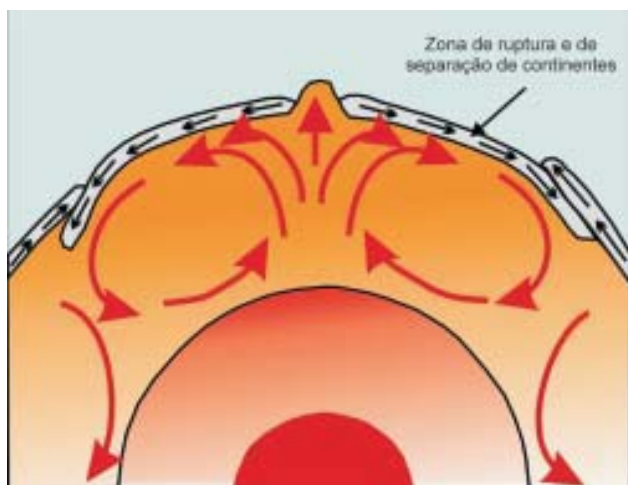
Coberturas Sedimentares Fanerozóicas Inconsolidadas ou Muito pouco Consolidadas (1) .....	207
Coberturas Sedimentares Fanerozóicas pouco a Moderadamente Consolidadas (2) .....	213
Coberturas Sedimentares ou Vulcanossedimentares Paleozóicas e Proterozóicas não-Dobradas (3) .....	218
Rochas Vulcânicas Extrusivas e Intrusivas Cenozóicas e Mesozóicas (4) .....	229
Coberturas Metassedimentares e Metavulcanossedimentares Proterozóicas, Diferentemente Tectonizadas, Dobradas e Metamorfizadas (5) .....	236
Rochas Graníticas (6) .....	251
Rochas Gnaiss-Migmatíticas (7) .....	258
Bibliografia .....	263



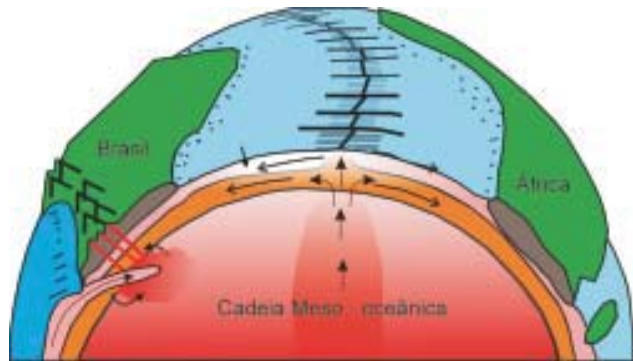
Em decorrência de sua grande extensão territorial e como reflexo de uma complexa e longa história geológica que, à luz da tectônica de placas (Figuras 14.1, 14.2 e 14.3), envolveu a superposição de vários eventos geotectônicos de fragmentação, separação, choques ou subdução de placas tectônicas e, por conseqüência, de massas continentais, o território brasileiro se destaca por apresentar uma das mais complexas e variadas geologia do mundo. Como tudo o que existe na superfície, de uma forma ou outra, é reflexo da geologia, há no Brasil terrenos com as mais variadas e contrastantes particularidades em ter-



**Figura 14.1** – Posição dos continentes nas diferentes eras geológicas da Terra, segundo a teoria da tectônica de placas.



**Figura 14.2** – Um processo de separação de continentes se inicia a partir da instalação de correntes de convecção, controlados pelo calor interno do globo, que empurram os blocos em sentidos opostos.



**Figura 14.3** – É o processo descrito na figura anterior que faz com que, hoje, os continentes sul-americano e africano estejam, a partir da cadeia meso-oceânica, separando-se um do outro.

mos de adequabilidades e limitações ao uso e ocupação. Ter conhecimento prévio de tais particularidades e levá-las em consideração nas decisões de planejamento e de gestão ambiental, tanto em nível regional como setorial, é de fundamental importância para se evitar graves problemas ambientais, muitos dos quais, se não irreversíveis, são de complexas e onerosas soluções.

É no sentido de contribuir com esse conhecimento que a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) vem executando diversos estudos em várias regiões do Brasil. Dentre eles, destacam-se os zoneamentos geoambientais executados pela Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP), com a finalidade de subsidiar o planejamento e a gestão ambiental de sua área de jurisdição – os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul. Por meio desses zoneamentos, concluiu-se que, de uma ou outra forma, as adequabilidades e limitações que um local ou uma região apresentam frente ao uso e ocupação são reflexos diretos das variações da geologia. Também se chegou à conclusão de que a cada particularidade geológica se relacionam diversas outras características importantes de serem consideradas nas decisões de planejamento que lhes são inerentes, passíveis de serem assumidas como factuais e de serem estendidas a qualquer região onde houver recorrência dessa particularidade. Por exemplo, as diferentes regiões do Brasil que têm em comum o fato de serem sustentadas por uma rocha que apresenta o quartzo como mineral essencial em sua composição, também têm em comum o fato de serem sustentadas por rochas de baixa resistência ao cisalhamento, de alta resistência ao intemperismo químico e que se alteram para solos arenosos liberando poucos nutrientes. Em conseqüência, são terrenos com grande possibilidade de ocorrência de rochas duras, geralmente bastante fraturadas, percolativas e das quais se soltam blocos com facilidade em taludes de corte; de alta abrasividade; problemáticas de serem perfuradas com sondas rotativas; os solos aí identificados, residuais, são bastante permeáveis, naturalmente erosivos, ácidos, de baixa

A **tectônica de placas** é um grupo de conceitos que procura explicar as complexidades geológicas da Terra como sendo resultantes de movimentos de placas tectônicas que se afastam ou se aproximam uma das outras. Tais conceitos se originaram da hipótese da deriva continental, formulada por Alfred Wegener (1912), a qual postula que os atuais continentes, que hoje se encontram separados uns dos outros por mares e oceanos, há cerca de 200 milhões de anos estiveram unidos em uma única massa continental denominada Pangéia. De acordo com tal teoria, o Pangéia também se teria formado pela colagem de vários continentes muito antigos, que, nas diferentes eras geológicas, eram em número bem diferente dos atuais continentes, ocupavam outras posições da Terra e, ao longo de sua história evolutiva, passaram por vários episódios de fragmentação, separação e colagem tectônica. De acordo com a teoria da tectônica de placas, os continentes se fragmentam e se deslocam, afastando-se ou se aproximando uns dos outros, devido a um esforço gerado pelas correntes de convecção (Figura 14.2), um movimento que se forma perto da base da litosfera pelo deslocamento de materiais quentes provenientes das partes mais profundas da Terra. Ao alcançarem as partes mais superficiais, esses materiais entram em atrito com a litosfera rígida, perdem calor, deslocam-se lateralmente e descem, gerando um contínuo movimento circulatório. É o mesmo processo que se observa quando se esquentam a água – a água mais quente sobe e a mais fria desce. É esse processo que faz com que atualmente os continentes sul-americano e africano estejam, a partir da cadeia mesoocênica, separando-se a alguns centímetros por ano (Figura 14.3). A cada um desses eventos e nos diferentes momentos de sua evolução, lagos, mares e oceanos se formam ou se extinguem, transformando-se em montanhas e vice-versa; diversos tipos de rochas se formam e rochas preexistentes se metamorfizam em outras rochas bem diferentes do que eram originalmente. O território brasileiro, que hoje se encontra em relativa calma, já foi palco de vários episódios de intensa atividade tectônica; isso se reflete na existência de uma diversidade enorme de terrenos com as mais contrastantes adequabilidades e limitações ao uso e ocupação.

fertilidade natural; de baixa capacidade hídrica, de baixa capacidade de reter nutrientes e eliminar poluentes, assim por diante. Utilizando-se dessa lógica, diversas outras deduções com objetivos diferentes podem ser levadas a efeito.

Tal lógica é válida tanto para as variações locais da geologia e no caso de um terreno ser sustentado por um

único tipo de rocha, como para as variações regionais que diferenciam os grandes geossistemas (Figura 14.4), os quais, na maioria das vezes, são sustentados por uma complexa associação de rochas das mais variadas e contrastantes características físico-químico-texturais.

Partindo-se dessa premissa e considerando-se uma série de particularidades com expressão areal suficientemente grande para influenciar as características geoambientais de uma região, a geologia do Brasil foi diferenciada, ou agrupada, em sete grandes geossistemas.

Neste capítulo, são apresentadas as particularidades geológicas distintivas de cada um dos geossistemas (domínios) e o que elas significam em termos de adequabilidades e limitações frente à execução de obras, à agricultura, aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras, aos potenciais turístico e mineral.

### **COBERTURAS SEDIMENTARES FANEROZÓICAS INCONSOLIDADAS OU MUITO POUCO CONSOLIDADAS (1)**

Tais coberturas sustentam grande parte do território brasileiro (Figura 14.4). Correspondem aos terrenos geologicamente mais novos e, diferentemente dos outros geossistemas a seguir descritos, nos quais as rochas e o relevo se encontram em processo de erosão, são terrenos que se encontram em processo de construção, uma vez que correspondem a áreas baixas nas quais estão se



**Figura 14.4** – Área de definição do geossistema 1.

depositando os detritos erodidos nos terrenos altos circunvizinhos e que para elas são transportados por rios, enxurradas, ventos e, na faixa costeira, pela ação do mar. Encaixam-se nessa situação as áreas planas que margeiam os rios, popularmente conhecidas como várzeas (Figura 14.5); as planícies que existem ao longo da região costeira; as grandes áreas pantanosas, a exemplo do Pantanal mato-grossense, da Ilha do Bananal e as imensas áreas planas e alagadiças que existem na Amazônia, dentre outras.

## Adequabilidades e limitações

### Frente à execução de obras

Nas decisões de planejamento que envolvem a execução de obras, é importante que se considere que a geologia influencia de forma mais negativa que positiva nas características geotécnicas desse geossistema, pelas seguintes razões:

- O substrato é formado por um empilhamento irregular de camadas horizontalizadas das mais diversas espessuras de areia, silte, argila e cascalho. A espessura do pacote sedimentar varia de poucos metros nas pequenas várzeas até muitas centenas de metros nas grandes áreas pantanosas e nas imensas áreas planas e alagadiças da região amazônica. Trata-se, portanto, de um empilhamento de materiais de características granulométricas, mineralógicas, geomecânicas e hidráulicas bastante contrastantes e que mudam bruscamente de uma camada para outra. Significa que as características geotécnicas variam bastante na vertical e as mudanças abruptas de uma litologia para outra se constituem em descontinuidades geomecânicas que facilitam os processos erosivos e as destabilizações em paredes escavadas (Figura 14.6).

- Os sedimentos se encontram pouco consolidados e trata-se de uma configuração morfológica favorável a que, em muitos locais, os sedimentos e os solos se encontrem saturados em água e sejam ricos em matéria orgânica – solos hidromórficos. Tais materiais apresentam muito baixa capacidade de suporte e são colapsíveis. Significa que se uma obra for edificada sobre eles – prática ambientalmente incorreta –, estará sujeita a abatimentos e trincamentos freqüentes, como também aos efeitos negativos da umidade dos solos, que se mantém bastante alta na maior parte do ano (Figura 14.7).

- Os cursos d'água, ao chegarem à área de definição desse geossistema, sofrem uma quebra brusca de energia



Figura 14.5 – Várzeas associadas ao rio Ribeira de Iguape (Vale do Ribeira, SP).



Figura 14.6 – Erosão diferencial nos sedimentos da Bacia do Pantanal (MS). A porção inferior erosiva é uma camada de areia fina; a camada superior é uma areia grossa um tanto laterizada.

e passam a depositar mais do que a escavar. Conseqüentemente, encontram-se em franco e acelerado processo de assoreamento, o que exige cuidados especiais, para que neles não se aumente o aporte de sedimentos.

- Trata-se de uma configuração geomorfológica favorável a que o lençol freático aflore em vários locais ou esteja situado a baixas profundidades na maior parte da área de definição do geossistema. Tal característica torna esses terrenos extremamente problemáticos para a execução de obras subterrâneas que envolvem escavações, pois estão sujeitos a rápido alagamento, acarretando que as obras fiquem imersas ou situadas em solos excessivamente úmidos e corrosivos (Figura 14.8).





**Figura 14.7** – Área de várzea sendo aterrada para ser urbanizada (região metropolitana de Curitiba).



**Figura 14.8** – Exemplo de execução de obras em local de baixa profundidade do lençol freático.

- Obras viárias têm de ser executadas sobre altos aterros, o que ambientalmente é incorreto (Figura 14.9), além de serem muito onerosas, pois se terá de buscar material de empréstimo para os aterros a longas distâncias. Ademais, a construção de aterros interfere negativamente no escoamento superficial, que naturalmente é bastante deficiente.

- Dentre os sedimentos, é comum a existência de camadas de argilas moles, excessivamente plásticas e saturadas em água. Tais camadas, caso sejam descompressionadas pela execução de escavações, podem desencadear o fenômeno conhecido como “corrida de lama”, ou seja, esse material mole pode migrar para as escavações, gerando condições propícias a que ocorram colapsos nas imediações das escavações.

- É comum a existência, dentre os sedimentos, de camadas de argilas ou excessivamente plásticas e pegajosas, ou rijas e duras,

ou então de cerosidade elevada. Também é comum a ocorrência de cascalhos formados por uma mistura desorganizada de seixos, blocos e matações de rochas duras, abrasivas e de características geotécnicas diferenciadas. Tais camadas dificultam a escavação e a perfuração com sondas rotativas, além de apresentarem características geotécnicas bastante heterogêneas.

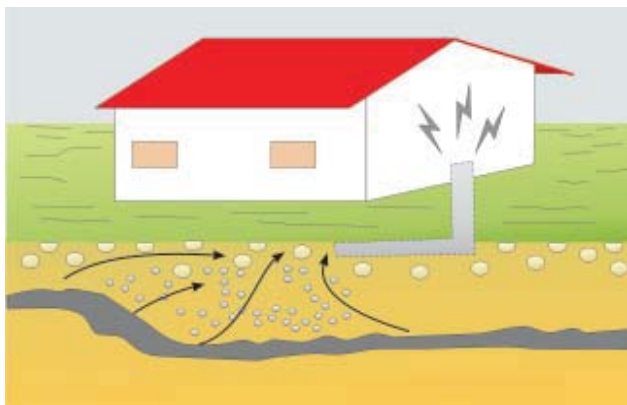
- É possível a existência de camadas à base de matéria orgânica que podem liberar gás metano, o qual é prejudicial à saúde, altamente inflamável, de alta mobilidade e que pode entrar em combustão espontânea. Esse gás pode se infiltrar pela tubulação das obras, gerando situações propícias a que ocorram incêndios e até violentas explosões (Figura 14.10).

- Como a matéria orgânica libera ácidos bastante corrosivos, nas regiões de clima chuvoso essa liberação, aliada à baixa profundidade do lençol freático, faz com que materiais enterrados nesse geossistema se danifiquem rapidamente, o que exige cuidados especiais com a qualidade dos materiais utilizados nas obras enterradas, principalmente se forem destinadas à circulação e ao armazenamento de substâncias poluentes, como oleodutos, tanques de combustíveis etc. Se ocorrer um vazamento, o risco de os poluentes entrarem em contato direto com o lençol freático é grande (Figura 14.11).

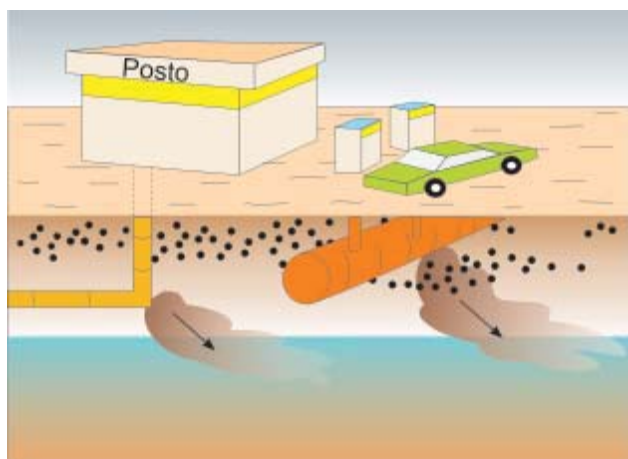
- São terrenos desprovidos de rochas duras para serem utilizadas como agregados. Tal característica encarece a execução de obras onde tais sedimentos sustentam extensas superfícies – a exemplo do Pantanal mato-grossense e das áreas alagadiças da região amazônica –, pois os agregados são transportados de longas distâncias.



**Figura 14.9** – A construção de uma obra viária sobre a área de definição desse geossistema reduz ainda mais o precário escoamento superficial; os aterros podem funcionar como barreiras que propiciam a formação de enchentes de longa duração, não pelo extravasamento dos rios, mas pelo represamento das águas das chuvas. Tais obras devem ser dotadas de dutos que possibilitem o escoamento da água das chuvas sobre a área de definição do geossistema 1 (município de Pariquera-Açu, SP).



**Figura 14.10** – Exemplo de infiltração de gás em tubulação de obra construída sobre uma camada rica em matéria orgânica.



**Figura 14.11** – Vazamento de poluente em áreas onde o lençol freático é pouco profundo.

- As características geomorfológicas são favoráveis a que se formem empoçamentos de água (Figura 14.12) e a que os rios formem enchentes freqüentes de longo tempo de duração e grande área de abrangência (Figura 14.13).

### Frente à agricultura

Nesse caso, a influência da geologia é tanto positiva como negativa, pelas seguintes razões:

- Há grandes parcelas com drenabilidade superficial e subsuperficial deficiente; ou sujeitas a empoçamentos de água de longo tempo de permanência; ou com lençol freático aflorante ou situado próximo à superfície; ou recobertas por solos saturados em água; ou sujeitas a enchentes (Figura 14.14).

- Tais áreas são inadequadas ao plantio de espécies de raízes profundas (estas podem apodrecer) e para culturas que necessitam da aplicação de agrotóxicos – o risco de os agrotóxicos entrarem em contato direto com o lençol freático, contaminando-o, é alto (Figura 14.15).

- Em muitos locais, para melhorar a drenabilidade do solo, é necessário abrir profundas valas, o que não é ambientalmente correto. Tal prática interfere negativamente na dinâmica das águas superficiais e subterrâneas. As áreas úmidas e os banhados que existem em grande quantidade na área de definição do geossistema 1 são importantes para manter a regularidade da vazão dos cursos d'água, da umidade do ar e para recarregar as águas subterrâneas. Por isso, não devem ser secadas.

- Trata-se de um ambiente favorável a que a umidade dos solos se mantenha alta na maior parte do ano, favorecendo a proliferação de vários tipos de insetos, fungos e bactérias. Portanto, não é adequado a culturas suscetíveis a pragas, a exemplo de diversas hortaliças.

- As características geomorfológicas são favoráveis à existência de manchas de solos salinos, de péssimas características químicas para a agricultura, a exemplo de muitos locais do Pantanal mato-grossense.

- As características do relevo e de drenagem são mais favoráveis à concentração do que à dispersão de poluentes terrestres e atmosféricos. Significa que são terrenos onde



**Figura 14.12** – Planícies aluviais do rio Barigui (região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.13** – Pantanal mato-grossense, em época de cheia do rio Paraguai (MS).





**Figura 14.14** – Área com lençol freático aflorante ou situado próximo à superfície.



**Figura 14.16** – Geada em uma planície aluvial da região metropolitana de Curitiba (PR).



**Figura 14.15** – Plantio de banana, cultura na qual se aplicam, freqüentemente, grandes quantidades dos mais diferentes e fortes agrotóxicos (região do Vale do Ribeira, SP).

os poluentes agrícolas necessitam de um maior tempo para se dispersarem e se depurarem.

- Em muitos locais, os solos podem conter excesso de matéria orgânica. Tais solos são excessivamente ácidos e, por isso, necessitam ser freqüentemente corrigidos com a aplicação de grandes quantidades de calcário dolomítico. Esse aspecto pode inviabilizar a prática agrícola nas regiões onde não há disponibilidade desse corretivo a uma distância que seja economicamente viável de ser transportado.

- As características geomorfológicas são favoráveis a que, nas regiões de clima temperado, a temperatura se eleve bastante no verão e diminua muito no inverno, possibilitando a formação de geadas, a exemplo do que acontece nas várzeas existentes nas áreas montanhosas da região Sul e em boa parte da região Sudeste (Figura 14.16).

- Como particularidades positivas, salienta-se que, em meio às áreas pantanosas e alagadiças, há manchas de

terras mais sobrelevadas (terraços) que o nível atual das enchentes. Tais parcelas podem ser bem aproveitadas para o plantio, uma vez que o potencial erosivo é praticamente nulo, podem ser facilmente mecanizadas com equipamentos motorizados e geralmente são recobertas por solos ricos em matéria orgânica. Esses solos, além de apresentarem boa fertilidade natural, são bastante porosos e apresentam alta capacidade de reter e fixar nutrientes, ou seja, respondem bem à adubação.

As particularidades retrodestacadas permitem concluir que o aproveitamento agrícola desse geossistema deve ser muito bem planejado, devendo-se priorizar o plantio orgânico.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

As características geológicas tornam a área de definição desse geossistema um ambiente de grande importância hídrica e muito vulnerável frente a qualquer fonte com potencial poluidor.

- As características morfolitoestruturais são favoráveis a que águas das chuvas sejam retidas nesse geossistema por longo tempo. Como a maior parte de sua superfície é recoberta por solos bastante permeáveis e de alta capacidade de armazenar água, são terrenos importantes para a recarga das águas subterrâneas.

- Por serem terrenos topograficamente rebaixados, as águas das chuvas que se infiltram nas áreas altas circunvizinhas neles se minam, recarregando os rios que, por sua vez, recarregam as águas subterrâneas. São, portanto, ao mesmo tempo, áreas de recarga e de descarga das águas subterrâneas (Figuras 14.17 e 14.18).

- Dentre os sedimentos que os sustentam, há espessas e extensas camadas horizontalizadas de areia e cascalho inconsolidados, materiais bastante porosos e permeáveis e quase sempre situados próximos à superfície, como identificado especialmente nas áreas das várzeas e nas pla-

nícies costeiras. Significa que são aquíferos granulares horizontalizados, de alto potencial de exploração, boa expressividade areal, boa homogeneidade hidrodinâmica lateral e de fácil e barata exploração.

