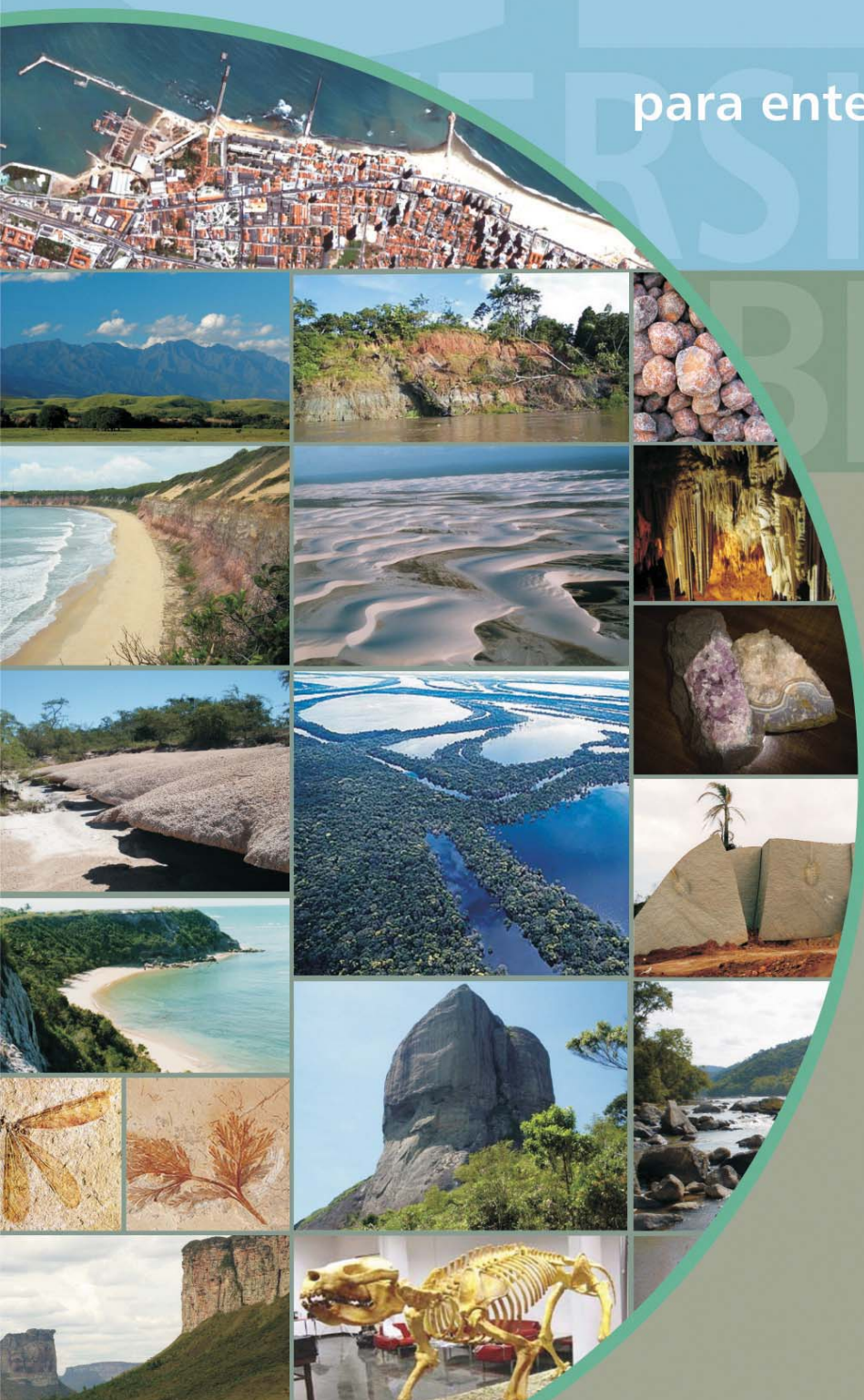


GEODIVERSIDADE DO BRASIL

Conhecer o passado
para entender o presente
e prever o futuro

EDITOR
Cassio Roberto da Silva



GEODIVERSIDADE DO BRASIL

Conhecer o passado,
para entender o presente e prever o futuro



GEODIVERSIDADE DO BRASIL

Conhecer o passado,
para entender o presente e prever o futuro

EDITOR

Cassio Roberto da Silva

Geólogo, MSc,
Departamento de Gestão Territorial
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Rio de Janeiro, Brasil

2008

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

APRESENTAÇÃO

O Ministério de Minas e Energia (MME), por intermédio da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, tem a satisfação de entregar à sociedade brasileira o livro ***GEODIVERSIDADE DO BRASIL: Conhecer o Passado, para Entender o Presente e Prever o Futuro***. Com a elaboração desta coletânea, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) objetiva oferecer aos diversos segmentos da sociedade uma tradução do conhecimento geológico-científico, com vistas à sua aplicação ao uso adequado do território.

Mais do que um lançamento, este produto representa passo fundamental no esforço para a consolidação definitiva, tanto internamente, quanto no seio da sociedade, do conceito de geodiversidade, que veio para estabelecer protocolo facilitador de comunicação com os vários setores de governo, mediante abordagem integrada do meio físico terrestre, considerando-se aspectos dos recursos existentes, como uma contribuição a ser levada em conta no planejamento do ordenamento territorial sustentável.