Por todas as características retromencionadas, a área de definição desse geossistema, além de ser de grande importância para a recarga das águas subterrâneas e manutenção da regularidade da vazão dos rios, constitui-se em uma importante fonte de água doce para muitas regiões. No entanto, no caso de se explorar água, devem-se considerar as seguintes particularidades negativas:

- Em muitos locais, as águas circulam por entre camadas ricas em matéria orgânica. Nesse caso, é possível que a água apresente problemas de acidez elevada e mau cheiro.

- Na área de definição do geossistema, junto à linha de costa, as águas subterrâneas podem ser salobras, em razão da interferência da água do mar.

- São terrenos com características de relevo e de drenagem mais favoráveis à concentração do que à dispersão de poluentes, tanto terrestres como atmosféricos. Em caso de contaminação, exigem complexas e onerosas soluções (Figura 14.19).

- O fluxo de água subterrânea se dá na horizontal, em todas as direções, através de camadas de areia e cascalho, materiais de muito baixa capacidade de reter e depurar poluentes. Assim sendo, uma fonte poluidora, mesmo pontual, pode espalhar os poluentes por longas distâncias e em todas as direções. Por isso, não se deve consumir água de poços rasos, tipo cacimba, se houver fontes contaminantes na região (Figura 14.20).

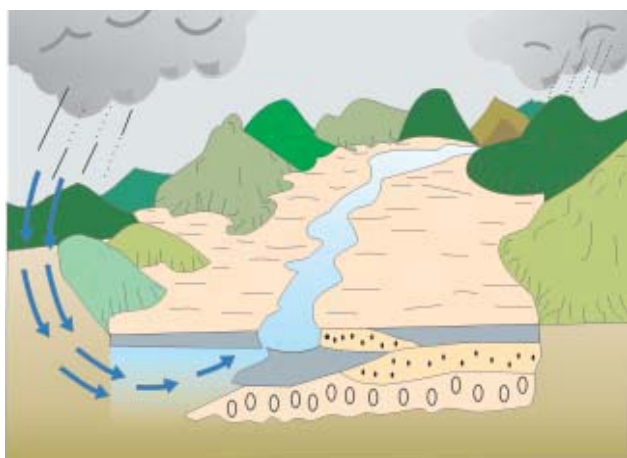
- Os cursos d'água e as enxurradas provenientes das áreas altas circunvizinhas, ao chegarem a esse geossistema, sofrem uma quebra brusca de energia e suas águas passam a ser lentas, pouco turbulentas, pouco oxigenadas e de baixa capacidade de se autodepurarem. Significa



**Figura 14.17** – Área de definição do geossistema 1 na região de Mangaratiba (RJ).



**Figura 14.19** – Rios com águas lentas apresentam baixa capacidade para dispersar e depurar poluentes (Sete Barras, SP).



**Figura 14.18** – Exemplifica-se porque a área de definição do geossistema 1 é favorável tanto à recarga como à descarga das águas subterrâneas.



**Figura 14.20** – Um poço tipo cacimba, escavado em uma várzea do Vale do Ribeira (SP), em meio a uma plantação de banana, cultivada com aplicação dos mais variados agrotóxicos.



que, se um poluente alcançar um curso de água desse geossistema, demorará muito tempo para se dispersar e se depurar.

- No caso de implantação de dutos e tanques para o armazenamento de substâncias poluentes, é grande a possibilidade de eles ficarem imersos ou enterrados em materiais ricos em matéria orgânica, que libera ácidos bastante corrosivos, danificando-os rapidamente.

Tais particularidades indicam que, para qualquer iniciativa de implantação de uma fonte com potencial poluidor nesse geossistema, criteriosos cuidados técnicos devem ser observados.

### Frente ao potencial turístico

A configuração morfoestrutural possibilitou que a esse geossistema se associassem alguns dos mais belos e importantes ecossistemas do Brasil, destacando-se dentre eles o Pantanal mato-grossense, a Ilha do Marajó, as amplas planícies amazônicas. Tais regiões apresentam um belo, denso e complexo sistema hídrico com vegetação típica, adaptada às águas e às secas; por isso, são habitat de uma infinidade de animais, aves e plantas terrestres e aquáticas. Também fazem parte dele todas as planícies costeiras, onde existem belas praias, além de se constituírem em importantes ecossistemas de transição entre ambientes marinhos e terrestres e as várzeas dos rios (Figuras 14.21, 14.22 e 14.23).

### Frente ao potencial mineral

Trata-se de uma ambiência geológica e geomorfológica favorável à exploração de vários bens minerais.

- A dinâmica dos cursos d'água é favorável à formação de depósitos de minerais pesados do tipo pláceres, ou seja, depositados pela ação dos rios. Destacam-se, nesse caso, os depósitos de ouro, cassiterita e diamantes.



Figura 14.21 – Sistema hídrico das planícies amazônicas.



Figura 14.22 – Paisagem formada pelo contraste das áreas planas do geossistema 1 e o relevo montanhoso sustentado por rochas muito antigas e deformadas (Vale do Ribeira, PR).



Figura 14.23 – Pantanal mato-grossense (região da serra do Amolar, MS).

- É um ambiente favorável à lavra de vários tipos de areia, argila, cascalho e turfa (Figura 14.24).
- Associados às planícies costeiras mais afastadas da linha de costa, há depósitos de areia industrial, assim como, associadas às areias da linha de praia, há concentrações de minerais pesados radioativos (areias monazíticas), como as identificadas no litoral do Espírito Santo.

### COBERTURAS SEDIMENTARES FANEROZÓICAS POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS (2)

Tais coberturas recobrem boa parte do território brasileiro. Elas se originaram a partir de detritos que, em tempos geológicos não muito distantes – entre mais ou menos 55 e 2 milhões de anos –, depositaram-se em pequenas e grandes depressões que se formaram por consequência de grandes falhas geológicas, que tanto soergueram como rebaixaram porções da crosta continental brasileira, em decorrência do mecanismo de separação do continente sul-americano do africano (Figura 14.25).





**Figura 14.24** – Lavra de turfa, associada às várzeas do rio Paraíba do Sul (município de São José dos Campos, SP).



**Figura 14.25** – Área de definição do geossistema 2.

À medida que tais depressões se formavam, transformavam-se em lagos, nos quais se depositavam diversos tipos de areias, cascalhos, argilas e siltes, transportados pelos rios e pelas enxurradas dos terrenos altos circunvizinhos.

Com o passar do tempo, os lagos se atulharam e se extinguíram e os sedimentos neles depositados hoje aparecem sustentando terrenos que, na literatura geológica, pertencem às bacias sedimentares de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende, Solimões, Parecis, Urucua, dentre outras. Também se encaixam nesse contexto os sedimentos que ocorrem ao longo de uma estreita e longa faixa da margem continental, pertencentes ao Grupo Barreiras.

Em decorrência dessa história geológica, as áreas destacadas na figura 14.25 têm em comum o fato de serem sustentadas por um empilhamento irregular de camadas ou lentes horizontalizadas das mais diferentes espessuras e compostas de diversos tipos de areias, argilas, siltes, cascalhos, geralmente pouco a moderadamente consolidados. Em razão de tais características, a área de definição desse geossistema apresenta diversas particularidades importantes de serem consideradas nas decisões de planejamento das várias formas de uso e ocupação.

## Adequabilidades e limitações

### Frente à execução de obras

Como implicações geotécnicas importantes decorrentes da geologia, salienta-se que:

- O substrato desse geossistema é formado por um empilhamento irregular de camadas de litologias de características granulométricas e composicionais diferentes. Conseqüentemente, em caso de execução de obras que envolvam escavações profundas, é grande a possibilidade de se expor nas paredes escavadas materiais dos mais variados comportamentos geomecânicos e hidráulicos. Isso favorece as desestabilizações, os processos erosivos e o aparecimento de surgências de água em taludes de corte (Figura 14.26).

- Por serem bacias sedimentares formadas por falhas geológicas, a espessura do pacote sedimentar pode variar de poucas centenas de metros – como se observa nas bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté e Resende e na Formação Barreiras –, a milhares de metros nas grandes bacias – por exemplo, Solimões e Urucua.

- Nas bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté e Resende, a espessura do pacote sedimentar é bastante irregular, variando de local para local de poucos metros a mais de uma centena de metros. Em caso de escavações e perfurações profundas, é grande a possibilidade de se encontrar rochas do embasamento das bacias e de características geotécnicas totalmente distintas das dos sedimentos desse geossistema.

de de se encontrar rochas do embasamento das bacias e de características geotécnicas totalmente distintas das dos sedimentos desse geossistema.

- Dentre os sedimentos, é bastante comum a existência de camadas de argilas excessivamente plásticas, pegajosas e rijas, como também de camadas de siltitos de cerosidade elevada. Tais materiais apresentam problemas face à escavação e perfuração com sondas rotativas – os equipamentos se emplastam excessivamente e a alta cerosidade propicia que as sondas patinem.

- É comum a existência de camadas de sedimentos à base de argilominerais expansivos. Tais sedimentos e os



**Figura 14.26** – As destabilizações e os processos erosivos observados nas falésias que existem principalmente ao longo do litoral nordestino, sustentadas por sedimentos da Formação Barreiras, são decorrentes do baixo grau de consolidação e da alternância de litologias de características geomecânicas e hidráulicas muito diferentes (Porto Seguro, BA).



**Figura 14.27** – Particularidade geotécnica interessante associada aos sedimentos da Bacia de Curitiba: a base do talude, embora sustentada por sedimentos argilosos, por conter argilominerais expansivos, é bem mais erosiva que a parte superior, sustentada por sedimentos arenosos (região metropolitana de Curitiba, PR).

respectivos solos residuais, se expostos à variação de grau de umidade, tornam-se colapsíveis e sofrem o fenômeno do empastilhamento, ou seja, desagregam-se em pequenas pastilhas. Por essa razão, obras neles enterradas podem sofrer deformações e trincamentos; além disso, se tais materiais forem expostos à oscilação dos estados úmido e seco, tornam-se tão erosivos quanto as areias inconsolidadas (Figuras 14.27, 14.28 e 14.29).

- Dentre os sedimentos, também se registra a ocorrência de camadas de areia e cascalho, materiais de características granulométricas e geomecânicas bastante heterogêneas.

- Como se trata de um empilhamento horizontalizado de camadas de várias composições, a textura dos solos residuais pode variar de argilosa a arenosa, principalmente nas áreas onde o relevo é mais movimentado e os vales, mais aprofundados.

- Por serem as camadas horizontalizadas ou subhorizontalizadas, o relevo geralmente é formado por elevações de topos amplos, suavizados e delimitados por vertentes um pouco mais íngremes. Entremeiam-se às elevações áreas baixas, com relevo quase plano. Tal configuração propicia que nessas áreas baixas as águas das chuvas se concentrem, formando lençol freático permanente ou temporário bem próximo à superfície (Figura 14.30). Também é grande a possibilidade de que nesses locais existam camadas de argilas moles, saturadas em água, sujeitas ao fenômeno da “corrida de lama”, se forem descomprimadas por meio de escavações. Também é possível a existência de solos transportados ricos em matéria orgânica (Figura 14.31). Tais solos apresentam baixa capacidade de suporte e são excessivamente ácidos, por isso, são bastante corrosivos; materiais neles enterrados se danificam rapidamente, o que recomenda cuidados especiais com a qualidade dos materiais empregados nas obras.



**Figura 14.28** – Processos erosivos decorrentes da exposição dos sedimentos argilosos da Formação Guabirutuba associada à Bacia de Curitiba contendo argilominerais expansivos (região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.29** – Área sofrendo processo de erosão decorrente da existência de argilominerais expansivos, relacionados aos sedimentos da Formação Solimões (estado do Acre).





**Figura 14.30** – Área de definição do geossistema 2 na região de Boa Vista (RR), onde o relevo é favorável a que se formem muitas lagoas e a que o lençol freático esteja situado próximo à superfície. Esta é uma particularidade também encontrada em muitos locais da área de definição da Bacia de Curitiba (PR).



**Figura 14.31** – Na área de definição do geossistema 2, na região metropolitana de Curitiba (PR), solos com alto teor de matéria orgânica são explorados e vendidos para jardinagem.

- São terrenos onde se encontram crostas lateríticas, especialmente nas regiões amazônica e Centro-Oeste, material à base de alumínio, ácido e corrosivo, além de que, em muitos locais, ele se encontra bastante endurecido (Figura 14.32).

- Dentre os sedimentos, é comum a existência de camadas de conglomerados formados por uma mistura caótica de seixos, blocos e até matacões de diversos tipos de rochas duras, na maioria das vezes, compostos de rochas à base de quartzo, portanto, muito duras e abrasivas. Trata-se de material de comportamento geomecânico bastante heterogêneo e difícil de ser escavado e perfurado com sondas rotativas (Figura 14.33).

- Na área de definição do geossistema, não há rochas duras para serem usadas como agregados (brita). Isso encarece bastante a execução de obras nos domínios da região amazônica – os agregados têm de ser transportados de longas distâncias.



**Figura 14.32** – A parte superior desse anfiteatro suspenso é sustentada por laterita, também conhecida como canga, que é uma crosta ferruginosa dura e mais resistente à erosão que o material ao qual está sobreposta (serra do Curral, MG).



**Figura 14.33** – Conglomerado constituído por seixos e blocos de rochas à base de quartzo (Eldorado Paulista, SP).

- Nas regiões sustentadas por sedimentos do Grupo Urucua e da Bacia do Parecis, predominam sedimentos à base de quartzo. Tais sedimentos costumam se encontrar densamente fraturados em várias direções e se alteram para solos arenosos extremamente erosivos e excessivamente permeáveis.

- Como particularidade positiva, salienta-se que a configuração morfolitoestrutural desse geossistema é favorável à predominância de relevos suavizados, de baixo potencial erosivo e de movimentos naturais de massa. Além disso, predominam materiais que podem ser escavados com certa facilidade, apenas com ferramentas e maquinários de corte.

## Frente à agricultura

Em decorrência da geologia, a área de definição desse geossistema apresenta tanto características negativas como positivas para o uso agrícola. Como particularidades negativas, salienta-se que:

- Em toda a sua área de definição, predominam litologias que se alteram liberando poucos nutrientes. Conseqüentemente, há predominância de solos de fertilidade natural muito baixa.

- Pelo fato de o substrato rochoso ser formado por um empilhamento irregular e horizontalizado de camadas are-



nosas, argilosas, siltosas e conglomeráticas, das mais variadas espessuras, a textura e, por conseqüência, a qualidade agrícola dos solos residuais, é uma variável que depende bastante de qual desses sedimentos predomina e ocupa a porção superior do pacote sedimentar e do tipo de relevo. Assim sendo, há regiões nas quais predominam solos argilosos; outras, solos arenosos; e aquelas em que a textura dos solos varia em poucos metros de arenosa a argilosa.

- Nas regiões onde predominam solos arenosos, como no caso da área de definição do Grupo Urucua, além da baixa fertilidade natural, os solos também são bastante erosivos, ácidos, excessivamente permeáveis, com baixa capacidade de armazenar água, de reter nutrientes e de assimilar matéria orgânica. Além disso, são terrenos com pouca disponibilidade hídrica superficial. Tais características indicam que essas áreas não são adequadas à agricultura de ciclo curto, ao plantio de plantas de raízes curtas, as quais necessitam de muita água e mecanização frequente do solo.

- Em regiões em que predominam sedimentos siltico-argilosos, como no caso da Bacia de Curitiba, destaca-se que tais sedimentos se alteram para solos argilosos ou argilossiltosos liberando muito alumínio. Portanto, além da baixa fertilidade natural, os solos são muito ácidos e se compactam e se impermeabilizam bastante se forem continuamente mecanizados com equipamentos pesados ou pisoteados por gado – cargas elevadas contínuas sobre solos argilosos propiciam a formação de uma camada subsuperficial altamente endurecida e quase que impermeável, fenômeno conhecido como “pé de grade”. Tal camada, nos períodos de chuva, funciona como uma superfície de deslizamento da camada superior, que, por ser mais fofa e porosa, encharca-se e é facilmente removida por erosão laminar (Figura 14.34). Por outro lado, solos argilosos apresentam boa capacidade de retenção e fixação de elementos, são bastante porosos e armazenam bastante água. Significa que mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo dos períodos secos, assimilam bem a matéria orgânica e, quando adubados, fixam bem os nutrientes. Conseqüentemente, desde que o relevo seja adequado e os solos devidamente manejados e corrigidos, tais terrenos apresentam bom potencial agrícola.

- Outro aspecto a ser considerado é que se trata de uma ambiência geomorfológica favorável à existência, especialmente nas regiões amazônica e Centro-Oeste, de manchas de solos lateríticos. Tais solos, além de serem de fertilidade natural muito baixa, são excessivamente ácidos, respondem mal à adubação e, em muitos locais, apresentam problemas de dureza e pedregosidade elevadas.

- Como particularidade positiva, destaca-se que, devido às camadas sedimentares serem horizontalizadas, predominam relevos suavizados, de baixo potencial erosivo, com boa parte da superfície favorável à utilização de maquinários motorizados. Esse tipo de relevo também é favorável à existência de parcelas baixas e recobertas por solos transportados, ricos em matéria orgânica, a exem-



**Figura 14.34** – Focos erosivos decorrentes do pisoteamento contínuo do gado sobre solo argiloso.

plo do que ocorre em grande parte da Bacia de Curitiba. Tais solos apresentam boa fertilidade natural, são bastante porosos e de alta reatividade química, ou seja, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

Destacam-se como particularidades importantes:

- Trata-se de uma ambiência favorável à existência de camadas de areia e de conglomerados de bom potencial armazenador e circulador de água, de boa expressividade areal e boa homogeneidade hidrodinâmica lateral. São, portanto, aquíferos granulares, nos quais, se um poço apresentar boa vazão, é grande a possibilidade de que outros, com a mesma profundidade, em outros locais, também a apresentem (Figura 14.35).

- São áreas potenciais à existência de aquíferos confinados, ou seja, as camadas arenosas e conglomeráticas podem estar intercaladas entre camadas pouco permeáveis e, por isso, protegidas da contaminação. Portanto, nelas podem existir aquíferos de excelente potabilidade. Por outro lado, nos aquíferos confinados, a recarga é muito lenta, fato que deve ser considerado no caso de exploração de água: se a exploração não for bem planejada, os poços podem secar (Figura 14.36).

- As características morfoestruturais são favoráveis à existência de manchas de solos ricos em matéria orgânica. Tais solos, por serem bastante permeáveis e porosos, têm grande importância hídrica para o geossistema, principalmente nas regiões onde predominam sedimentos siltico-argilosos, como no caso das bacias de Curitiba e de São Paulo. Funcionam como uma esponja que absorve e armazena grande quantidade de água das chuvas, contribuindo para melhorar o potencial de recarga das águas subterrâneas, como também para minimizar os problemas decorrentes do escoamento superficial rápido dos terrenos siltico-argilosos. Por isso, é importante que tais solos sejam preservados e não impermeabilizados (Figura 14.37).



Figura 14.35 – Exemplo de aquífero granular.

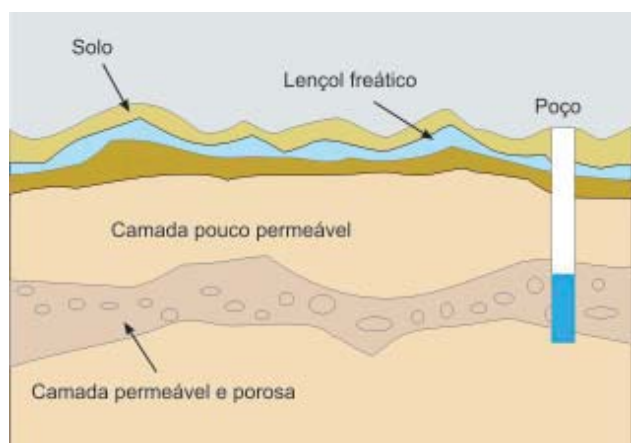


Figura 14.36 – Aquífero confinado.



Figura 14.37 – Boa parte da área de definição desse geossistema é recoberta por espesso manto de solo orgânico (região metropolitana de Curitiba, PR).

- Quanto à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por contaminantes superficiais, esta varia de baixa – nas regiões onde camadas argilossiltosas afloram – a muito alta – onde há camadas arenosas e conglomeráticas aflorantes –, pelo fato de esses sedimentos serem

bastante permeáveis e apresentarem baixa capacidade de retenção e depuração de poluentes. Assim sendo, nos locais em que tais sedimentos afloram e sobre os respectivos solos residuais, cuidados especiais devem ser tomados com as fontes potencialmente poluidoras.

- Outro aspecto negativo a ser considerado é que a configuração morfolitoestrutural desse geossistema é favorável a que os cursos de água apresentem águas lentas, pouco turbulentas e pouco oxigenadas; por isso, possuem baixa capacidade de depuração de poluentes. Portanto, se um poluente atingi-los, será necessário um longo período de tempo para a depuração e dispersão desse elemento.

### Frente ao potencial turístico

Como atrativos turísticos importantes, os sedimentos do Grupo Barreiras sustentam as bonitas falésias ao longo do litoral nordestino. Também é do Grupo Barreiras que se extraem as areias finas e coloridas utilizadas em interessante e típico artesanato da região Nordeste.

Na região de Urucuaia, a configuração morfolitoestrutural foi favorável a que os processos erosivos esculpisse áreas de grande beleza cênica e que fossem drenadas por muitos rios com formações de cachoeiras, corredeiras e piscinas naturais. Já na região amazônica, na área de definição da Formação Solimões, a geomorfologia propicia a existência de amplas planícies recortadas por um denso, belo e complexo sistema de rios com importantes ecossistemas associados.

### Frente ao potencial mineral

Trata-se de uma ambiência geológica favorável à exploração de diversos tipos de areia, argila e cascalho. Destaca-se que a parte do geossistema compreendida pela Bacia Solimões é uma ambiência favorável à existência de depósitos de hidrocarbonetos, xisto betuminoso, arenito asfáltico, barita, gipsita, sal-gema e anidrita.

## COBERTURAS SEDIMENTARES OU VULCANOSSEDIMENTARES PALEOZOÍCAS E PROTEROZOÍCAS NÃO-DOBRADAS (3)

Essas coberturas sustentam grande parte do território brasileiro e se originaram a partir de vários tipos de detritos, como areia, cascalho, argila, siltes, matéria orgânica e, mais restritamente, de lavas vulcânicas e precipitados químicos, que se depositaram em extensas e profundas bacias sedimentares originadas nas mais diferentes épocas da história geológica da Terra (Figura 14.38).

Tais bacias se formaram por consequência de falhas geológicas que tanto soerguiam como rebaixavam grandes extensões da crosta continental. A longa história evolutiva de tais bacias, que durou mais de 400 milhões de anos, possibilitou que nelas se depositassem materiais relacionados aos mais diferentes ambientes climáti-



Figura 14.38 – Área de definição do geossistema 3.

co-deposicionais, tais como continental, fluvial, marinho, desértico e vulcânico. Com isso, elas foram preenchidas pelos mais diferentes tipos de materiais. Com o passar do tempo, tais materiais se consolidaram e se transformaram em rochas. As areias se transformaram em arenitos; as argilas, em argilitos e folhelhos; os siltes, em siltitos; os cascalhos, em conglomerados; os precipitados químicos carbonáticos, em calcários.

Em decorrência dessa história geológica, essas bacias são sustentadas por um empilhamento horizontalizado de camadas de rochas das mais variadas composições. Em sua área de definição, dependendo de qual dos sedimentos predomina, ocupa a porção superior do pacote sedimentar e aflora, existem terrenos com os mais contrastantes comportamentos em termos de adequabilidade e limitações ao uso e à ocupação.

## Adequabilidades e limitações

### Frente à execução de obras

Em caso de execução de qualquer tipo de obra sobre a área de definição desse geossistema, é importante que se considerem as particularidades geotécnicas descritas a seguir.

- Tratam-se de terrenos em que as características geotécnicas do substrato rochoso variam e contrastam bastante na vertical, mantendo-se relativamente homogêneas na horizontal. Portanto, em caso de execução de escavações e perfurações profundas, especialmente nas regiões destacadas na figura 14.39, é grande a possibilidade de se encontrarem intercalações irregulares de materiais dos mais diversos e contrastantes comportamentos geomecânicos e hidráulicos, que mudam bruscamente de um para o outro (Figura 14.40). Tais mudanças se constituem em descontinuidades que facilitam as desestabilizações, os processos erosivos e o aparecimento de surgências de água em taludes de corte.

- Dentre os componentes litológicos, especialmente nas regiões destacadas nas figuras 14.39 e 14.47, é bastante comum a ocorrência de sedimentos siltico-argilosos finamente laminados (Figura 14.41), como também de sedimentos portadores de argilominerais expansivos (Figuras 14.42, 14.43 e 14.44), materiais que se desagregam e se tornam bastante erosivos e instáveis se expostos à variação dos estados úmido e seco. Assim, deve



Figura 14.39 – Regiões onde predominam e afloram sedimentos siltico-argilosos e onde a composição litológica varia bastante na vertical.





**Figura 14.40** – Bandamento horizontalizado planoparalelo conseqüente da alternância de sedimentos de diferentes composições (Formação Irati, SP).



**Figura 14.41** – Folhelho finamente laminado, que se desagrega e se desestabiliza com facilidade em taludes de corte (Formação Irati, SP).



**Figura 14.42** – Sedimentos da Formação Aquidauana (SP).



**Figura 14.43** – Erosão diferencial entre uma camada de arenito (topo) e uma de siltito à base de argilominerais expansivos (Formação Presidente Prudente, SP).



**Figura 14.44** – Desestabilização em um talude de corte sustentado por sedimentos da Formação Santo Anastácio (SP).



ser evitada sua exposição em taludes de corte e em obras terraplenadas.

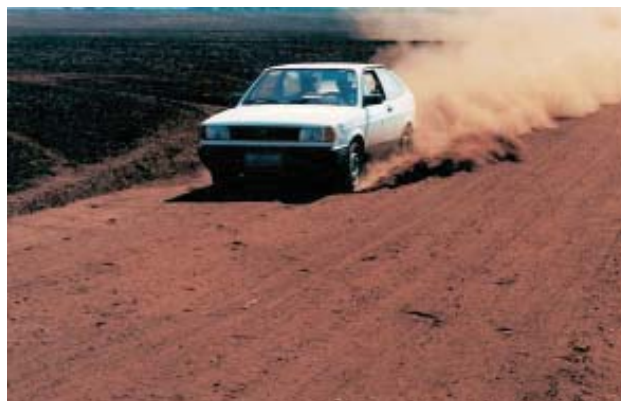
As porções de topo dos taludes apresentados nas figuras 14.42, 14.43 e 14.44 são sustentadas por arenitos. As porções inferiores são sustentadas por sedimentos siltico-argilosos. Observa-se que as porções inferiores, embora sejam à base de argila, encontram-se recortadas por sulcos de erosão (Figura 14.42). Era de se esperar o contrário. Isso acontece porque as camadas argilosas são portadoras de argilominerais expansivos. Tais minerais sofrem o fenômeno da alternância dos estados de expansão e contração quando expostos à variação dos estados úmido e seco. Isso faz com que se desagreguem em pequenas pastilhas, que, além de erodirem com muita facilidade, podem gerar sérios problemas de instabilidade em taludes de corte, especialmente pelo descalçamento de horizontes mais consistentes sobrepostos às camadas argilosas (Figura 14.43). Quando todo o talude é composto de sedimentos à base de argilominerais expansivos, a contínua desagregação superficial promove instabilidades por deformações na geometria do talude (Figura 14.44).

- Também é bastante comum a ocorrência de camadas de argilas excessivamente rijas, endurecidas e plásticas, bem como de camadas de siltitos com cerosidade elevada, materiais difíceis de serem escavados e perfurados, principalmente com sondas rotativas – causam emplastamento excessivo de ferramentas e maquinários, assim como a alta cerosidade pode prender ou fazer as sondas patinarem.

- Sedimentos siltico-argilosos se alteram para solos argilosos, que, quando secos, entram facilmente em suspensão (Figura 14.45); quando molhados, tornam-se bastante aderentes e escorregadios. Significa que, em áreas por eles sustentadas, não se deve iniciar grandes obras que envolvem a execução de escavações e movimentação de terra durante os períodos de chuva prolongados – enfrentar-se-ão muitos problemas com o emplastamento excessivo de maquinários e ferramentas e para trafegar pelas vias de acesso às obras, que se tornam bastante escorregadias e pegajosas.

- Uma situação que causa danos ambientais, além de afetar seriamente a saúde, está relacionada a terrenos sustentados por sedimentos siltico-argilosos e diz respeito à poeira levantada pelo tráfego nas vias de acesso às plantações de cana-de-açúcar. Como essa cultura necessita de muitas vias de acesso e a coleta de cana-de-açúcar se dá nos períodos de seca, a intensa circulação dos caminhões provoca o levantamento de poeira, que permanece bastante tempo em suspensão. Esse fato, aliado à fumaça originada das queimadas da cana, torna o ar dessas regiões quase que irrespirável.

- As áreas em destaque na figura 14.47 diferenciam-se pelo fato de se intercalarem, aos sedimentos siltico-argilosos, camadas das mais diversas espessuras de rochas calcárias (Figura 14.46). A mineralogia das rochas calcárias é à base de carbonatos, minerais que se dissolvem com



**Figura 14.45** – Poeira levantada por tráfego em via de acesso construída sobre terrenos sustentados por sedimentos siltico-argilosos (Formação Aquidauana, SP).



**Figura 14.46** – Talude de corte com exposição de rochas calcárias na base e sedimentos siltico-argilosos no topo, dois materiais de características geomecânicas e hidráulicas bem distintas. A existência de rochas calcárias indica que em um determinado momento as bacias sedimentares passaram por um ambiente marinho.

facilidade pela ação das águas. Portanto, tais camadas podem conter cavidades dos mais diferentes tamanhos. Conseqüentemente, onde elas são espessas e estão aflorantes, há potencial para ocorrências de colapso, ou seja, afundamentos bruscos. O aspecto geotécnico positivo das rochas calcárias é que elas apresentam boas características físico-químicas para serem usadas como agregados. Além disso, alteram-se para solos argilosos plásticos, de boa capacidade de suporte, de alta reatividade química, pouco permeáveis, pouco erosivos e de boa estabilidade em taludes de corte. Por isso, os solos residuais dessas áreas são bons para utilização como material de empréstimo, inclusive como barreiras de elementos químicos.

- Em boa parte do geossistema afloram espessos e extensos pacotes de sedimentos quartzo-arenosos, representados por vários tipos de arenitos. Tais sedimentos são à base de quartzo, mineral muito duro e abrasivo e de alta resistência ao intemperismo físico-químico. Assim sendo,



**Figura 14.47** – Áreas onde entre os sedimentos existem rochas calcárias.

em caso de se proceder a escavações, é grande a possibilidade de se encontrar nesses terrenos locais onde os arenitos podem ser de alta resistência ao corte e à penetração, principalmente por sondas rotativas – o quartzo promove um desgaste rápido nas brocas das sondas (Figura 14.48).

- Litologias à base de quartzo apresentam baixa resistência ao cisalhamento, ou seja, quebram-se facilmente quando submetidas à tensão. Essa característica propicia que, em muitos locais, as rochas se encontrem densamente fendilhadas em várias direções, o que as torna bastante percolativas, podendo soltar blocos com facilidade em taludes de corte (Figura 14.49).

- Sedimentos quartzo-arenosos se alteram para solos arenosos excessivamente permeáveis, friáveis e erosivos (Figuras 14.50, 14.51 e 14.52).

- Boa parte das regiões onde tais sedimentos afloram é recoberta por espessos areiões inconsolidados, excessivamente friáveis e sujeitos ao fenômeno da liquefação, ou seja, podem se comportar como areia movediça, principalmente quando compostos por grãos de quartzo esféricos, como os solos derivados de arenitos de deposição eólica (Figura 14.53). Em razão de tais características, em caso de execução de obras viárias, deve haver

estrita obediência a critérios técnicos, no sentido de disciplinar e quebrar a energia da água das chuvas, bem como proteger contra a erosão (Figura 14.54).

- Em terrenos quartzo-arenosos pode haver pseudodolinas, ou seja, depressões que se formam na superfície porque a areia migrou ou está migrando para um curso d'água subterrâneo. Essas pseudodolinas são indicativas da existência, nesses locais, de uma cavidade (caverna) ou da passagem de um rio subterrâneo. Em virtude dessas características, não se deve construir sobre esses locais. Assim como, antes de execução de qualquer obra que exerça tensão nas proximidades desses locais, é importante que se proceda a estudos geotécnicos detalhados e apoiados em investigações geofísicas que possam identificar a existência de cavidades, uma vez que são sujeitas a sofrerem colapso (afundamento brusco) (Figuras 14.55 e 14.56).

- Nos terrenos onde predominam sedimentos quartzo-arenosos também é bastante comum a ocorrência de camadas de conglomerados constituídos por seixos, blocos e matacões de vários tipos de rochas, em geral duras e abrasivas. Trata-se de um material difícil de ser escavado e perfurado e de características geomecânicas e hidráulicas bastante heterogêneas.



**Figura 14.48** – Áreas onde predominam e afloram sedimentos quartzo-arenosos.





**Figura 14.49** – Arenites eólicas densamente fraturados (Formação Botucatu, Águas da Prata, SP).



**Figuras 14.50 e 14.51** – Processos erosivos induzidos pela concentração das águas das chuvas em um talude de corte e em uma área de terraplenagem sobre terrenos arenosos da Formação Marília (SP). Nos terrenos arenosos, deve-se evitar a execução de obras que envolvem escavações e terraplenagem durante os períodos chuvosos. Obras desse tipo devem ser de imediato dotadas de disciplinamento das águas das chuvas e de proteção contra a erosão.

**Figura 14.52**– Processos erosivos induzidos pela concentração das águas das chuvas por arruamentos quadriculados e feitos em concordância com o declive do terreno arenoso. Para evitar esse problema, o desenho dos loteamentos em áreas arenosas deve fugir dos modelos quadriculados, de modo a evitar a execução de cortes profundos e a concentração da energia das águas das chuvas, ou seja, devem ser concordantes e não perpendiculares às curvas de nível.



**Figura 14.53** – Estradas não-pavimentadas sobre areiões são difíceis de serem trafegadas; a circulação dos carros aprofunda o leito, sujeitando-os a “atolarem” na areia inconsolidada (área de definição dos arenitos da Formação Botucatu, SP).



**Figura 14.55** – Pseudodolina associada a arenitos da Formação Furnas (região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.54** – Obra viária bem executada em uma área de solos arenosos, dotada de obras de disciplinamento das águas das chuvas e de bacias de contenção em suas margens (trecho de rodovia que liga a cidade de Brotas à cidade de Jaú, SP).



**Figura 14.56** – Gruta de Itambé, formada nos arenitos da Formação Botucatu (município de Altinópolis, SP).

- Como aspecto geotécnico positivo, salienta-se que as rochas arenosas são boas fontes de saibro.

### Frente à agricultura

Dentre as particularidades da geologia que influenciam o potencial agrícola desse geossistema, salientam-se as seguintes:

- Pelo fato de as camadas serem horizontalizadas e não-deformadas, predominam terrenos de relevos suavizados, com a maior parte da superfície com declividades favoráveis ao uso de implementos agrícolas motorizados.

- Como a variação litológica se dá na vertical, a textura dos solos se mantém relativamente homogênea nas áreas de relevo mais suavizado e pode variar de argilosa a arenosa nas áreas onde o relevo é um pouco mais movimentado e vales de drenagem são mais aprofundados.

- Em boa parte do geossistema, predominam e afloram sedimentos siltico-argilosos (Figura 14.39). Como particularidade importante desses terrenos, destaca-se que, independentemente de outras variáveis que influenciam as características do solo, tais sedimentos são portadores de argilominerais expansivos e se alteram para solos com teor elevado de argila, liberando poucos nutrientes e muito alu-



mínio. Como implicações positivas de tais características, os solos residuais desses terrenos, por serem argilosos, são bastante porosos, pouco permeáveis e apresentam boa capacidade de reter elementos. Conseqüentemente, armazenam bastante água; por isso, apresentam boa capacidade hídrica, mantendo boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo nos períodos mais secos; assimilam bem a matéria orgânica e, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes (respondem bem à adubação). Como implicações negativas, destaca-se que solos com teores elevados de argila se impermeabilizam, compactam-se excessivamente e se tornam bastante erosivos se forem continuamente mecanizados com equipamentos pesados ou pisoteados por gado. Em tal situação, forma-se uma camada subsuperficial altamente compactada e impermeabilizada, fenômeno conhecido como “pé-de-grade”. Por ocasião das chuvas, essa camada funciona como uma superfície de deslizamento da camada superior, que sofre erosão laminar. Além disso, solos residuais de sedimentos siltico-argilosos costumam conter excesso de alumínio, ou seja, são bastante ácidos e, quando são pouco evoluídos, pelo fato de conterem argilominerais expansivos, se não forem bem manejados, podem se tornar tão erosivos quanto os solos arenosos (Figura 14.57).

- Em algumas regiões, intercalam-se a outros sedimentos camadas de rochas calcárias (Figura 14.47). Tais rochas também se alteram para solos argilosos, portanto, do ponto de vista textural, apresentam as mesmas implicações destacadas para os solos residuais de sedimentos siltico-argilosos. Uma particularidade importante e intrínseca às rochas calcárias é que elas se alteram liberando vários nutrientes, principalmente cálcio e magnésio, para solos básicos e de alta reatividade química. Assim sendo, os solos residuais desses terrenos apresentam boa fertilidade natural, são naturalmente pouco erosivos e apresentam alta capacidade de reter nutrientes e de assimilar matéria orgânica. Tais características indicam que, desde que o relevo seja favorável e os solos devidamente manejados e corrigidos, as regiões destacadas na figura 14.47, do ponto de vista da influência da geologia, apresentam ótimo potencial agrícola.

- Dentre os constituintes litológicos (como acontece especialmente nas áreas destacadas na figura 14.48), existem espessos e extensos pacotes de sedimentos quartzo-arenosos. Nesse caso, as implicações da geologia no que se refere à qualidade agrícola dos solos residuais são mais negativas que positivas, pelas seguintes razões:

- Tais sedimentos se alteram para solos excessivamente arenosos, friáveis, de baixa fertilidade natural e, na maior parte das vezes, excessivamente permeáveis, erosivos, ácidos e de muito baixa capacidade hídrica e de reter e fixar nutrientes. Significa que respondem mal à adubação e perdem água rapidamente. Além disso, são terrenos com pouca disponibilidade de água superficial, sujeitos à arenização e formações de grandes voçorocas (Figura 14.58). Conseqüentemente, são inadequados para a agricultura extensiva, principalmente para o cultivo de plantas de raízes curtas e para o uso agrícola de ciclo curto, em que os solos precisam ser freqüentemente mecanizados. Qualquer iniciativa de aproveitamento agrícola



**Figura 14.57** – Cicatrizes de erosão geradas pela exposição à alternância dos estados úmido e seco de solos residuais pouco evoluídos de argilitos à base de argilominerais expansivos.



**Figura 14.58** – Focos erosivos, relacionados aos arenitos da Formação Botucatu (região de Cajuru, SP), induzidos pela prática agrícola inadequada, são bastante comuns na área de definição dos sedimentos arenosos. A maior parte das erosões é causada pelo desmatamento e pela concentração das águas pluviais nas cabeceiras dos vales de drenagem, locais onde as matas têm um papel fundamental para diminuir o potencial erosivo dos solos arenosos. Por isso, deveriam ser preservadas, conforme determina o Código Florestal.



das áreas em destaque na figura 14.48 deve obedecer a rigorosos cuidados técnicos, especialmente no que se refere ao não-desmatamento das cabeceiras e das margens dos canais de drenagem.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

Como particularidade hidrológica importante e extensiva a toda a área de definição do geossistema, salienta-se que são aquíferos granulares (Figura 14.35). Como se trata de um empilhamento de camadas sedimentares horizontalizadas de diferentes espessuras de sedimentos, com as mais variadas e contrastantes características hidrodinâmicas, o potencial hidrológico e o risco de contaminação das águas subterrâneas são bastante variáveis, dependendo de qual das litologias predomina e aflora na região.

- Nas regiões onde predominam sedimentos finos (Figura 14.39), estes são pouco permeáveis, geralmente pouco fraturados, alterando-se para solos argilosos também muito pouco permeáveis. Conseqüentemente, nas áreas por eles sustentadas, quando chove, pouca água se infiltra no subsolo – a maior parte escorre rapidamente para os canais de drenagem. Por isso, são ambientes desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas, com baixo número de nascentes e de cursos d'água e com baixo potencial para a existência de bons aquíferos subterrâneos. Também são terrenos nos quais os cursos d'água apresentam grandes e rápidas oscilações de vazão com as mudanças climáticas, ou seja, quando chove, a vazão sobe bastante e rapidamente; tão logo a chuva cessa, a vazão abaixa, também rapidamente. Tais características indicam que, nas áreas onde predominam sedimentos siltico-argilosos, a cobertura vegetal desempenha um papel hídrico importante para reter por mais tempo as águas das chuvas e assim melhorar o potencial de infiltração. Como aspecto positivo, destaca-se que, em alguns locais, entre as camadas siltico-argilosas, pode haver camadas arenosas e conglomeráticas com boa permeabilidade e bom potencial armazenador de água. No que se refere à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por fontes poluentes superficiais, o risco é baixo, pois tanto os sedimentos siltico-argilosos, como os calcários e os solos deles derivados, além de serem pouco permeáveis, apresentam boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.

- Nas regiões destacadas na figura 14.47, salienta-se como particularidade positiva a ocorrência de rochas calcárias, as quais podem conter cavidades subterrâneas preenchidas com água, podendo haver aquíferos cársticos. Nesse tipo de aquífero, o potencial hidrogeológico é bastante irregular. A existência de depósitos de água depende da espes-

sura das camadas calcárias, das condições climáticas locais e de os poços atingirem cavidades subterrâneas ou zonas fraturadas. Quanto à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, varia de alta – onde as rochas calcárias afloram –, a baixa – onde os solos são espessos; solos calcários apresentam alta capacidade de reter e depurar poluentes.

- Nas áreas onde predominam e afloram espessos e extensos pacotes de sedimentos quartzo-arenosos (Figura 14.48), as águas subterrâneas tanto podem estar armazenadas e circulando através de falhas e fraturas que tais rochas costumam conter, como por meio de espaços vazios existentes entre os grãos de quartzo. Nesses terrenos, é possível a ocorrência de aquíferos que podem ser ao mesmo tempo granular e fissural (Figura 14.59). Essas áreas apresentam alto potencial para a existência de bons aquíferos subterrâneos e, nesse caso, pelo fato de as camadas serem espessas e horizontalizadas, pode haver aquíferos de boa expressividade vertical e lateral; isso significa que, se um poço apresentar boa vazão, outros, mesmo à distância, também podem apresentar o mesmo comportamento.

- Dentre os arenitos, destacam-se como de maior potencial à existência de excelentes depósitos d'água aqueles depositados pela ação dos ventos em ambientes de deserto. Arenitos assim originados sustentam boa parte desse geossistema (Figura 14.60). Dentre eles, destacam-se os que compõem o Aquífero Guarani (Figura 14.61), que, além das excelentes características hidrodinâmicas, fazem parte de uma morfolitoestrutura favorável a que se constituam nos maiores e melhores depósitos de água doce do mundo.

- No que se refere ao potencial hidrológico superficial, este é baixo. Devido à permeabilidade elevada, terrenos arenosos costumam conter poucos cursos d'água. A maior parte das águas que brota nas nascentes infiltra-se novamente no subsolo arenoso permeável. Além disso, muitos cursos d'água são extintos pelo assoreamento, devido ao alto potencial erosivo dos solos. Por outro lado, o aspecto positivo da permeabilidade elevada é que são terrenos onde as águas subterrâneas são recarregadas em abundância (Figura 14.62).



Figura 14.59 – Aquífero granular e fissural.



Figura 14.60 – Áreas onde afloram sedimentos arenosos de deposição eólica.

• Quanto à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, é muito alta, especialmente nesse caso, uma vez que predominam arenitos pouco consolidados, altamente permeáveis, que se alteram para solos quartzo-arenosos também bastante permeáveis e de muito baixa capacidade de reter e depurar poluentes. Além disso, pelas fraturas que costumam conter em alta densidade, poluentes podem se infiltrar e chegar rapidamente às águas subterrâneas. São terrenos em que cuidados especiais devem ser observados, no que se refere a todas as fontes potencialmente poluidoras (Figura 14.63).

### Frente ao potencial turístico

As espessas camadas horizontalizadas se constituíram em uma morfoestrutura favorável a que os processos erosivos esculpisse na área de definição desse geossistema algumas das mais belas paisagens brasileiras (Figuras 14.64, 14.65, 14.66, 14.67, 14.68 e 14.69), destacando-se locais com altos paredões rochosos; profundos cânions e



Figura 14.61 – Área de definição do Aqüífero Guarani (em azul no continente), o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo.

O Aqüífero Guarani localiza-se na região centro-leste da América do Sul e ocupa uma área de 1,2 milhões de km<sup>2</sup>, estendendo-se pelo Brasil (840.000 km<sup>2</sup>), Paraguai (58.500 km<sup>2</sup>), Uruguai (58.500 km<sup>2</sup>) e Argentina (255.000 km<sup>2</sup>). Em território brasileiro, abrange os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O aqüífero é formado por um espesso pacote de arenitos depositados em um ambiente desértico por processos fluviais e especialmente eólicos, durante os períodos Triássico e Jurássico, ou seja, entre 200 e 130 milhões de anos atrás. É um aqüífero especial porque apresenta excelentes características hidrodinâmicas. Mais de 90% de sua área total são recobertos por mais de 1.500 m de rochas basálticas, aqui reportadas como pertencentes ao geossistema 4. Esse pacote basáltico, por ser espesso e de baixa permeabilidade, age como uma camada protetora da contaminação do aqüífero e permite que as águas subterrâneas fiquem nele retidas. Por outro lado, essa capa de rochas ígneas impede que o aqüífero seja recarregado em sua maior área de definição. Dessa forma, tem importância especial para a recarga do aqüífero a região onde os arenitos afloram. Isso acontece principalmente no interior do estado de São Paulo, onde grande parte dos 10% do Aqüífero Guarani aflorante ocorre.





**Figura 14.62** – Um curso d’água totalmente assoreado, associado aos arenitos da Formação Marília (SP).



**Figura 14.63** – Lixo depositado sobre arenitos da Formação Botucatu, área de exposição e de recarga do Aquífero Guarani (cabeceiras do rio Cajuru, SP).



**Figura 14.64** – As belas e curiosas formas erosivas da Chapada Diamantina, sustentadas por sedimentos da Formação Tombador (Lençóis, BA).



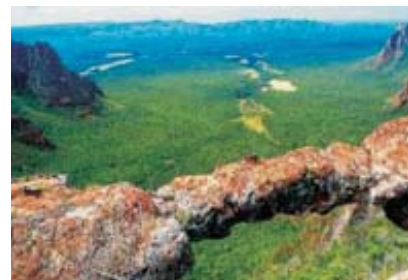
**Figura 14.65** – Formas erosivas de Vila Velha (PR), sustentadas por arenitos da Formação Furnas.



**Figura 14.66** – Formas erosivas de Sete Cidades (PI), um magnífico monumento natural, constituído de afloramentos rochosos devonianos da Bacia Sedimentar do Parnaíba.



**Figura 14.67** – Formas erosivas do monte Roraima (RR), sustentadas, principalmente, por arenitos muito antigos (mais de dois bilhões de anos), correlacionados ao Supergrupo Roraima.



**Figura 14.68** – Formas erosivas da Chapada dos Guimarães (MT), sustentadas, principalmente, por sedimentos devonianos da Formação Furnas.





**Figura 14.69** – Corredeiras e cachoeiras da trilha Fumacinha (Chapada Diamantina, BA).

grotões; belas formas erosivas; cursos d'água com vales profundos, encaixados, delimitados por paredes escarpadas e correndo sobre o substrato rochoso, formando magníficas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais. Além disso, trata-se de uma ambiência geológica onde se constata a existência de camadas fossilíferas de grande importância científica.

### Frente ao potencial mineral

A área de definição desse geossistema é uma ambiência geológica favorável à prospecção de:

- Fosfatos, xisto betuminoso, evaporitos, petróleo, gás e carvão.
- Vários tipos de areia e argilas, inclusive caulim (Figura 14.70).
- Pedra de revestimento, inclusive com qualidades refratárias, associada às áreas quartzo-arenosas. Associadas às rochas siltico-argilosas, há ardósias e outros litótipos que se deslocam em finas lâminas planoparalelas que podem ser usadas como pedra de revestimento (Figura 14.71).
- Diamantes associados às camadas de conglomerados, a exemplo do que ocorre na região da Chapada Diamantina (BA).
- No caso das áreas destacadas na figura 14.47, calcários são explorados para diversos fins (Figura 14.72).

## ROCHAS VULCÂNICAS EXTRUSIVAS E INTRUSIVAS CENOZOICAS E MESOZOICAS (4)

Em épocas geológicas passadas, o território brasileiro foi palco de intensa atividade vulcânica, que deu origem às rochas que sustentam o geossistema 4 (Figuras 14.73 e



**Figura 14.70** – Depósito de caulim, associado à Formação Alter do Chão (Manaus, AM).



**Figura 14.71** – No Paraná, arenitos essencialmente quartzosos e silicificados da Formação Furnas são explorados como rocha refratária e pedra de revestimento.



**Figura 14.72** – A porção escura dessa frente de lava corresponde a uma camada de calcário dolomítico pertencente à Formação Irati, explorado para corretivo de solos. A parte superior mais clara representa sedimentos argilosos da Formação Corumbataí, explorados para fabricação de cerâmica (SP).



**Figura 14.73** – Área de definição do geossistema 4, onde o vulcanismo ocorreu sob a forma de derrames.

14.79). Esse vulcanismo ocorreu em dois momentos distintos, mas ambos relacionados ao processo de separação dos continentes sul-americano e africano.

O vulcanismo mais recente aconteceu na era cenozóica (Terciário), ou seja, a partir de 65 milhões de anos atrás. Nessa época, originaram-se as diversas ilhas oceânicas que existem ao longo da costa brasileira, a exemplo de Fernando de Noronha, Trindade (Figura 14.74), Penedo de São Pedro e São Paulo.

O vulcanismo mais antigo se deu no final da era mesozóica, ou seja, há mais ou menos 150 e 65 milhões de anos, constituindo-se em uma das maiores manifestações vulcânicas da história geológica da Terra. Esse vulcanismo se iniciou quando os continentes sul-americano e africano – há cerca de 200 milhões de anos, eles estavam unidos em uma única massa continental, o Gondwana – começaram a se afastar um do outro.

No início do processo de separação, grandes e profundas fendas se abriram e, por elas, durante muitos milhões de anos, um imenso volume de magma, principalmente de composição básica, bastante fluido, infiltrou-se. Grande parte desse magma chegou à superfície através de sucessivos derrames que cobriram, com mais de 1.500 m de espessura de lava vulcânica, grandes extensões do território sul-americano, estendendo-se de forma contínua por uma larga faixa que abrange terrenos do Mato Grosso ao Paraguai, Uruguai e Argentina (Figura 14.75).

Parte do material magmático também se cristalizou em profundidade como pequenos veios (Figura 14.76),



**Figura 14.74** – Ilha Trindade, originada a partir de vulcanismo marinho cenozóico.



**Figura 14.75** – A grande espessura do “pacote” vulcânico é que possibilitou que se formasse a bela paisagem de Aparados da Serra (RS), sustentada por derrames basálticos.

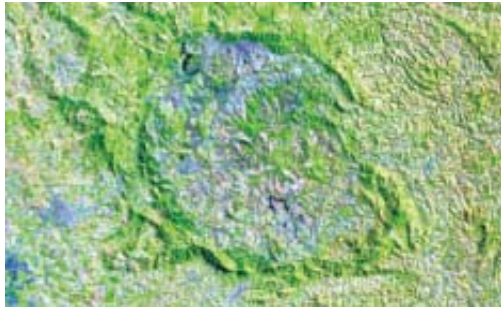


**Figura 14.76** – A porção escura é uma rocha originada do magma básico que se cristalizou em uma pequena fenda, por onde subiu a lava que deu origem aos derrames basálticos.

como uma série de pequenas intrusões circulares, bem como se manifestou como típicos vulcões (Figuras 14.77, 14.78 e 14.79).

No caso do magmatismo que se manifestou como vulcões, as rochas que sustentavam as paredes dos cones vulcânicos já erodiram e hoje só afloram as que se





**Figura 14.77** – Vestígios da grande cratera de vulcão de Poços de Caldas, que envolve terrenos dos estados de Minas Gerais e São Paulo.



**Figura 14.78** – O extinto vulcão de Tunas do Paraná, do qual ainda se preservam vestígios de pelo menos três chaminés vulcânicas.



**Figura 14.79** – Locais onde as manifestações magmáticas se deram como típicos vulcões, ou onde o magma se cristalizou em profundidade como intrusões plutônicas.

cristalizaram em altas profundidades nas raízes do cone vulcânico. Como em um vulcão acontecem várias pulsações magmáticas de composições químicas diferentes e o magma se cristaliza em profundidade e em tempos diferentes, os terrenos vulcânicos se caracterizam por serem sustentados por uma variedade enorme de rochas das mais diferentes cores e características químicas, minerais e texturais.

Já o magmatismo extrusivo se deu sob a forma de uma sucessão de derrames de lavas de grande fluidez, principalmente de composição básica e, em menor proporção, de composição ácida e intermediária. A fluidez possibilitou que o magma se esparramasse – cobrindo grandes extensões do território brasileiro – e se cristalizasse como se fosse uma sucessão de “camadas” horizontalizadas das mais diferentes texturas (Figura 14.80).

## Adequabilidades e limitações

### Frente à execução de obras

Como particularidades geotécnicas importantes decorrentes da geologia e que são ex-



**Figura 14.80** – Talude com exposição de dois derrames de composição e textura diferentes. A parte superior é sustentada por um dacito intensamente fraturado. A inferior é sustentada por um basalto vesiculado e pouco fraturado. Essa diferença é devida à composição diferente do magma e ao tempo com que levou para se esfriar e se cristalizar. O que esfriou mais rapidamente é mais fino e mais fraturado.



tensivas a toda a área de definição do geossistema 4, destacam-se:

- Independentemente da forma como se cristalizou o magma e de sua composição, todas as rochas que sustentam o geossistema se alteram de modo bastante heterogêneo e peculiar, deixando blocos e matações em meio aos solos, característica que pode dificultar bastante a execução de obras subterrâneas em muitos locais da área de definição desse geossistema (Figuras 14.81 e 14.82). Assim, mesmo onde os solos são profundos e bem evoluídos, é grande a possibilidade de neles existirem mergulhados blocos e matações arredondados de rochas de alta resistência ao corte e à penetração, os quais podem ocorrer

tanto isolados e irregularmente distribuídos, como concentrados em grande número (Figura 14.83). Isso significa que se deve evitar sua exposição em taludes de corte, como também atentar para que as fundações de uma obra não fiquem sobre eles parcialmente apoiadas. Em tal situação, podem se movimentar e as obras se desestabilizarem; por isso, é importante que sondagens geotécnicas de malha pouco espaçada sejam realizadas antes do início de uma obra.

- Predominam rochas de composição básica, que, no início do processo de alteração, geram argilominerais expansivos, ou seja, minerais que sofrem o fenômeno da alternância dos estados de expansão e contração se são submetidos à alternância dos estados úmido e seco. Por isso, não são rochas adequadas à utilização como agregados em obras sujeitas a grandes oscilações de temperatura e grau de umidade. Além disso, os solos residuais pedogeneticamente pouco evoluídos são colapsíveis e se tornam bastante erosivos se expostos à alternância dos estados úmido e seco (Figura 14.84).

- Predominam rochas que se alteram para solos argilosos. O aspecto negativo é que os solos residuais se tornam bastante pegajosos e escorregadios, quando molhados; quando secos, entram facilmente em suspensão e assim permanecem por longo tempo. Isso indica que não se devem iniciar grandes e demoradas obras que envolvem escavações e movimentação de terra durante os períodos de chuvas prolongados. Enfrentar-se-ão muitos problemas com o emplastamento excessivo dos equipamentos, como também para trafegar pelas vias de acesso às obras. Por outro lado, os solos argilosos, quando pedogeneticamente bem evoluídos, não são excessivamente permeáveis, apresentam boa capacidade de compactação, são pouco erosivos e mantêm boa estabilidade em taludes de corte. Portanto, nesse caso, é um bom material de empréstimo.

- Rochas vulcânicas extrusivas, como no caso das que sustentam as áreas destacadas na figura 14.77, costumam ser portadoras de alta densidade de fendas abertas dispostas em várias direções e com os mais diferentes ângulos de mergulho (Figura 14.85). Conseqüentemente, soltam blocos com facilidades em taludes de corte e são bastante percolativas, o que exige cuidados especiais com as obras que envolvem escavações e das quais possam vazar substâncias poluentes. Além disso, as mudanças de um derrame para o outro se constituem em descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que favorecem as desestabilizações em taludes de corte (Figura 14.80).



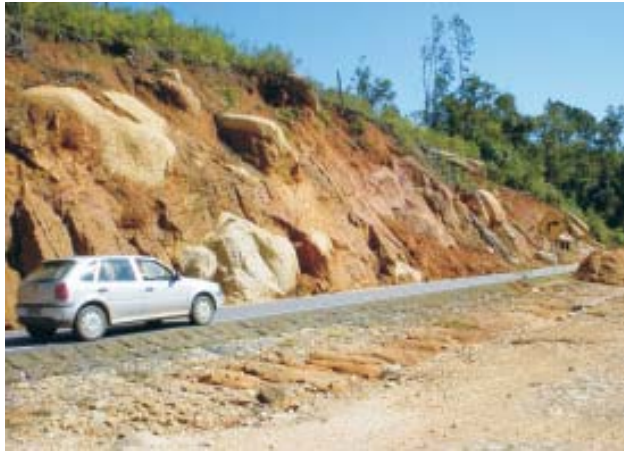
**Figuras 14.81 e 14.82** – A maior parte das rochas que sustentam esse geossistema se decompõe de forma esferoidal, ou seja, alteram-se gerando escamas concêntricas que se soltam como as cascas da cebola. Em razão disso, os blocos e matações assumem formas arredondadas, característica que os torna popularmente conhecidos como “pedra-capote” (município de Castro, PR).



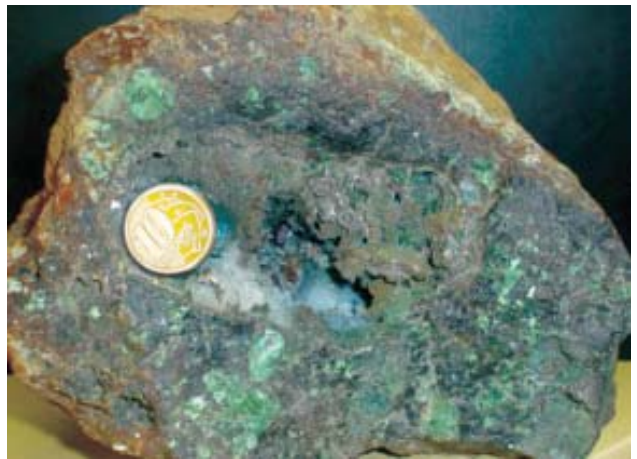
• Nas áreas destacadas na figura 14.73, também podem ser encontrados derrames basálticos portadores de alta densidade de vesículas das mais variadas dimensões (variando de milimétricas a métricas), que podem ou não estar preenchidas com outros minerais – principalmente quartzo e calcita – e interligadas. Nesse caso, são rochas de comportamentos geomecânicos e hidráulicos muito heterogêneos, podendo ser bastante permeáveis; se submetidas a cargas elevadas, principalmente quando se encontram parcialmente alteradas, obras sobre elas apoiadas podem sofrer trincamento, bem como problemas de pequenos colapsos (Figura 14.86).



**Figura 14.85** – Rochas basálticas exibindo denso sistema de fendas abertas e verticalizadas. São fendas de alívio, ou seja, geradas durante resfriamento rápido do magma (região de Cascavel, PR).



**Figura 14.83** – Blocos e matacões relacionados ao vulcão extinto de Tunas do Paraná.



**Figura 14.86** – Basalto vesiculado.



**Figura 14.84** – Erosão diferencial em solo derivado de basalto. A parte inferior mais erosiva é sustentada por um solo pouco evoluído e portador de argilominerais expansivos – a variação dos estados de expansão e contração dos argilominerais expansivos faz com que o solo se desagregue em pequenas pastilhas que erodem como se fossem areias inconsolidadas. A parte superior, pouco erosiva, é sustentada por solo bem evoluído. Nesse caso, mantém boa estabilidade em taludes de corte (região de Fernandópolis, SP).

## Frente à agricultura

Como particularidade geológica importante que influencia o potencial agrícola desse geossistema, destaca-se:

- Predominam rochas que se alteram para minerais de argila liberando vários elementos químicos, principalmente cálcio, magnésio, ferro, sódio, potássio e muito alumínio e que, no início do processo de alteração, geram argilominerais expansivos.

- Como implicações positivas, salienta-se que os solos residuais dessas rochas apresentam boa fertilidade natural; são bastante porosos, conseqüentemente, armazenam bastante água e mantêm boa disponibilidade hídrica para as plantas por longo tempo dos períodos secos; apresentam boa capacidade de reter, fixar elementos e de assimilar matéria orgânica – respondem bem à adubação.



Cabe destacar que é das rochas basálticas que sustentam grande parte desse geossistema que se originou a famosa terra roxa, que ocorre em parte das regiões Sul e Sudeste do Brasil, considerada uma das melhores terras do mundo (Figura 14.87).

- Como aspecto negativo, merece destaque o fato de que os solos residuais, por serem argilosos, compactam-se, impermeabilizam-se e se tornam bastante erosivos se forem continuamente mecanizados com equipamentos pesados ou pisoteados por gado. Cargas elevadas contínuas propiciam a formação de uma camada subsuperficial altamente endurecida e impermeável, fenômeno conhecido como “pé-de-grade”. Por tal motivo, quando chove um pouco mais forte, essa camada endurecida funciona como uma superfície de deslizamento da camada superficial, que, por ser mais friável, mais porosa e permeável, encharca-se e é facilmente removida por erosão laminar. Cabe mencionar que os solos argilosos, quando pedogeneticamente pouco evoluídos, costumam ser portadores de argilominerais expansivos. Nesse caso, tornam-se bastante erosivos quando desprotegidos de cobertura vegetal e expostos à alternância dos estados úmido e seco. Assim, mesmo sendo argilosos e de baixa erodibilidade natural, os solos desse geossistema, se forem manuseados de forma inadequada, podem se tornar bastante erosivos (Figura 14.88).

- Solos argilosos pouco evoluídos são pouco permeáveis. Portanto, no caso de irrigá-los, deve-se optar pelo método do gotejamento. Por outros métodos, a maior parte da água não se infiltra, escorrendo para os canais de drenagem. Outro fator negativo é que os solos derivados de rochas básicas, quando pedogeneticamente bem evoluídos, costumam ser bastante laterizados, ou seja, enriquecidos em ferro e alumínio. Nesse caso, podem apresentar o problema da acidez elevada.

Tais características permitem concluir que a influência da geologia no potencial agrícola desse geossistema é mais positiva que negativa. Portanto, desde que o relevo



**Figura 14.87** – Solo residual de basalto tipo terra roxa estruturada.



**Figura 14.88** – Erosão laminar decorrente do uso contínuo de maquinários pesados no cultivo da cana-de-açúcar sobre solos residuais de basaltos da região de Ribeirão Preto (SP). Além de erodir um solo de excelente qualidade, essa prática está reduzindo o já baixo potencial de infiltração natural das águas das chuvas dos terrenos basálticos.

seja adequado, são terrenos que podem ser intensivamente aproveitados para os mais variados tipos de práticas agrícolas.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

As manifestações vulcânicas que deram origem aos terrenos basálticos destacados na figura 14.77 foram de grande importância hídrica para o continente sul-americano, especialmente para o Brasil. Quando ocorreu o evento vulcânico, boa parte do território brasileiro era um grande deserto, no qual a ação dos ventos depositou um pacote de areia de excelentes características hidrodinâmicas de mais de 400 m de espessura. Os sucessivos derrames vulcânicos cobriram esse deserto e se cristalizaram em rochas pouco permeáveis. Tal empilhamento de rochas pouco permeáveis, sobre um pacote de areia altamente porosa e permeável (Figura 14.89), possibilitou que se formasse uma morfologia estruturada de excelentes características hidrodinâmicas, conhecida como Aquífero Guarani (Figura 14.62) – um dos maiores, melhores e mais importantes depósitos de água doce subterrânea do mundo.

- As rochas magmáticas – tanto extrusivas como intrusivas –, geralmente, são portadoras de alta densidade de fendas abertas dispostas em várias direções e com vários ângulos de mergulho. Trata-se, portanto, de aquíferos fraturados, ou fissurais, com bom potencial armazenador e circulador de água subterrânea. No entanto, o potencial de exploração de água é bastante irregular: depende de o poço cruzar zonas fraturadas, da densidade das fraturas e de elas estarem interligadas. Por isso, um poço pode apresentar boa vazão em um local e outro, imediatamente ao lado, ser seco.



**Figura 14.89** – A porção superior mais escura desse talude é sustentada por basaltos; a parte inferior avermelhada é de arenitos pertencentes ao Aquífero Guarani.

- No caso de vulcanismo sob a forma de derrames, o potencial também depende da porção do derrame que o poço atinge. O potencial é maior nas partes mais superficiais, uma vez que é aí que se concentram as fraturas abertas – elas tendem a se fechar nas porções mais centrais dos derrames. Há de se destacar também que, nesse caso, pode haver derrames com permeabilidade e porosidade altas relacionadas à existência de vesículas vazias (cavidades geradas pelo aprisionamento de gases) que, geralmente, ocorrem interligadas umas às outras, possibilitando que as águas se armazenem e circulem.

- Outra particularidade importante é o predomínio de rochas que se alteram para solos argilosos pouco permeáveis. Conseqüentemente, são terrenos desfavoráveis a que as águas subterrâneas sejam recarregadas. Nesse sentido, destaca-se a importância que a vegetação assume para melhorar o potencial de infiltração.

- A vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por fontes contaminantes superficiais varia de muito alta – onde as rochas afloram – a baixa – onde os solos

são espessos. Pelas fraturas, poluentes podem se infiltrar e alcançar rapidamente as águas subterrâneas sem serem depurados. Portanto, onde as rochas afloram, cuidados especiais devem ser tomados com todas as fontes potencialmente poluidoras. Por outro lado, nesse geossistema predominam rochas que se alteram para solos argilosos pouco permeáveis e de alta capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.

### Frente ao potencial turístico

Destaca-se que o modo como aconteceu o vulcanismo que originou os derrames basálticos possibilitou a formação de uma morfoestrutura favorável a que os processos erosivos formassem alguns dos mais belos e importantes atrativos turísticos do Brasil (Figuras 14.90, 14.91 e 14.92).

Na maior parte das áreas onde o magmatismo se deu sob a forma de vulcões, predominam relevos montanhosos, muitos de grande beleza cênica e portadores de cursos d'água correndo sobre o substrato rochoso, formando belas cachoeiras, corredeiras e piscinas naturais (Figura 14.93).



**Figura 14.90** – Cataratas do Iguazu, localizadas na divisa do estado do Paraná com a Argentina.



**Figura 14.91** – Cânion Fortaleza (região de Aparados da Serra, RS).



**Figura 14.92** – Cachoeira do Saltão (município de Itirapina, SP).



**Figura 14.93** – Ilha vulcânica de Fernando de Noronha (PE).



Além disso, muitos dos terrenos vulcânicos se notabilizam por serem portadores de fontes hidrotermais, inclusive com águas com qualidades medicinais, algumas delas importantes pólos turísticos, como no caso do município de Poços de Caldas (MG), famoso por suas águas sulfurosas, que chegam à superfície com a temperatura de 45,5°C.

### Frente ao potencial mineral

O magmatismo que deu origem a esse geossistema foi de grande importância mineral. Às manifestações magmáticas sob a forma de vulcões e intrusões plutônicas associam-se diversos bens minerais, destacando-se: cobre, apatita, magnetita, bauxita, urânio, terras-raras, níquel, cromo, caulim, nióbio, titânio e rochas fosfáticas. Também são fontes de vários tipos de rochas de excelentes características físico-químicas para serem usadas como agregados e rocha ornamental (Figura 14.94).

Associadas aos derrames basálticos, ocorrem importantes mineralizações de geodos de ametista e ágata, como as que existem no Rio Grande do Sul, onde há uma das maiores concentrações de gemas desse tipo do mundo (Figura 14.95). Além disso, destaca-se a possibilidade de existirem mineralizações de cobre, como também, em muitos locais, basaltos, riolitos e dacitos são explorados para brita.

### COBERTURAS METASSEDIMENTARES E METAVULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOÍCAS, DIFERENTEMENTE TECTONIZADAS, DOBRADAS E METAMORFIZADAS (5)

Tais coberturas recobrem boa parte do território brasileiro (Figura 14.96). Originaram-se a partir de vários tipos de areias, cascalhos, argilas, precipitados químicos e carbonáticos e, mais restritamente, de lavas vulcânicas que



**Figura 14.95** – Os geodos com cristais de ametista extraídos no norte do Rio Grande do Sul podem atingir mais de 2 m de comprimento. Originaram-se a partir da migração da sílica para bolhas de gás aprisionadas no topo dos derrames durante o processo de resfriamento rápido da lava. Normalmente, os geodos são preenchidos por cristais de ametista, ágata, quartzo branco e/ou rosa, ônix, jásper, calcita, apofilita, zeolita, opala, gipsita e barita.

se depositaram em mares e oceanos muito antigos, certamente com idades superiores a 570 milhões de anos. Devido aos movimentos das placas tectônicas, esses mares e oceanos passaram tanto por uma tectônica distensiva, quando se formaram, como por uma tectônica compressiva, quando se fecharam e se extinguíram.

Em razão dessa compressão, os materiais que neles se depositaram como camadas horizontalizadas se dobraram (Figura 14.97), constituíram-se em montanhas (Figuras 14.98 e 14.99) e se extinguíram. Esse processo de dobramento foi acompanhado por um esquentamento diferenciado dos materiais. Com isso, sob pressão, eles se metamorfixaram e se transformaram em rochas bem diferentes do que eram originalmente. As areias se transformaram em metarenitos ou quartzitos; as argilas, rochas à base de micas, hoje representadas por vários tipos de filitos e xistos; os precipitados carbonáticos, em metacalcários; e assim por diante.

Em decorrência dessa história geológica, a área de definição do geossistema 5 é sustentada por uma variedade enorme de rochas com as mais diferentes características composicionais, deformacionais e texturais. Tais litologias tanto ocorrem como finas camadas ou lentes intercaladas irregularmente entre si, como podem aparecer isoladas sob a forma de espessas camadas. Isso faz com que a área de definição desse geossistema



**Figura 14.94** – Lavra de rocha alcalina associada ao vulcão extinto de Tunas do Paraná.



Figura 14.96 – Área de definição do geossistema 5.

apresente particularidades importantes em termos de adequabilidades e limitações ao uso e ocupação.

## Adequabilidades e limitações

### Frente à execução de obras

Nas decisões de planejamento que envolvem a execução de obras, destacam-se como particularidades geotécnicas importantes:

- Na maior parte da área de definição do geossistema 5, as características geotécnicas variam e contrastam bastante, tanto na lateral como na vertical, especialmente nas regiões destacadas na Figura 14.100, em razão de maior diversidade litológica e de as seqüências se encontrarem complexamente dobradas. Por conseqüência, são terrenos onde as características geotécnicas – tanto do substrato rochoso, como dos solos e relevo – podem variar e contrastar bastante de região para região e, por vezes, de local para local. Significa que, na maior parte do geossistema, ensaios geotécnicos pontuais têm pouca representatividade lateral e vertical.

- Predominam litologias, principalmente nas áreas destacadas na figura 14.100, bastante tectonizadas, complexamente dobradas e portadoras de alta densidade de falhas, fraturas, diáclases e outras descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que facilitam a percolação de fluidos e as desestabilizações em taludes de corte. Aspecto importante de ser considerado na execução de obras subterrâneas (Figura 14.101).

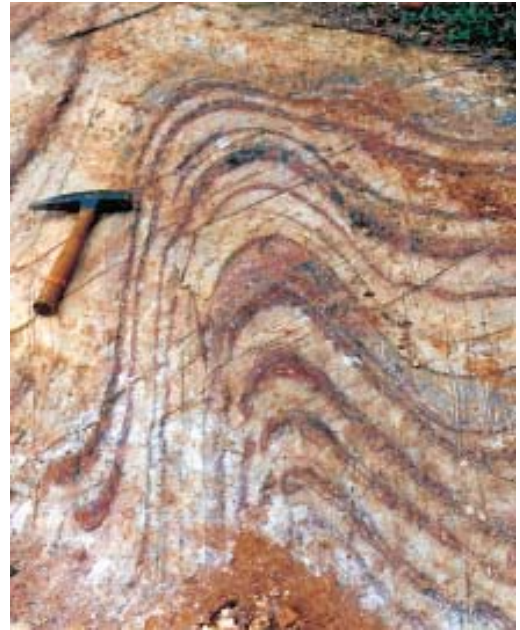


Figura 14.97 – Exemplar de um filito complexamente dobrado, um dos litótipos bastante comum na área de definição do geossistema 5. São produtos do metamorfismo de antigas camadas de argila que se depositaram em um ambiente marinho.



Figura 14.98 – Início de um processo distensivo que dá origem a uma fossa tectônica, que pode evoluir para formar um mar ou um oceano. Nessa fase embrionária de um ambiente marinho, ocorrem intensas atividades tectônica e magmática. Com isso, juntamente com os sedimentos que vão se depositando no fundo da fossa tectônica, deposita-se muita lava vulcânica.



Figura 14.99 – Exemplo do que acontece com as camadas que se depositaram em um ambiente distensivo que mudou para compressivo.





**Figura 14.100** – Áreas onde o tectonismo foi mais intenso e a variação litológica é grande.



**Figura 14.101** – Característica comum do substrato rochoso na área desse geossistema é a existência de rochas complexamente dobradas e falhadas, a exemplo desse calcário associado ao Grupo Açungui (Vale do Ribeira, SP).

• O mergulho dos estratos rochosos, especialmente nas áreas destacadas na figura 14.100, pode variar, de local para local, de horizontalizado a verticalizado, característica que complica a execução de obras que envolvem escavações mais profundas e a confecção de taludes de

corte – se os taludes ficarem em posição desfavorável à do mergulho dos estratos, estarão sujeitos a desestabilizações freqüentes.

- Nas áreas diferenciadas na figura 14.100, em razão do intenso dobramento, predominam relevos acidentados, geralmente recortados por alta densidade de canais de drenagem e com alta densidade de elevações com declividades acentuadas. Por isso, predominam terrenos naturalmente suscetíveis a processos erosivos e a importantes movimentos naturais de massa (escorregamentos). Em caso de execução de extensas obras lineares, tornam-se necessárias profundas escavações, de modo a minimizar declives, bem como a movimentação de grande volume de terra para altos aterros.

- Nas regiões em destaque na figura 14.102, as deformações não foram tão intensas; por isso, as rochas se encontram pouco dobradas e tectonizadas. Nesse caso, diferenciam-se da situação anterior pela predominância de estratos rochosos horizontalizados ou subhorizontalizados. Assim, as características geotécnicas e hidráulicas se mantêm um pouco mais homogêneas na horizontal, porém variam bastante na vertical. Além disso, as rochas contêm menos descontinuidades geomecânicas e hidráulicas e o relevo costuma ser do tipo assimétrico, ou seja, formado por topos relativamente suavizados e bordas escarpadas (Figura 14.107) geralmente recobertas por espessos depósitos de tálus, ou seja, depósitos formados por uma mistura caótica de solos com blocos e matacões desprendidos das encostas, material naturalmente instável.

- Dentre os constituintes litológicos, é bastante comum, especialmente nas áreas em destaque na figura 14.103, a existência de metassedimentos siltico-argilosos, cuja mineralogia é à base de micas isorientadas, que pode ser sericita, biotita ou muscovita. São, portanto, rochas que apresentam textura xistosa ou filítica e geralmente portadoras de alta densidade de superfícies planares pouco espaçadas, nas quais se concentram minerais micáceos formando planos de alta fissilidade. Tais planos facilitam os processos erosivos e fazem com que as rochas se soltem placas em taludes de corte, principalmente quando se encontram parcialmente alteradas e se os taludes são executados em posição concordante à do mergulho desses planos (Figuras 14.104 e 14.105). Nesses terrenos, portanto, deve-se ter preocupação especial em não executar escavações muito profundas e não expor tais sedimentos em taludes de corte e obras terraplanadas, desprotegidos de obras de contenção.



Figura 14.102 – Áreas onde as rochas se encontram menos deformadas.



Figura 14.103 – Áreas onde predominam metassedimentos siltico-argilosos.

• Metassedimentos siltico-argilosos são bastante plásticos, ou seja, mudam irreversivelmente de forma quando submetidos a tensões. Por isso, na maior parte das vezes,



Figura 14.104 – Deslocamento em talude de corte de filitos do Grupo Açungui (região metropolitana de Curitiba, PR).



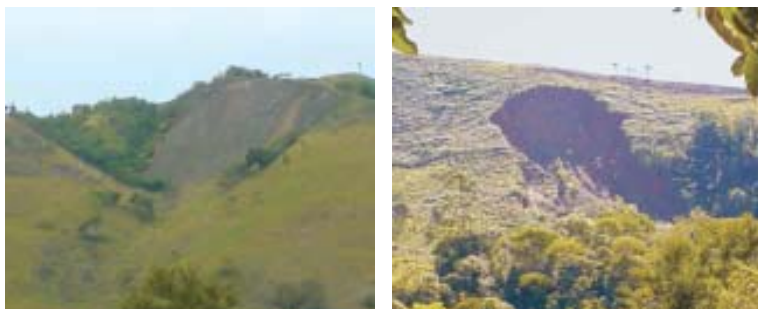
Figura 14.105 – Esquema mostrando o que acontece quando se fez um corte em posição concordante ao mergulho dos planos de fissilidade das rochas.

xistos e filitos encontram-se bastante dobrados e aparecem sustentando relevos bastante acidentados, geralmente montanhosos, com alta densidade de canais de drenagem e de muito alto potencial de movimentos naturais de massa (Figuras 14.106 e 14.107).

• Os solos de alteração de rochas xistosas, quando pedogeneticamente pouco evoluídos, podem conter restos preservados de bandas micáceas; nesse caso, quase sempre também são portadores de argilominerais expansivos. Tais solos são bastante erosivos e colapsíveis. Por isso, não se prestam à utilização como material de empréstimo (Figura 14.108).

• Litologias à base de micas, independentemente de outras variáveis que influenciam as características dos solos, alteram-se para solos argilosos que se tornam bastante pegajosos e escorregadios quando molhados; quando secos, entram facilmente em





**Figuras 14.106 e 14.107** – Relevo montanhoso e com muitos movimentos naturais de massa, sustentado por xistos e filitos do Grupo Açungui (Vale do Ribeira, PR).



**Figura 14.108** – Solo residual de filito com pedogênese diferenciada, preservando no horizonte C bandas micáceas parcialmente alteradas (Bateias, Campo Largo, PR).

suspensão. Em razão disso, nas regiões onde tais sedimentos predominam, não é recomendável iniciar grandes obras que envolvem escavações e movimentação de terra durante os períodos de chuvas ou de secas prolongadas. Nos períodos de chuvas, enfrentar-se-ão problemas com emplastamento excessivo das ferramentas e equipamentos, bem como para trafegar pelas vias de acesso às obras (que se tornam excessivamente escorregadias). Nos períodos secos, enfrentar-se-ão problemas com a poeira excessiva que se desprende das vias não-pavimentadas.

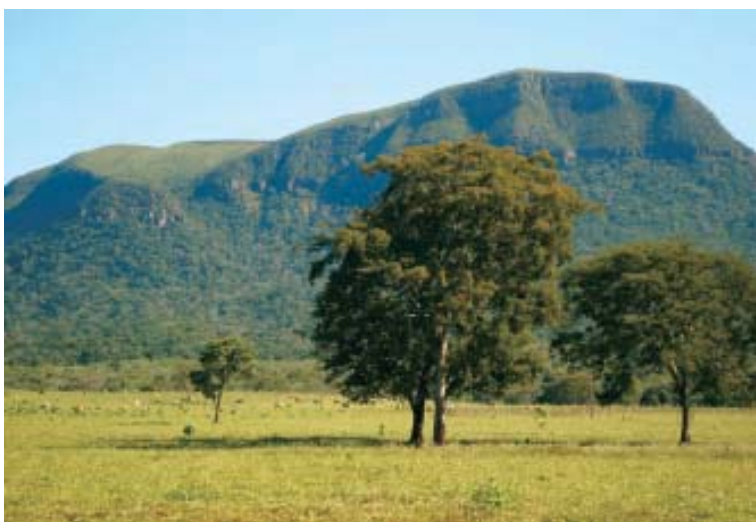
- Em muitos locais, especialmente das áreas em destaque na figura 14.100, é bastante comum a existência de espessos pacotes formados por intercalações de finas camadas ou lentes de litologias das mais diferentes composições e características texturais (Figura 14.109). As mudanças bruscas entre uma litologia e outra (Figura 14.110) se constituem em descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que favorecem os movimentos de massa, as desestabilizações em taludes de corte e os processos erosivos.

- Dentre os constituintes litológicos, especialmente nas áreas em destaque na figura 14.111, existem camadas das mais diversas espessuras de metassedimentos à base de quartzo, representados por diversos tipos de metarenitos e quartzitos. Trata-se de litologias de baixa resistência ao cisalhamento, ou seja, quando submetidas a tensões, ao invés de se deformarem, quebram-se. Por isso, nesses terrenos é bastante comum ocorrerem rochas densamente fendilhadas em várias direções. Conseqüentemente, são bastante percolativas e delas podem se soltar blocos com facilidade em taludes de corte (Figuras 14.112 e 14.113).

- Rochas quartzo-arenosas alteram-se para solos arenosos de alta erosividade natu-



**Figura 14.109** – Sequência formada por finas camadas de litologias de diferentes composições (Grupo Açungui, Itapirapuã Paulista, SP).



**Figura 14.110** – Vista da Morraria do Urucum, um relevo assimétrico, sustentado por camadas pouco ou não deformadas e horizontalizadas de arenitos da Formação Urucum e formações ferromanganesíferas da Formação Santa Cruz (Corumbá, MS).



Figura 14.111 – Áreas onde dentre os litótipos existem tipos à base de quartzo.



Figura 14.112 – Quartzitos densamente fendilhados, associados ao Grupo Açungui (Vale do Ribeira, PR).



Figura 14.113 – Quartzitos densamente fendilhados, associados à Formação Tombador (Chapada Diamantina, BA).

ral, excessivamente permeáveis e sujeitos ao fenômeno da liquefação, ou seja, em alguns locais podem se comportar como areias movediças.

- O quartzo é um mineral bastante duro, abrasivo e de alta resistência ao intemperismo físico-químico. Por isso, em muitos locais, as rochas quartzo-arenosas podem se encontrar bastante endurecidas e apresentar alta resistência ao corte e à penetração por sondas rotativas – as brocas se desgastam rapidamente.

- Como implicações geotécnicas positivas, destaca-se que as rochas quartzosas metamorfozadas, como nesse caso, apresentam alta capacidade de suporte e resistência à compressão, bem como resistem bem ao intemperismo físico-químico. Os solos delas derivados, por serem à base de quartzo, são bons para serem usados como saibro, antipó, areia e material inerte.

- Nas regiões destacadas na figura 14.114, dentre as litologias ocorrem camadas das mais diferentes espessuras de rochas metacalcárias. Como particularidade geotécnica importante desses terrenos, destaca-se que a mineralogia das rochas calcárias é à base de carbonato, mineral que se dissolve com facilidade pela ação das águas (Figuras 14.115, 14.116 e 14.117). Além disso, ro-



Figura 14.114 – Áreas com ocorrências de rochas metacalcárias.





**Figuras 14.115, 14.116 e 14.117** – As cavidades se formam nas rochas calcárias porque o carbonato de cálcio é um mineral que se dissolve com facilidade quando em contato com a água da chuva, que, ao passar pelo solo, acidifica-se, torna-se corrosiva, penetra pelas fendas que as rochas calcárias costumam conter e aos poucos vão dissolvendo o carbonato. Este, dissolvido, cai em um fluxo d'água subterrâneo; assim, as fendas vão se alargando, ramificando-se, até formarem desde pequenas até imensas cavernas, as quais podem estar ligadas à superfície através das dolinas e sumidouros de drenagem.

chas calcárias, principalmente quando tectonizadas, alteram-se de forma bastante diferenciada para solos argilosos básicos. Isso tem implicações geotécnicas tanto positivas como negativas.

- Dentre as implicações geotécnicas negativas, salienta-se que se trata de terrenos portadores de um complexo e ramificado sistema de rios e cavidades subterrâneas, cujas dimensões variam de alguns centímetros a quilômetros. Tais cavidades são sujeitas a desmoronamentos que provocam afundamentos bruscos na superfície (colapso); nessas cavidades, podem se armazenar gases naturais ou provenientes de fluidos contaminados com graxas, combustíveis etc., que chegam até elas pelo fluxo d'água superficial.

- Muitas dessas cavidades podem estar interligadas à superfície através de dolinas (Figuras 14.118 e 14.119) e sumidouros de cursos d'água, que são também locais de ligação direta entre os fluxos d'água superficial e subterrâneo. Portanto, são locais de alto potencial de afundamentos bruscos (colapso) e de alta vulnerabilidade à contaminação. Por isso, sobre esses locais ou em sua proximidade

não se deve construir – o risco de a obra afundar subitamente é alto.

- Nos terrenos calcários, a profundidade do substrato rochoso costuma ser bastante irregular. Mesmo onde os solos são bem evoluídos, em meio deles podem aparecer aleatoriamente distribuídos restos de rochas totalmente frescas e duras (Figuras 14.120 e 14.121).

- Os solos residuais de calcários, por serem argilosos, tornam-se bastante aderentes e escorregadios quando molhados; quando secos, entram facilmente em suspensão – formam muita poeira. Tais características dificultam a execução de obras que envolvem escavações e movimentação de terra durante os períodos chuvosos, devido ao emplastamento excessivo das ferramentas e equipamentos de corte.

Dentre as implicações positivas, destacam-se:

- As rochas calcárias apresentam boas características físico-químicas para serem usadas como agregados.

- Os solos residuais dessas rochas são pouco agressivos, plásticos, pouco permeáveis, apresentam boa capacidade de compactação e são de alta reatividade química.



**Figuras 14.118 e 14.119** – Moradia construída junto a dolinas, prática não recomendada, uma vez que o risco de afundamento em um local como este é alto (município de Almirante Tamandaré, PR).



**Figura 14.120** – Afloramento de rocha calcária isolado em meio a solos bem evoluídos é uma característica que complica sobremaneira a execução de escavações e obras subterrâneas em terrenos calcários, como nesse caso, relacionado ao Grupo Açungui (região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.121** – Nessa frente de lavra de rocha metacalcária do Grupo Açungui, observam-se diversas fraturas verticalizadas e preenchidas por solos. É por elas que as águas das chuvas se infiltram e vão alterando de modo diferenciado as rochas calcárias.

Conseqüentemente, são pouco erosivos, mantêm boa estabilidade em taludes de corte e são ótimos para serem usados como material de empréstimo, inclusive como barreiras de retenção de elementos químicos.

As particularidades geotécnicas retromencionadas indicam que, em caso de execução de obras sobre a área de definição desse geossistema, é necessário proceder a estudos geotécnicos detalhados, apoiados em grande número de ensaios geotécnicos de malha pouco espaçada e de materiais coletados de várias profundidades. Nas áreas calcárias, é importante que os estudos geotécnicos sejam apoiados em estudos geofísicos que identifiquem e mapeiem cavidades, implicando, portanto, custos elevados, tanto na fase de planejamento como na de execução das obras.

## Frente à agricultura

A heterogeneidade litológica faz com que nas áreas desse geossistema existam solos com as mais diferentes e

contrastantes características físico-químicas (Figura 14.122). Conseqüentemente, a qualidade agrícola dos solos varia bastante de região para região; na maior parte das vezes, de local para local, dependendo de qual das litologias é predominante e é aflorante.

- Nas áreas em que predominam e afloram metassedimentos síltico-argilosos (Figura 14.103), como particularidades importantes salienta-se que, independentemente de outras variáveis que influenciam a qualidade agrícola do solo, tais litologias se alteram para argilominerais, liberando poucos nutrientes e muito alumínio. O aspecto positivo é que os solos residuais são bastante argilosos, conseqüentemente, bastante porosos, apresentando boa capacidade hídrica – mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo dos períodos mais secos. Também apresentam boa capacidade de reter e fixar elementos – fixam bem a matéria orgânica e, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes. Por outro lado, costumam ser solos de baixa fertilidade natural; geralmente, apresentam elevados teores de alumínio tóxico e são bastante ácidos (Figura 14.123). Por isso, necessitam ser freqüentemente corrigidos com aplicação de altas cargas de calcário dolomítico. Além disso, solos argilosos compactam-se e se impermeabilizam excessivamente se forem continuamente mecanizados com equipamentos pesados ou se pisoteados por gado. Cargas elevadas contínuas propiciam a formação de uma camada subsuperficial altamente compactada e impermeabilizada, fenômeno conhecido como “pé-de-grade”. Essa camada funciona como uma superfície de deslizamento da camada mais superior, que, por ser mais fofo e permeável, quando chove, encharca-se e é facilmente removida por erosão laminar.

Tais características permitem concluir que o potencial agrícola dos terrenos destacados na figura 14.103 é uma



**Figura 14.122** – As cores diferentes observadas no solo dessa região são decorrentes da variação litológica. A porção avermelhada é um solo residual de metacalcário; a amarelada é um solo residual de filito. Ambos têm em comum a textura argilosa. A diferença é que o solo da camada de calcário é básico e de boa fertilidade natural, enquanto o derivado de filito é ácido e de baixa fertilidade natural. É uma situação que pode ocorrer com freqüência na área desse geossistema.





**Figura 14.123** – Solo residual de um metassedimento síltico-argiloso do Grupo Açungui (Vale do Ribeira, PR). A cor amarelada é um indicativo de que contém altos teores de alumínio.

variável que depende mais das características do relevo e da evolução pedogenética dos solos. As áreas onde o relevo é adequado e os solos são bem desenvolvidos, desde que os solos sejam devidamente manejados e corrigidos, podem ser bem aproveitadas para qualquer tipo de agricultura.

- Nas regiões em que predominam e afloram metassedimentos à base de quartzo (Figura 14.111), destacam-se como particularidades importantes que tais litologias apresentam alta resistência ao intemperismo e se alteram liberando poucos elementos químicos para solos quartzo-arenosos (Figura 14.124). Conseqüentemente, nessas áreas, os solos residuais são bastante erosivos, costumam apresentar baixa fertilidade natural, são excessivamente permeáveis e de baixa capacidade de reter e fixar nutrientes. Portanto, são difíceis de serem corrigidos, quase não assimilam matéria orgânica, respondem mal à adubação e perdem água rapidamente (solos de baixa capacidade hídrica). Além disso, são terrenos onde predominam relevos acidentados, com solos geralmente pouco desenvolvidos e, na maior parte das vezes, apresentando problemas de rochiosidade ou pedregosidade elevadas.

- Tais características indicam que as áreas destacadas na Figura 14.111 são inadequadas para a agricultura extensiva, especialmente para o cultivo de plantas de raízes curtas, para as que necessitam de muita água, de solos férteis e mecanização freqüente.

- Nas regiões em que predominam e afloram rochas metacalcárias (Figura 14.114), como particularidades importantes desses terrenos, que influenciam o potencial agrícola, destacam-se as rochas metacalcárias, que se alteram para solos argilosos básicos, de muito alta reatividade química, liberando vários elementos químicos, principalmente cálcio e magnésio. Outra particularidade a ser destacada é o fato de que nos terrenos calcários podem existir dolinas (Figuras 14.126 e 14.127) e sumidouros de água.

- Como implicações positivas de tais características, destaca-se que os solos residuais de calcários apresentam baixo potencial erosivo natural; são bastante porosos; ar-

mazenam bastante água, ou seja, apresentam alta capacidade hídrica e, por isso, mantêm boa disponibilidade de água por longo tempo dos períodos secos; são bastante férteis e apresentam alta capacidade de reter, fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica (Figura 14.125).

- Como implicações negativas, salienta-se que, por serem argilosos, solos residuais de calcários também se compactam e se impermeabilizam excessivamente se forem submetidos a cargas elevadas contínuas. Portanto, nesse caso, apresentam os mesmos problemas destacados para os solos derivados dos metassedimentos síltico-argilosos. Além disso, as dolinas e sumidouros de água são locais de ligação direta entre os fluxos de água superficial e subterrânea e por eles os poluentes agrícolas podem se infiltrar e alcançar rapidamente as águas subterrâneas sem sofrer depuração.

Tais particularidades permitem concluir que, desde que observados os devidos cuidados para que os poluentes agrícolas não cheguem até as dolinas e aos cursos d'água e o relevo seja adequado, os terrenos metacalcários apresentam excelente potencial agrícola (Figura 14.128).



**Figura 14.124** – Quartzito alterado para um solo excessivamente arenoso, de péssimas características agrícolas (Tunas do Paraná, PR).



**Figura 14.125** – Solo residual de metacalcário com o horizonte superior rico em matéria orgânica (região de Itaiacoca, PR).



**Figuras 14.126 e 14.127** – Hortaliças plantadas no entorno e sobre dolinas associadas aos terrenos metacálcários da região metropolitana de Curitiba (PR). Trata-se de uma prática bastante inadequada. Nas áreas agrícolas, dever-se-ia preservar uma larga faixa do entorno das dolinas e dos canais de drenagem como área de mata natural. Estas têm um papel importante para impedir que os poluentes cheguem até as dolinas e, por consequência, até as águas subterrâneas. O cultivo mais adequado para as áreas calcárias portadoras de dolinas é o orgânico.



**Figura 14.128** – Terrenos metacálcários com relevo suavizado da região metropolitana de Curitiba são intensamente utilizados para a agricultura.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

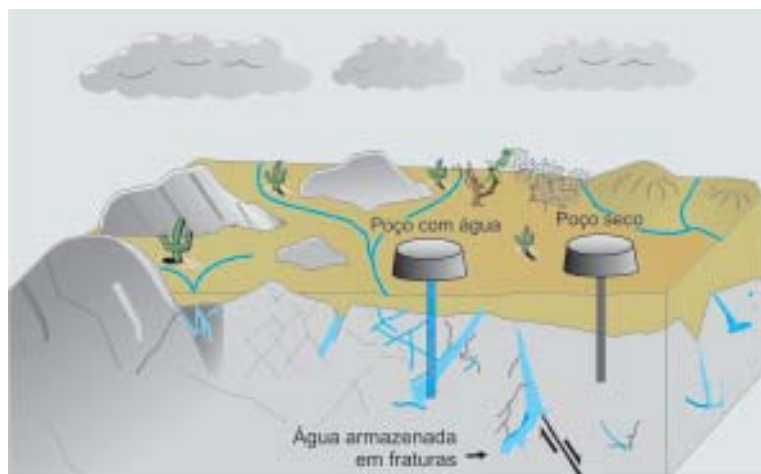
Como particularidade importante e extensiva a toda a área de definição desse domínio, destaca-se que, devido ao intenso tectonismo e ao metamorfismo a que foram submetidas as litologias, as águas subterrâneas nesses terrenos se encontram armazenadas e circulam mais pelas fendas abertas, relacionadas a falhas, fraturas e outras descontinuidades estruturais, do que por entre os poros das rochas. Trata-se, portanto, de aquíferos fissurais (Figura 14.129). Nesse tipo de aquífero, o potencial de exploração de água é bastante irregular: depende da existência e da densidade das fendas, que, por sua vez, dependem

das características composicionais e estruturais das rochas. Como isso varia bastante, o potencial hídrico superficial e subterrâneo e as adequabilidades e limitações frente à implantação de fontes poluentes subterrâneas variam, de local para local, de muito alto a muito baixo, uma vez que se intercalam litologias das mais diferentes características hidrodinâmicas.

- Nas regiões onde predominam metassedimentos síltico-argilosos (Figura 14.103), como particularidades hidrológicas importantes, salienta-se que, nesses terrenos, predominam litologias pouco permeáveis, geralmente portadoras de poucas estruturas (falhas e fraturas) que podem se constituir em armadilhas de água. Portanto, são terrenos com baixo potencial armazenador e circulador de água. Além disso, tais metassedimentos se alteram para solos também pouco permeáveis e, por isso, predominam relevos geralmente bastante movimentados, recortados por alta

densidade de canais de drenagem (Figura 14.130), com escoamento superficial rápido. São, portanto, ambientes desfavoráveis a que as águas subterrâneas sejam recarregadas – quando chove, a maior parte da água escorre rapidamente para os canais de drenagem e pouca água se infiltra no subsolo. Por isso, também contêm baixo número de nascentes e os poucos cursos d'água perenes que existem costumam apresentar grandes e bruscas oscilações de vazão com as mudanças climáticas – quando chove, a vazão sobe muito e rapidamente; quando a chuva cessa, abaixa também muito e rapidamente. Nesse sentido, são terrenos com baixo potencial para existência de bons depósitos de água subterrânea e com os quais se deve ter uma preocupação especial no sentido de preser-





**Figura 14.129** – Em um aquífero fissural, o potencial de exploração de água é bastante irregular, dependendo de o poço cruzar zonas fraturadas. Por isso, um poço pode apresentar excelente vazão e outro, ao lado, ser seco.



**Figura 14.130** – Tipo de relevo que predomina nas áreas sustentadas por metassedimentos siltico-argilosos (área de definição do Grupo Açungui, Vale do Ribeira, SP).

var a cobertura vegetal. Tem um papel fundamental para reter por mais tempo as águas das chuvas, melhorando o potencial de infiltração no subsolo. Por outro lado, como aspecto positivo, salienta-se que a cobertura de solos argilosos apresenta boa capacidade de reter e depurar poluentes. Portanto, o risco de contaminação das águas subterrâneas é baixo.

- Nas regiões onde predominam metassedimentos à base de quartzo, representados por diversos tipos de metarenitos e quartzitos (Figura 14.116), como particularidade hidrológica importante destaca-se que são rochas portadoras de alta densidade de falhas e fraturas abertas dispostas em várias direções e com vários ângulos de mergulho. Isso tem implicações hidrológicas tanto positivas como negativas. Dentre as positivas, merece destaque o fato de que as falhas e fraturas podem estar interligadas

e apresentam bom potencial armazenador e circulador de água subterrânea (Figura 14.131). Isso também os torna terrenos geralmente portadores de muitas nascentes e cursos d'água que mantêm boa vazão o ano todo (Figura 14.132). Além disso, nas rochas à base de quartzo, as águas subterrâneas costumam apresentar excelentes características de potabilidade. Como aspecto negativo, destaca-se que, pelas fendas abertas que as rochas quartzo-arenosas costumam conter em alta densidade, poluentes podem se infiltrar e alcançar rapidamente as águas subterrâneas sem sofrer depuração. Além disso, os solos delas derivados são à base de quartzo, mineral de muito baixa capacidade de reter e depurar poluentes. Por isso, são terrenos onde as águas subterrâneas são bastante vulneráveis à contaminação. Portanto, cuidados especiais devem ser observados com relação a toda fonte potencialmente poluidora.

- Nas regiões onde ocorrem rochas metacalcárias (Figura 14.114), destaca-se que, nas rochas calcárias, as águas subterrâneas se infiltram, armazenam-se e circulam pelas cavidades que nelas se formam pela dissolução dos carbonatos (Figuras 14.115, 14.116 e 14.117). São, portanto, aquíferos cársticos. Outro aspecto a ser destacado é que se trata de rochas que se alteram para solos argilosos pouco permeáveis e de alta capacidade de reter elementos.

- Como consequência negativa de tais características, destaca-se que aquíferos cársticos sofrem recarga e descarga rápidas, ou seja, as águas das chuvas se infiltram rapidamente em abundância, mas também podem escorrer rapidamente através de rios subterrâneos.

- O potencial de exploração de água subterrânea é bastante irregular, dependendo bastante das condições climáticas locais e de o poço cruzar zonas fraturadas ou alcançar uma cavidade subterrânea que contenha água armazenada. Conseqüentemente, pode ocorrer que um poço apresente excelente vazão em um local e outro, imediatamente ao lado, seja seco.

- Como as águas podem estar armazenadas em cavernas, se a exploração não for bem planejada ocorrerá seu esvaziamento rápido, ocasionando sua descompressão, que provocará o desmoronamento de suas paredes e causar colapsos na superfície. Além disso, se o bombeamento não for bem dimensionado, acarretará o rebaixamento excessivo do nível freático, com conseqüente secamento das águas superficiais.

- As águas subterrâneas associadas aos terrenos metacalcários podem apresentar excesso de carbonato, fenômeno conhecido como "água dura", que é prejudici-



**Figura 14.131** – Quartzito densamente fraturado em várias direções, o que o torna uma rocha de alta permeabilidade e porosidade secundárias (município de Castro, PR).



**Figura 14.133** – A depressão circular que se observa no terreno é uma pequena dolina associada aos terrenos metacalcários da região de Itaipocca (PR). A dimensão das dolinas varia de poucos metros a dezenas de metros.



**Figura 14.132** – Bela surgência de água, localizada no sopé de uma crista quartzítica associada às seqüências metavulcanossedimentares do Grupo Açungui (região metropolitana de Curitiba, PR).

al à saúde. Em caso de exploração de água, deve-se considerar a possibilidade de o carbonato aderir às paredes das tubulações e entupi-las rapidamente.

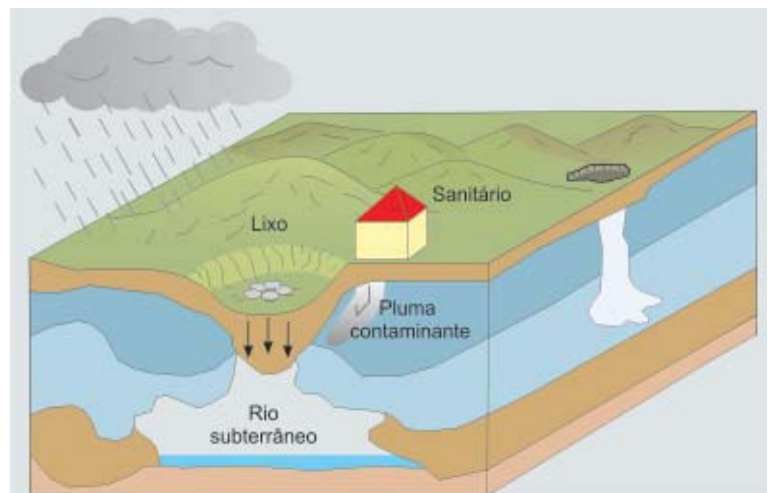
- Ao se perfurar terrenos metacalcários, deve-se considerar a possibilidade de as sondas atingirem bruscamente uma cavidade subterrânea. Isso pode fazer com que partes dos equipamentos se desprendam; nesse caso, é muito difícil respcá-las.

- É principalmente por dolinas (Figura 14.133), sumidouros de drenagem e fraturas que as águas subterrâneas dos terrenos metacalcários são recarregadas. Mas é também por eles que poluentes alcançam rapidamente as águas subterrâneas – inclusive um rio subterrâneo –, espalhando-os por longas distâncias e causando impactos regionalizados e de gran-

des proporções (Figura 14.134). Por isso, sobre dolinas ou em suas proximidades, a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas é muito alta. Nesses locais, não se deve implantar fontes potencialmente poluidoras, assim como cuidados especiais devem ser observados para que poluentes não alcancem os cursos d'água (Figura 14.135).

- Como particularidade positiva, destaca-se que as rochas metacalcárias se alteram para solos argilosos pouco permeáveis e de alta reatividade química, de alta capacidade de reter e depurar poluentes. Conseqüentemente, onde os solos são profundos e distantes dos cursos d'água e das dolinas, o risco de as águas subterrâneas serem contaminadas por fontes superficiais é baixo.

Em razão de tais particularidades, qualquer iniciativa para exploração de água, bem como para locação de fontes contaminantes sobre terrenos metacalcários, deve ser precedida de criteriosos estudos hidrogeológicos regionais



**Figura 14.134** – Esquema de contaminação de águas subterrâneas, em caso de implantação de uma fonte poluidora sobre uma dolina ou em suas proximidades.





**Figura 14.135** – Depósito de lixo que inclui vários elementos metálicos sobre o substrato metacálcário da região metropolitana de Curitiba (PR). A possibilidade de que as águas subterrâneas estejam sendo contaminadas é grande.

e de detalhe, os quais devem ser apoiados em levantamentos geofísicos que possam detectar a presença de cavidades subterrâneas.

### Frente ao potencial turístico

A diversidade litológica e o intenso tectonismo a que foram submetidas as seqüências metassedimentares e metavulcanossedimentares proterozóicas possibilitaram que em diferentes regiões do geossistema 5 se formassem os mais variados atrativos turísticos naturais.

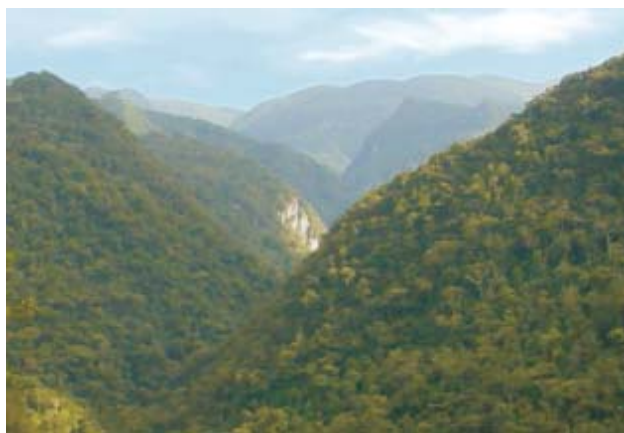
- Na maior parte de definição desse geossistema, predominam relevos montanhosos de grande beleza cênica (Figuras 14.136 e 14.137).
- Nas regiões em que ocorrem rochas calcárias, há belas e exóticas paisagens cársticas (Figura 14.138), muitas das quais portadoras de grande número de magníficas



**Figura 14.136** – O belo e diversificado relevo montanhoso sustentado pelas seqüências metavulcanossedimentares do Grupo Açungui (Vale do Ribeira, PR). Destaca-se, ao fundo, uma sucessão de altas cristas quartzíticas – um atrativo turístico pouco conhecido e aproveitado.



**Figura 14.137** – Serra do Amolar, constituída por rochas quartzíticas, isolada em meio ao Pantanal mato-grossense (MS). O contraste do relevo montanhoso em meio à planície com as águas espelhadas é uma paisagem de rara beleza.



**Figura 14.138** – Relevo montanhoso do Vale do Betari (SP), sustentado pelas seqüências que envolvem metacalcários do Grupo Açungui.

cavernas (Figuras 14.139 e 14.140) e rios de águas cristalinas (Figura 14.141).

- O tectonismo diferenciado e a existência de interações de litologias com diferentes graus de resistência ao intemperismo físico-químico são características que favoreceram a existência, na área de definição desse geossistema, de muitos cursos d'água, formando belas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais (Figura 14.142).

### Frente ao potencial mineral

A área de definição desse geossistema é uma ambiência geológica favorável à prospecção de vários bens minerais, destacando-se: chumbo, prata, cobre, ferro, ouro e manganês (Figuras 14.143 e 14.144), fosfato, barita, fluorita. As mais importantes jazidas de ferro, manganês e ouro do Brasil estão associadas a esses terrenos, destacando-se, dentre outras, as minas do Quadrilátero Ferrífero



**Figura 14.139** – Gruta Azul (Bonito, MS), formada em metacalcários do Grupo Corumbá.



**Figura 14.141** – Rio da Prata. Terrenos metacalcários da região de Jardim (MS).



**Figura 14.140** – A bela entrada da caverna do Morro Preto. É a entrada de caverna mais ornamentada do mundo (Vale do Ribeira, SP).



**Figura 14.142** – Cachoeira situada na região do Perau (Vale do Ribeira, PR).

(MG); de serra do Navio (AP); de serra Pelada, Tapajós e Carajás (PA); da região de Crixás (GO), nesses casos, associadas às seqüências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt* – as quais se diferenciam por incluírem rochas vulcânicas oceânicas básico-ultrabásicas ricas em magnésio (Figura 14.145).

Além dos minerais metálicos, esse geossistema também apresenta alto potencial para a prospecção de vários bens minerais não-metálicos. Em várias regiões, são

explorados quartzitos (Figura 14.146). Metassedimentos à base de argilominerais são explorados para diversos fins. Rochas calcárias são exploradas com intensidade para fabricação de cimento e cal, como rocha ornamental (Figura 14.147), corretivo de solo (Figura 14.148) e para uma infinidade de outros usos.

O potencial mineral é um aspecto importante a ser considerado nas decisões de planejamento. Sua exploração deve ser um uso a prevalecer sobre os demais que não





**Figura 14.143** – Mina de ferro da Morraria do Urucum, MS.



**Figura 14.144** – Formação ferromanganesífera da região de Urucum, MS.



**Figura 14.146** – Lavra de quartzito utilizado como pedra de revestimento (serra do Pico do Gavião, município de São Thomé das Letras, MG).



**Figura 14.145** – Regiões onde ocorrem seqüências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt*.



**Figura 14.147** – Lavra de mármore comercialmente conhecido como “Bege Bahia”, resultante da descalcificação dos calcários do Grupo Bambuí, com posterior redeposição.



**Figura 14.148** – Lavra de calcário dolomítico utilizado para fabricação de corretivo de solo. Região metropolitana de Curitiba (PR), área de definição do Grupo Açungui.

sejam de cunho preservacionista, uma vez que bens minerais não ocorrem onde se deseja, mas onde a natureza os formou.

## ROCHAS GRANÍTICAS (6)

Tais rochas sustentam boa parte do território brasileiro (Figura 14.149) e se derivaram de magmas das mais diferentes composições, cristalizados nas mais diferentes eras geológicas e nos mais diversos ambientes tectônicos. Em razão disso, há no Brasil uma grande variedade de granitos, os quais, conforme o momento e a ambiência tectônica em que se cristalizaram ou se deformaram, são conhecidos geologicamente como granitos pré-, sin-, tardi-, pós-tectônicos.

Os granitos pré- e sintectônicos afloram principalmente nas áreas destacadas na Figura 14.150. Diferenciam-se por apresentarem mineralogia intensamente deformada, recristalizada e orientada segundo uma direção preferencial em toda a extensão dos maciços (Figura 14.152). As áreas destacadas na figura 14.151 são sustentadas por granitos tardi- e pós-tectônicos. Os tarditectônicos se diferenciam pela mineralogia, que varia de não-orientada nas porções centrais dos maciços, a bem orientada nas porções mais de borda. Os pós-tectônicos apresentam a mineralogia não-deformada e não-orientada, ou seja, isótropa, em toda a extensão dos maciços (Figura 14.153).

## Adequabilidades e limitações

Como particularidades importantes, em termos de adequabilidades e limitações ao uso e ocupação, destaca-se que, independentemente da ambiência tectônica em que se cristalizaram, todos os granitos têm em comum:

- Composição mineral à base de feldspatos, que podem ser sódicos e potássicos, em porcentagens que variam entre 50 e 70%; quartzo, entre 20 e 30%; em proporção menor, minerais ferromagnesianos, principalmente



**Figura 14.149** – Área de definição do geossistema 6.



**Figura 14.150** – Áreas onde predominam granitos pré- e sintectônicos.





**Figura 14.151** – Área onde predominam granitos tardi- e pós-tectônicos.

biotita e hornblenda; em proporção bem menor, outros minerais acessórios.

- Dentre seus minerais, predominam feldspatos e quartzo, minerais de moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico.
- Rochas graníticas se alteram de modo bastante diferenciado para solos de textura argilo-siltico-arenosa.
- Geralmente, sustentam relevos acidentados.

### Frente à execução de obras

Como particularidades geotécnicas importantes decorrentes das características retrodestacadas, salientam-se:

- Os solos residuais de granitos apresentam alto potencial erosivo e se desestabilizam com facilidade em taludes de corte, principalmente quando são pouco evoluídos. Nesse caso, não são adequados à utilização como material de empréstimo em obras desprovidas de medidas de impermeabilização e nas quais possam ficar sujeitos à concentração das águas das chuvas (Figuras 14.154 e 14.155). Processos erosivos decorrentes da exposição de solos residuais pouco evoluídos de granitos em talude de corte e utilizados na confecção de aterros são problemas bastante comuns em todas as estradas construídas em terrenos graníticos. O material erodido nesses locais contribui para o assoreamento e extinção dos cursos d'água, além de exigirem gastos elevados para as constantes obras recuperativas, que aprofundam o leito das estradas e au-



**Figura 14.152** – Exemplar de um granito pré-tectônico, com a mineralogia deformada, orientada, segundo uma direção preferencial e recortada por veio de uma fase pós-tectônica sem orientação mineral (porções mais claras).



**Figura 14.153** – Exemplar de um granito pré-tectônico, sem orientação mineral.

mentam a superfície exposta à erosão. Em caso de execução de obras viárias sobre terrenos graníticos, devem ser evitados cortes profundos e ter preocupação especial com o controle das águas pluviais. É importante destacar que em material com alta suscetibilidade à erosão, como no caso dos solos graníticos pouco evoluídos, os processos erosivos, uma vez instalados, caso não sejam adotadas, rapidamente, medidas mitigadoras, tendem a adquirir cada vez maior expressão.

- Por outro lado, os solos residuais pouco evoluídos, principalmente quando ainda preservam cristais de feldspato, são bons para serem usados como saibro.
- Granitos, principalmente os não-deformados (pós-tectônicos), alteram-se de modo bastante diferenciado, quase sempre deixando blocos e matacões em meio aos solos, que tanto podem ocorrer isolados (Figura 14.156) e aleatoriamente distribuídos, como concentrados em grande número (Figura 14.157). Em razão disso, a profundidade do substrato rochoso nos terrenos graníticos costuma ser bastante irregular, variando, em poucos metros, de rasa a bastante profunda. Isso pode dificultar e encarecer a execução de escavações, perfurações e obras subterrâneas, uma vez que em muitos locais será necessária a utilização de explosivos para o desmonte de rochas duras. Além disso, se a fundação de uma obra se apoiar parcialmente sobre blocos e matacões, estes podem se movimentar e desestabilizá-la (Figura 14.158).



**Figuras 14.154 e 14.155** – Processos erosivos decorrentes da exposição de solos residuais pouco evoluídos de granitos em talude de corte e utilizados na confecção de aterros (região do Vale do Ribeira, SP).



**Figura 14.156** – Matações de rochas graníticas em meio ao solo, particularidade que complica bastante a urbanização desses terrenos (Piedade, SP).

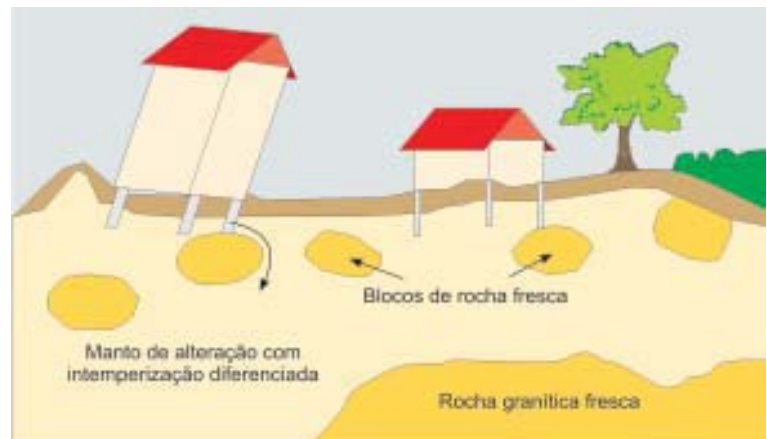


**Figura 14.157** – Devido à forma como se alteram os granitos, é grande a possibilidade de existirem na área de definição desse geossistema blocos e matações mergulhados no solo (município de Piedade, SP).

- Nos terrenos graníticos predominam relevos acidentados e com as vertentes côncavas, locais naturalmente susceptíveis a importantes movimentos de massa, inclusive com rolamento de blocos e grandes matações. Por isso, não se deve construir no sopé dessas encostas – o risco de que, inesperadamente, ocorra movimento de massa em um local como este é alto (Figuras 14.159 e 14.160).

- As rochas graníticas, especialmente tardi- e pós-tectônicas, costumam ser bastante fraturadas (Figuras 14.161 e 14.162), principalmente nas bordas dos maciços. Nesse caso, são bastante percolativas e delas se soltam blocos com facilidade em taludes de corte, o que recomenda cuidados especiais com as obras subterrâneas, especialmente as destinadas à implantação de fontes potencialmente poluidoras.

- A alta erosividade dos solos, aliada ao relevo geralmente acidentado dos terrenos graníticos, favorece os processos erosivos e os movimentos naturais de massa,

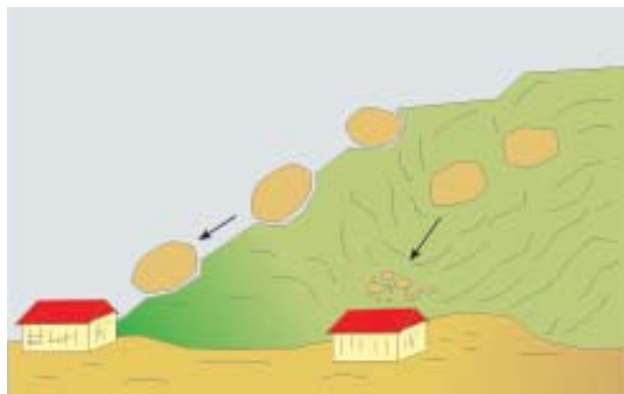


**Figura 14.158** – Exemplo de situação possível de ocorrer com frequência em terrenos graníticos, especialmente no caso dos granitos pós-tectônicos.

inclusive envolvendo rolamento de blocos e grandes matações.

- Granitos pré- e sintectônicos costumam conter alta proporção de minerais micáceos e apresentam mineralo-





**Figuras 14.159 e 14.160** – Blocos e matacões podem rolar com facilidade, se expostos em taludes de corte e em encostas com declives um pouco mais acentuados. Por isso, não se deve construir no sopé dessas encostas, como verificado nos terrenos graníticos da região do Vale do Ribeira (PR).



**Figuras 14.161 e 14.162** – Granitos da região do Vale do Ribeira (PR). O espaçamento entre as fraturas pode variar de poucos centímetros a centenas de metros. É por essas fendas que as águas das chuvas se infiltram, se armazenam e vão alterando progressivamente as rochas graníticas, possibilitando que blocos e matacões vão se isolando em meio aos solos.

gia diferentemente deformada e estirada segundo uma direção preferencial, principalmente nas bordas dos maciços (Figura 14.163). Nesse caso, apresentam grande anisotropia geomecânica e hidráulica local; as bandas micáceas isorientadas formam superfícies planares que facilitam a percolação de fluidos, os processos intempéricos, as desestabilizações em taludes de corte e os processos erosivos, principalmente no caso de os granitos se encontrarem parcialmente alterados (Figura 14.164).

- Como particularidades geotécnicas positivas, salienta-se que os granitos pós-tectônicos apresentam textura granular isotrópica (Figura 14.165), com boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral e vertical; alto grau de coesão e alta capacidade de suporte.

Tais particularidades, aliadas à baixa porosidade primária das rochas graníticas, fazem com que, dentre os granitos, os tipos pós-tectônicos sejam os que apresentem maior resistência à compressão e ao intemperismo físico-químico. Por isso, são excelentes para obtenção de brita e como rochas de fundação.

## Frente à agricultura

Nas decisões de planejamento, visando ao aproveitamento agrícola desse geossistema, é importante considerar que:

- Independentemente da origem tectônica, todas as rochas graníticas se alteram para solos com alto teor de argila. O aspecto positivo dessa característica é que os solos residuais de todos os maciços são bastante porosos e apresentam boa capacidade de reter elementos. Conseqüentemente, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes, assimilam bem matéria orgânica e apresentam boa capacidade hídrica, ou seja, armazenam bastante água e, por isso, mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo dos períodos secos.

- A fertilidade natural dos solos graníticos é variável (Figuras 14.166 e 14.167). Como são rochas à base de feldspatos, que podem ser sódicos ou potássicos, os solos podem ser ricos nesses elementos, mas, pobres em outros. A fertilidade natural é bastante melhorada em razão da par-



**Figura 14.163** – Exemplar de granito pré-tectônico com a mineralogia fortemente e diferentemente deformada e estirada segundo uma direção preferencial. Isso é indicativo de que o granito se cristalizou ou se recrystalizou sob condições de elevadas temperaturas e pressões.



**Figura 14.164** – Voçoroca desenvolvida paralelamente à foliação mineral de granito parcialmente alterado da região metropolitana de Curitiba (PR). Se as águas das chuvas escorrem paralelamente à foliação mineral de um granito deformado, podem se formar erosões tão grandes quanto as que se formam nas áreas arenosas.



**Figura 14.165** – Exemplar de um granito pós-tectônico com textura isotrópica, ou seja, sem orientação mineral e com boa homogeneidade textural lateral e vertical (Granito Galvão, ES).



**Figura 14.166** – Solo residual de um granito pós-tectônico do Vale do Ribeira (PR), sem minerais ferromagnesianos, o que o classifica como um solo de muito baixa fertilidade natural.



**Figura 14.167** – A porção inferior desse talude é um solo residual do Granito Três Córregos (Vale do Ribeira, PR), que contém razoável proporção de minerais ferromagnesianos, portanto, bem mais fértil que o solo apresentado na figura anterior.

ticipação de minerais ferromagnesianos. No entanto, como estes são minerais secundários, no geral predominam solos com fertilidade que varia de baixa a moderada.

- Independentemente da origem e das variações composicionais, todos os granitos se alteram liberando muito alumínio para os solos. Por ser um mineral de baixa mobilidade, os solos residuais de granito geralmente apresentam acidez elevada. Os solos bem evoluídos podem apresentar excesso de alumínio, o que os torna difíceis de serem corrigidos.

- A erosividade natural dos solos graníticos é uma variável que depende bastante do grau de evolução pedogenética. A erosividade é bastante alta (Figura 14.164) nos solos pouco evoluídos, especialmente se forem residuais de granitóides com a mineralogia orientada, variando de moderada a baixa nos bem evoluídos. Já a erosividade induzida, depende da forma como são manejados, pois, independentemente do granito de origem e da evolução pedogenética, todos os solos derivados de granitos contêm alta proporção de argila em sua composição. Em razão disso, compactam-se e se impermeabilizam bastante se forem continuamente mecanizados com equipamentos pesados ou pisoteados por gado. Cargas elevadas contínuas sobre solos com alto teor de argila propiciam que se forme uma camada subsuperficial altamente compactada, endurecida e impermeabilizada, fenômeno conhecido como “pé-de-grade”. Quando chove, essa camada funciona como uma superfície de deslizamento da camada mais superficial, que, por ser mais porosa e permeável, encharca-se e é facilmente removida por erosão laminar.

Tais características permitem concluir que, no que se refere à erosividade e à qualidade química dos solos residuais de granitos, são variáveis que dependem bastante da composição dessas rochas e do grau de evolução pedogenética. Como são características não-restritivas, desde que os solos sejam devidamente corrigidos e manuseados e o relevo seja adequado, são terrenos que podem ser bem aproveitados para agricultura, especialmente para o cultivo de ciclo longo, como no caso das frutíferas (Figura 14.168).





**Figura 14.168** – Na região do Vale do Ribeira (PR), terrenos graníticos são intensamente aproveitados para o plantio de cítricos.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

Nas iniciativas para exploração de água subterrânea e/ou de qualquer forma de uso e ocupação com potencial poluidor sobre a área de definição desse geossistema, é importante considerar:

- As rochas graníticas apresentam baixa permeabilidade e baixa porosidade primárias, mas podem apresentar alta permeabilidade e porosidade secundárias, relacionadas à existência de falhas e fraturas abertas (Figuras 14.161 e 14.162) que costumam conter em densidades diferenciadas. Significa que são aquíferos fissurais (Figura 14.129). Nesses aquíferos, o potencial de exploração de água subterrânea é bastante irregular: depende do clima, da existência e da densidade de falhas e fraturas abertas, de elas estarem interligadas e de o poço cruzá-las. Por isso, mesmo nas regiões chuvosas, um poço pode dar boa vazão e outro, imediatamente ao lado, ser seco. Dentre os granitos, os tardi- e os pós-tectônicos são os que apresentam maior potencial de conterem fraturas abertas, principalmente nas bordas dos maciços (Figura 14.161).

- Devido ao bom potencial armazenador de água subterrânea em falhas e fraturas, nas regiões onde chove bastante durante uma época do ano, os terrenos graníticos, principalmente aqueles de relevo acidentado, costumam conter muitas nascentes de água que mantêm boa vazão o ano todo. Por isso, são áreas com boa disponibilidade hídrica superficial e importantes para a manutenção da regularidade da vazão dos cursos d'água.

- Quanto à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas desse geossistema, varia de baixa a muito alta, dependendo da espessura dos solos. Solos residuais de granitos, por conterem alto teor de argila, são pouco permeáveis e apresentam boa capacidade de reter e depurar poluentes. Portanto, nos locais em que são profundos

e bem evoluídos, a vulnerabilidade é baixa. Onde são rasos ou pouco evoluídos e onde as rochas graníticas afloram, a vulnerabilidade é muito alta. Os poluentes podem se infiltrar pelas falhas e fraturas, como também chegar rapidamente até às águas subterrâneas sem serem depurados (Figura 14.169).

### Frente ao potencial turístico

Pelo fato de as rochas graníticas serem compostas de minerais de moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico, os terrenos por elas sustentados geralmente se destacam por serem os relevos mais montanhosos de uma região, muitos dos quais de grande beleza paisagística (Figuras 14.170 e 14.171). Também são terrenos onde se encontram muitos cursos d'água correndo sobre o substrato rochoso ou entre blocos e matacões, formando belas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais (Figuras 14.172, 14.173 e 14.174). Além disso, o modo

de exploração de água subterrânea e/ou de qualquer forma de uso e ocupação com potencial poluidor sobre a área de definição desse geossistema, é importante considerar:



**Figura 14.169** – Exemplo de como os poluentes se infiltram em locais em que os solos graníticos são pouco espessos e as rochas afloram.



**Figura 14.170** – Ao fundo, destaca-se o relevo montanhoso sustentado pelo Granito Graciosa (região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.171** – A erosão diferencial dos granitos possibilita que se formem curiosas e belas esculturas naturais, a exemplo do Pico do Dedo-de-Deus, na serra dos Órgãos (Guapimirim, Teresópolis, RJ).



**Figuras 14.172 e 14.173** – Um rio, ao passar por um terreno granítico, geralmente forma belas corredeiras, a exemplo desse trecho em que o rio Ribeira de Iguape passa pelo granito Três Córregos (Vale do Ribeira, PR).

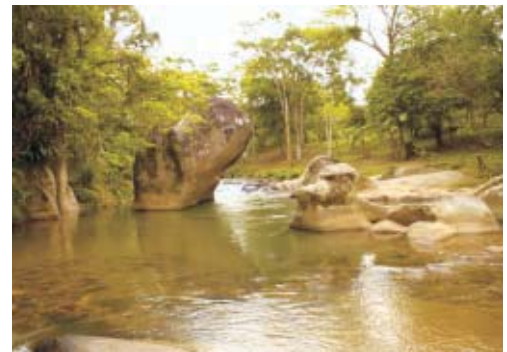
como se alteram possibilita que se formem bonitas e curiosas esculturas naturais (Figuras 14.171 e 14.175).

### Frente ao potencial mineral

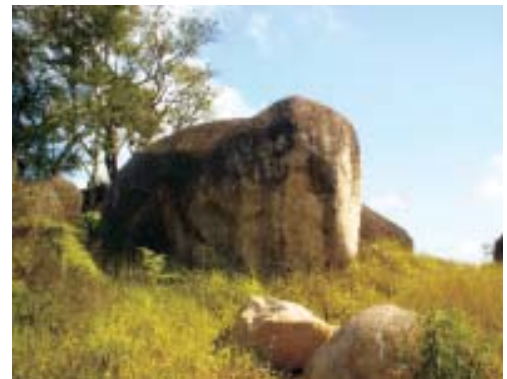
O magmatismo que deu origem aos diversos tipos de granitos foi de grande importância mineral para o Brasil, pois:

- São fontes excepcionais de vários tipos de rocha ornamental (Figuras 14.176 e 14.177), brita e pedra de cantaria.
- Os solos de alteração parcial dos granitos são bastante usados como saibro.
- Na região amazônica, há muitas ocorrências de granitos mineralizados em cassiterita (estanho), columbita-tantalita e topázio e metais raros (Zr, Nb, Ta, Y, ETR).

• Ao magmatismo que deu origem às rochas graníticas se associaram fluidos hidrotermais, muitos dos quais mineralizados em vários bens metálicos, especialmente cobre e ouro; muitos desses fluidos, por sua vez, deram origem a pegmatitos, importantes fontes de feldspatos, caulim e quartzo. Também há pegmatitos mineralizados em mica, berilo, minerais de lítio, tantalita, columbita, como em vários tipos de gemas.



**Figura 14.174** – Granito Itaóca (Vale do Ribeira, SP).



**Figura 14.175** – Pedra do Elefante (Granito Piedade, SP).





Figuras 14.176 e 14.177 – Lavras de granitos utilizados como rocha ornamental e pedra de cantaria (região metropolitana de Curitiba, PR).

## ROCHAS GNAISSE-MIGMATÍICAS (7)

Tais rochas sustentam grande parte do território brasileiro (Figura 14.178). Diferenciam-se por serem produtos de rochas muito antigas que sofreram os efeitos da superposição de vários episódios tectônicos sob condições de elevadas temperaturas e pressões. Por isso, ao longo de sua história evolutiva, fundiram-se, refundiram-se, foram penetradas por material magmático mais novo (Figuras 14.184, 14.185 e 14.186) e sofreram grande transporte tectônico em estado dúctil (estado subsólido). Por conseqüência, diferenciam-se por serem formadas

por uma mistura fundida de litologias das mais variadas idades, origens e características físico-químico-texturais (Figuras 14.179, 14.180 e 14.181). No Brasil, há rochas gnaiss-migmatíticas que são produtos da fusão total ou parcial de antigas rochas magmáticas, assim como há rochas que se derivaram da fusão de antigas seqüências sedimentares ou vulcanossedimentares. Por tal razão, a área de definição do geossistema 7 apresenta características peculiares em termos de adequabilidades e limitações ao uso e ocupação.

### Adequabilidades e limitações

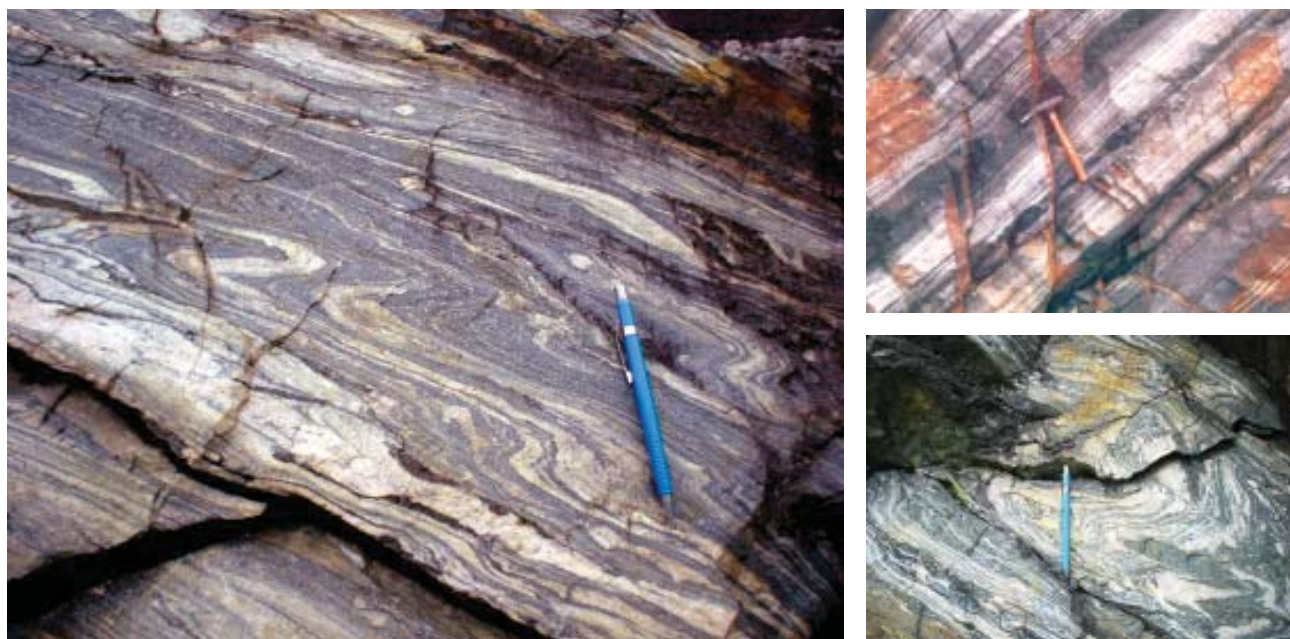
#### Frente à execução de obras

Como particularidades geotécnicas importantes decorrentes das características distintivas das rochas gnaiss-migmatíticas, extensivas a toda a área de definição desse geossistema, destacam-se:

- São rochas que apresentam grande anisotropia geomecânica e hidráulica lateral e vertical. A área de definição desse geossistema se diferencia por serem terrenos em que as características geotécnicas, tanto do substrato rochoso, como dos solos e relevo, variam e contrastam bastante de região para região e, na maior parte das vezes, de local para local (Figuras 14.179, 14.180 e 14.181).
- Geralmente, encontram-se bastante tectonizadas e, por isso, costumam ser portadoras de muitas descontinuidades geomecânicas e hidráulicas, relacionadas a planos de falhas, fraturas, à diferenciação litológica ou deformacional das bandas, ou, então, decorrentes da existência de bandas com concentrações diferenciadas de minerais micáceos isorientados (biotita). Tais descontinuidades facilitam a infiltração de água e fazem com que das rochas se soltem blocos com facilidade em taludes de corte (Figura 14.182).



Figura 14.178 – Terrenos sustentados por rochas gnaiss-migmatíticas (geossistema 7).



**Figuras 14.179, 14.180 e 14.181** – Exemplares de rochas gnaisse-migmatíticas. As porções mais escuras são ricas em minerais planares isorientados, geralmente biotita, e são vestígios de antigas rochas que sofreram fusão. As porções mais claras são mais novas, quartzo-feldspáticas e se originaram a partir de fluidos graníticos que se formaram durante o processo de fusão. Essa diferença faz com que sejam materiais que se alteram de forma diferenciada, apresentando características geomecânicas bastante contrastantes um dos outros (região do Vale do Ribeira, SP).

- São rochas que intemperizam de forma bastante diferenciada. Por isso, nos solos residuais dessas rochas e com pedogênese pouco desenvolvida, é possível encontrar restos de rochas com os mais variados graus de alteração. Isso facilita as desestabilizações em taludes de corte e o aparecimento de grandes processos erosivos nos locais em que as águas das chuvas se concentram sobre esses solos (Figuras 14.183, 14.184, 14.185 e 14.186).

- São rochas que podem conter bandas compostas de minerais que, no início do processo de alteração, transformam-se em argilominerais expansivos – minerais que sofrem o fenômeno da alternância dos estados de expansão e contração se expostos à oscilação dos estados úmido e seco. Esse fenômeno torna os solos portadores de argilominerais expansivos bastante erosivos e problemáticos para obras subterrâneas – com a variação climática, os solos expansivos trabalham, causando danos às obras.

- A profundidade do substrato rochoso dos terrenos gnaisse-migmatíticos costuma ser bastante irregular, variando em curtas distâncias e, por vezes, de local para local, de rasa a bastante profunda. Mesmo onde os solos são profundos, é grande a possibilidade de neles existirem mergulhados e aleatoriamente distribuídos blocos e matacões de rochas duras (Figura 14.185), o que pode complicar e en-

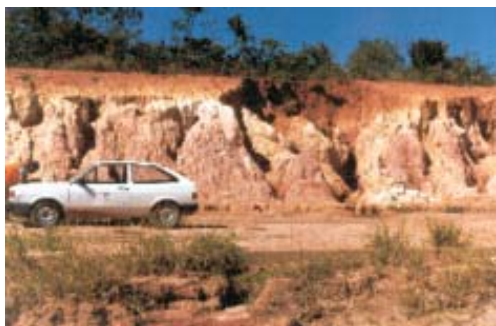
carecer bastante a execução de escavações e obras subterrâneas.

- Rochas gnaisse-migmatíticas se alteram para solos com alto teor de argila e, por isso, pouco permeáveis, moderadamente plásticos e de boa capacidade de compactação. Por outro lado, tornam-se bastante aderentes e pegajosos quando molhados; quando secos, entram facilmente em suspensão – formam muita poeira.

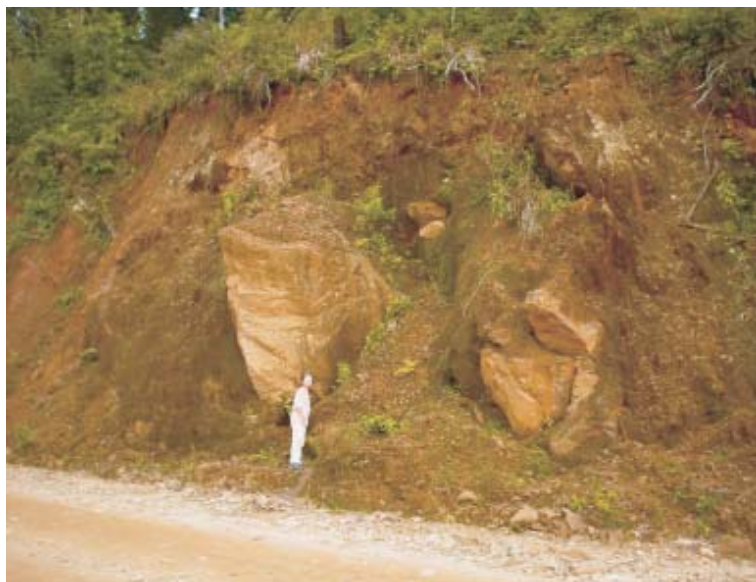


**Figura 14.182** – Talude de corte da Rodovia Régis Bittencourt (SP), sustentado por rochas gnáissicas com duas proeminentes superfícies planares que facilitam o desprendimento de blocos.

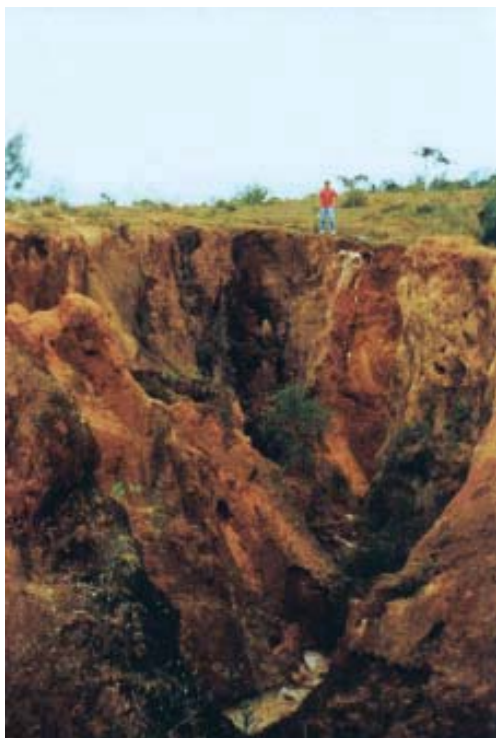




**Figura 14.183** – Focos erosivos induzidos pela exposição de rochas gnaiss-migmatíticas parciais e diferentemente alteradas para solos que ainda preservam a estruturação mineral ou são portadores de argilominerais expansivos (Rodovia Régis Bittencourt, região metropolitana de Curitiba, PR).



**Figura 14.185** – Solo residual de rochas migmatíticas, com evolução pedogenética diferenciada e contendo blocos e matacões de rochas duras, é comum na área de definição desse geossistema. Deve-se evitar sua exposição em taludes de corte, em caso de edificações, como também tomar cuidados para que as fundações das obras não se apoiem parcialmente sobre blocos e matacões, pois estes podem se movimentar e desestabilizar as construções.



**Figura 14.184** – Se as águas das chuvas se concentrarem e escorrerem paralelamente aos planos de foliação das rochas gnaiss-migmatíticas alteradas, pode haver a formação de processos erosivos tão grandes quanto os que se formam nos solos arenosos, a exemplo desse caso, na região metropolitana de Curitiba (PR).



**Figura 14.186** – Deslizamento em talude de corte nos terrenos gnaiss-migmatíticos, problema bastante freqüente na área de definição desse geossistema (município de Bocaiúva do Sul, PR).

- Por serem as rochas gnaiss-migmatíticas bastante tectonizadas e os solos residuais pouco permeáveis, na área de definição do geossistema predominam relevos bastante movimentados (Figuras 14.187 e 14.188), geralmente recortados por alta densidade de canais de drenagem. Conseqüentemente, são terrenos naturalmente susceptíveis a movimentos de massa, de alto potencial de erosão hídrica, com escoamento superficial rápido, sujei-

tos à formação de enxurradas de alto potencial destruidor de obras.

- Solos derivados de rochas gnaiss-migmatíticas, quando bem evoluídos, podem ser colapsíveis, ou seja, com a infiltração de fluidos sobre tensão sofrem rearranjo brusco de sua estrutura e perdem a capacidade de sustentação, o que implica trincamentos e outros sérios problemas às obras.



**Figura 14.187** – Uma das formas de relevo que ocorre com freqüência na área de definição desse geossistema. Nesse caso, trata-se de uma vertente côncava, feição que amplia bastante os potenciais erosivos e de movimentos de massa, uma vez que esta é uma zona onde se concentra a energia das águas superficiais e subsuperficiais.



**Figura 14.188** – Cicatrizes de erosão induzidas pelo desmatamento e pisoteamento do gado sobre solos residuais de rochas gnaiss-migmatíticas. É um problema bastante comum nas áreas de pastagens, principalmente onde tais rochas sustentam relevos acidentados. Focos erosivos como estes são fontes de alta carga de detritos que assoreiam e extinguem os cursos d'água. Além disso, em uma área tão declivosa como esta, o gado circula paralelamente às curvas de nível. Como as curvas são muito próximas uma das outras, a maior parte da superfície se transforma em caminhos altamente compactados e impermeabilizados. Nesses caminhos, as águas das chuvas não se infiltram e se concentram, formando enxurradas de alto potencial erosivo. Uma área como esta deveria ser isolada com cerca para que a mata se recupere.

Em razão das características retromencionadas, antes de se construir na área de definição desse geossistema, estudos geotécnicos detalhados, apoiados em amostragem de materiais coletados em malha pouco espaçada e de várias profundidades, devem ser realizados. Ensaios geotécnicos pontuais têm pouca representatividade lateral e vertical.

Em caso de arruamentos e parcelamento do solo para fins urbanos, deve-se evitar os modelos quadriculados. Os modelos adequados são aqueles com os traçados dos arruamentos concordantes às curvas de nível. Eles evitam a execução de cortes profundos, a concentração da energia das águas das chuvas e a eliminação das camadas superficiais do solo, que, por serem menos erosivas, funcionam como protetoras dos horizontes inferiores.

## Frente à agricultura

Como particularidades que influenciam bastante o potencial agrícola desse geossistema, destacam-se que rochas gnaissicas migmatíticas:

- Alteram-se para solos com elevado teor de argila. O aspecto positivo é que os solos residuais dessas rochas são pouco permeáveis, bastante porosos e, por isso, apresentam boa capacidade de reter elementos. Significa que, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes, assimilam bem a matéria orgânica, apresentam boa capacidade de armazenar água e, por isso, mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo dos períodos secos. Por outro lado, solos com altos teores de argila são altamente susceptíveis à compactação e à impermeabilização por cargas elevadas contínuas (Figura 14.189); quando secam muito, tornam-se bastante duros e, por serem pouco permeáveis, apresentam restrições ao uso de irrigação por aspersão.

- Alteram-se para solos com erosividade que, dependendo da evolução pedogenética e da forma com que os solos são manejados, varia de baixa a alta. A erosividade

natural é baixa nos solos bem evoluídos e muito alta nos pouco evoluídos; independentemente da evolução pedogenética, tornam-se bastante erosivos se forem continuamente mecanizados com maquinários pesados (Figura 14.189) ou pisoteados por gado. Nessas situações, compactam-se, impermeabilizam-se e podem erodir tanto quanto um solo arenoso.

- Alteram-se de forma bastante diferenciada e, por isso, os solos residuais, principalmente os pouco evoluídos, podem apresentar muitas diferenciações locais de características físico-químicas (Figura 14.190) e, conseqüentemente, de qualidade agrícola.



**Figura 14.189** – Cicatrizes de erosão induzidas pelo uso contínuo de maquinários pesados sobre solos argilosos residuais de migmatitos (região metropolitana de Curitiba, PR).





**Figura 14.190** – Solo residual de um migmatito paraderivado, ou seja, produto da fusão parcial de uma seqüência vulcanossedimentar. As diferentes colorações são resultantes das variações composicionais dos materiais que compõem esse tipo de migmatito. As características físico-químicas são bem diferentes para cada um desses materiais, o que faz com que a qualidade agrícola dos solos varie bastante de local para local, de muito boa a muito ruim. As bandas de cor avermelhada são associadas a rochas ricas em minerais ferromagnesianos que liberam vários nutrientes; as esbranquiçadas, a rochas graníticas, pobres em nutrientes; as amareladas, a rochas calciossilicáticas, que liberam bastante cálcio.

- A mineralogia das rochas gnaiss-migmatíticas é rica em minerais que liberam alumínio durante o intemperismo, razão pela qual os solos residuais, principalmente quando são pedogeneticamente bem evoluídos, podem conter excesso desse elemento tóxico às plantas.

As características retomadas permitem concluir que a influência das rochas gnaiss-migmatíticas no potencial agrícola desse geossistema é mais positiva que negativa. Portanto, desde que o relevo seja adequado e os solos bem manejados, são terrenos que podem ser bem aproveitados para a agricultura.

### Frente aos recursos hídricos e à implantação de fontes poluidoras

Nas iniciativas para exploração de água subterrânea e superficial e para locação de fontes com potencial poluidor sobre esse geossistema, deve-se considerar que:

- Nas rochas gnaiss-migmatíticas, as águas das chuvas se infiltram e se armazenam em falhas, fraturas e outras discontinuidades estruturais. São, portanto, aquíferos fissurais (Figura 14.129). Nesse tipo de aquífero, o potencial de exploração de águas subterrâneas é bastante irregular, dependendo das condições climáticas da região, da existência e da densidade das falhas e fraturas abertas e

de elas estarem interligadas. Sendo assim, mesmo nas regiões chuvosas, um poço pode apresentar excelente vazão em um local e um outro, imediatamente ao lado, ser seco. É importante salientar que o material de alteração parcial das rochas gnaiss-migmatíticas pode se constituir em um bom aquífero superficial, pois apresenta bom potencial armazenador e circulador de água.

- São rochas de baixa permeabilidade primária, que se alteram para solos com alto teor de argila, portanto, também pouco permeáveis. Significa que a área de definição desse geossistema é um ambiente naturalmente pouco permeável. Em razão disso, predominam terrenos bastante movimentados, geralmente recortados por alta densidade de canais de drenagem (Figura 14.191) e com o escoamento superficial rápido. Significa que, quando chove, pouca água se infiltra no subsolo. A maior parte escorre rapidamente para os canais de drenagem, formando enxurradas de alto potencial erosivo. São, portanto, ambientes desfavoráveis a que as águas subterrâneas sejam recarregadas. Por isso, contêm poucas nascentes e a vazão dos cursos de água sofre grandes e bruscas oscilações com as mudanças climáticas – quando chove, sobe bastante e rapidamente; quando a chuva cessa, abaixa também bastante e muito rapidamente. Em razão disso, são terrenos com os quais se deve ter uma preocupação especial, para não impermeabilizá-los e não desmatá-los excessivamente – a cobertura vegetal tem um papel importantíssimo para aumentar o tempo de retenção das

ações com as mudanças climáticas – quando chove, sobe bastante e rapidamente; quando a chuva cessa, abaixa também bastante e muito rapidamente. Em razão disso, são terrenos com os quais se deve ter uma preocupação especial, para não impermeabilizá-los e não desmatá-los excessivamente – a cobertura vegetal tem um papel importantíssimo para aumentar o tempo de retenção das



**Figura 14.191** – Em razão da baixa permeabilidade primária das rochas gnaiss-migmatíticas, dos solos residuais e intenso tectonismo a que foram submetidas, a maior parte dos terrenos por elas sustentados se caracteriza pelo relevo bastante movimentado, geralmente montanhoso, a exemplo dessa paisagem do Vale do Ribeira (SP). Mesmo as áreas de relevo suavizado, geralmente, são portadoras de alta densidade de canais de drenagem.

águas das chuvas, para melhorar o potencial de infiltração e minimizar os problemas decorrentes do escoamento superficial rápido.

- Quanto à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, varia de baixa a alta. Nas áreas onde os solos são profundos, o risco de as águas subterrâneas serem contaminadas por fontes superficiais é baixo, uma vez que as rochas gnaiss-migmatíticas se alteram para solos com alto teor de argila e, por isso, não são muito permeáveis, apresentando boa capacidade de reter e depurar poluentes. Já onde os solos são rasos e onde as rochas afloram, o risco de contaminação é alto. Pelas falhas e fraturas que tais rochas costumam conter em alta densidade, poluentes podem se infiltrar e alcançar rapidamente as águas subterrâneas sem serem depurados.

### Frente ao potencial turístico

Pelo fato de as rochas gnaiss-migmatíticas se alterarem de forma bastante diferenciada e em razão do intenso tectonismo a que foram submetidas, nesse geossistema ocorrem os mais variados tipos de paisagens, muitas das quais de grande beleza cênica, a exemplo de toda a faixa costeira brasileira, onde se encontram espetaculares formas de relevo, bem como muitos rios correndo sobre o substrato rochoso formando belas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais (Figuras 14.192 e 14.193).

### Frente aos recursos minerais

No que se refere ao potencial metalogênico, os processos de fusão a que foram submetidas e os processos erosivos que atuaram ao longo da história evolutiva das rochas gnaiss-migmatíticas atuaram mais no sentido de dispersar do que concentrar elementos metálicos. Portanto, são terrenos de baixo potencial metalogênico.

Quanto ao potencial para não-metálicos, dentre as rochas gnaiss-migmatíticas existem tipos com qualidades físico-químicas favoráveis à exploração para agregados, pedra de cantaria e rocha ornamental.

## BIBLIOGRAFIA

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M. et al. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p. il. DVD anexo.



**Figura 14.192** – A maior parte da magnífica paisagem do Rio de Janeiro e do belo relevo montanhoso da faixa costeira do Brasil são sustentados por rochas gnaiss-migmatíticas. No Rio de Janeiro, morros como os do Pão de Açúcar e do Corcovado, dentre outros, são sustentados por gnaisses paraderivados, ou seja, resultantes da fusão de seqüências sedimentares ou vulcanosedimentares muito antigas, que sofreram fusão e se transformaram em magmas, que se cristalizaram e se transformaram em gnaiss. Por serem os gnaisses mais resistentes ao intemperismo do que as rochas circunvizinhas, estes se encontram mais preservados. A diferença de resistência ao intemperismo entre essas rochas possibilitou a formação desse belo cenário.



**Figura 14.193** – Um rio encachoeirado, associado aos terrenos gnaiss-migmatíticos do Vale do Ribeira (SP).

CPRM. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2006. 68 p. CD-ROM.

LACERDA FILHO, J. V. de; BRITO, R. S. C. de; SILVA, M. da G. da; OLIVEIRA, C. C. de MORETON, L. C.; MARTINS, E. G.; LOPES, R. da C.; LIMA, T. M.; LARIZZATTI, J. H. de;



VALENTE, C. R. *Geologia e recursos minerais do estado do Mato Grosso do Sul*. 1:1.000.000. Campo Grande: CPRM/SGB, 2006.

SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S. et al. *Carta geológica do Brasil ao milionésimo*: sistema de informações geográficas (SIG) e 46 folhas na escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM/SGB, 2004. 41 CD-ROMs.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. *Projeto Curitiba*: informações básicas sobre o meio físico – subsídios para o planejamento territorial, folha Curitiba 1:100.000. Curitiba: CPRM/SGB, 1994. 109 p. Convênio CPRM/COMEC.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. *Projeto Curitiba*: atlas geoambiental da região metropolitana de Curitiba – subsídios para o

planejamento territorial. 1:150.000. São Paulo: CPRM/SGB, 1999. 48 p.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G. *Projeto Mogi-Guaçu-Pardo*: zoneamento geoambiental do médio Pardo – subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. 1:100.000. São Paulo: CPRM/SGB, 1999. 69 p. Convênio CPRM/SEMA-SP.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. *Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo-SP*: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. 1:350.000. São Paulo: CPRM/SGB, 2002. CD-ROM. Convênio CPRM/SEMA-SP.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G. *Atlas geoambiental*: subsídios ao planejamento territorial e à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape. 1:250.000. São Paulo: CPRM/SGB, 2005, 91 p. Convênio CPRM/UNICAMP/IAL/FAPESP.



#### **ANTONIO THEODOROVICZ**

Geólogo formado (1977) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialização em Geologia Ambiental (CPRM/1990). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) – Superintendência Regional de Porto Velho (SUREG/PV) em 1978. Desde 1982 atua na Superintendência Regional de São Paulo (CPRM-SUREG/SP). Executou e chefiou vários projetos de mapeamento geológico, prospecção mineral e metalogenia em diversas escalas nas regiões Amazônica, Sul e Sudeste. Desde 1990 atua como supervisor/executor de vários estudos geoambientais, para os quais concebeu uma metodologia, também adaptada e aplicada na geração dos mapas Geodiversidade do Brasil e estaduais. Atualmente, também é coordenador regional do Projeto Geoparques da CPRM/SGB, ministrando treinamentos de campo para caracterização do meio físico para fins de planejamento e gestão ambiental, para equipes da CPRM/SGB e de países da América do Sul.



#### **ANGELA MARIA DE GODOY THEODOROVICZ**

Geóloga formada (1977) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialização em Geologia Ambiental (CPRM/1990). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) – Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP) em 1978. Atuou em diversos projetos de Mapeamento Geológico Básico, Pesquisa Mineral para Não-Metálicos, Metalogenia e Planejamento Minerário. De 1980 a 1981, trabalhou na Superintendência Regional de Porto Velho (CPRM-SUREG/PV), em projetos de Metalogenia e Prospecção de Carvão. Desde 1990 atua na área de Estudo do Meio Físico para o Planejamento do Uso e Ocupação do Solo, como executora e chefe de projetos na SUREG/SP. A partir de 2006 passou a integrar a equipe do Projeto Geodiversidade do Brasil.