Em termos de topologia das informações e comunicação, buscou-se utilizar uma linguagem ao mesmo tempo precisa (porém sem se aprofundar em demasia nos conceitos técnico-científicos) e de compreensão universal, entendendo-se que o público-alvo a que esta obra se destina é muito variado. Em suma, o objetivo é popularizar a geodiversidade, mostrando suas múltiplas aplicações em vários setores sociais, ambientais e econômicos.

As abordagens, nos 14 capítulos subseqüentes, vão desde a origem e a evolução do planeta Terra até os dias atuais, juntamente com a evolução, aparecimento e extinção de espécies ao longo do tempo geológico, utilizando-se os estudos paleontológicos. Atenção especial é dada à água, substância vital para a vida, e às imensas riquezas minerais, tanto no continente, quanto no fundo marinho.

Mostra-se, também, a imensa fragilidade do meio físico, em relação às áreas costeiras, as características e aplicações dos solos tropicais, o potencial do patrimônio geológico para o geoturismo e a geoconservação. São apresentados, de forma sucinta, os riscos relativos ao deslizamento de encostas, inundações, tremores de terra e desertificação (arenização), o uso imprescindível da geodiversidade para entendermos melhor as mudanças climáticas globais, empregando-se abordagem humanística e a aplicação desses conhecimentos em várias áreas e setores produtivos.

No último capítulo, apresentam-se, de forma sintética, os grandes geossistemas formadores do território nacional, suas limitações e potencialidades, considerando-se a constituição litológica da supra e da infra-estrutura geológica. São abordadas, também, as características geotécnicas, as coberturas de solos, a migração, acumulação e disponibilidade de recursos hídricos, as vulnerabilidades e capacidades de suportes à implantação das diversas atividades antrópicas dependentes dos fatores geológicos e a disponibilidade de recursos minerais essenciais para o desenvolvimento econômico-social do país. No final do livro é apresentado em CD-ROM em 74 painéis, a história da origem e evolução do planeta Terra, dos primórdios aos dias de hoje.

Temos certeza de que este livro será extremamente utilizado por todos que entendem o conhecimento geológico para além de sua reconhecida dimensão econômica, isto é, em suas dimensões social e ambiental, sejam eles estudantes, professores, profissionais das mais diversas áreas, empresas e, muito especialmente, gestores públicos.

Por meio da geodiversidade, facilita-se, enormemente, a inserção da geologia nas políticas públicas governamentais como fator de melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Rio de Janeiro, dezembro de 2008

Agamenon Sergio Lucas Dantas

Diretor-Presidente

CPRM/Serviço Geológico do Brasil

PREFÁCIO

Ao subtítulo do presente livro – ***Conhecer o Passado, para Entender o Presente e Prever o Futuro*** –, poderíamos acrescentar: “... da Humanidade”, dada a importância que o conhecimento da geodiversidade vem ganhando nas últimas décadas.

As intervenções inadequadas no meio físico têm acarretado sérios problemas, tanto para a nossa qualidade de vida, como para o meio ambiente. Somos totalmente dependentes das características geológicas dos ambientes naturais, ou seja, da geodiversidade, na medida em que dela extraímos as matérias-primas vitais (minerais, água, alimentos etc.) para a nossa sobrevivência e desenvolvimento social. É necessário, assim, conhecer e entender todos os seus significados, já que, uma vez modificados, removidos ou destruídos, quase sempre os aspectos da geodiversidade sofrerão mudanças irreversíveis.

Devido à íntima relação entre os componentes do meio físico – geodiversidade –, ao fornecer suporte ao desenvolvimento dos componentes bióticos (biodiversidade), deve-se encarar de maneira sistêmica as relações de estabilidade entre esses dois grandes componentes ambientais.

Nos últimos tempos, veio a se ter compreensão de que as relações mantidas entre o homem (meio social) e a natureza, em seus aspectos culturais e econômicos, devem estar inseridas nas análises ambientais.

Entende-se que, ao efetuarmos intervenções no território, devemos adotar uma visão a mais abrangente possível, integrando a geodiversidade (meio físico), a biodiversidade, as questões sociais, culturais e econômicas.

Essas preocupações ocorrem em nível mundial. Nesse sentido, a União Internacional de Ciências Geológicas (International Union of Geological Science – IUGS), a qual congrega centenas de serviços geológicos e milhares de profissionais das Ciências da Terra, juntamente com a UNESCO-ONU, estabeleceu 2008 como o Ano Internacional do Planeta Terra (International Year Earth Planet). As atividades de comemorações iniciaram em janeiro de 2007 e se estenderão até dezembro de 2009, tendo como objetivo principal a contribuição das Ciências da Terra na busca do desenvolvimento sustentável.

Assim, vislumbra-se que a geodiversidade terá um papel fundamental no mundo, ao atuar na prevenção de desastres naturais, mudanças climáticas, qualidade alimentar e disponibilidade de água potável (monitoramento geoquímico), fornecimento de energia tradicional e alternativa, bens minerais a custos menores, constituindo-se, ainda, em instrumento indispensável para a definição e implantação de políticas públicas para os governos federal, estaduais e municipais.

Rio de Janeiro, dezembro de 2008

José Ribeiro Mendes

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
CPRM/Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

1. COMEÇO DE TUDO	11
Cassio Roberto da Silva, Maria Angélica Barreto Ramos, Augusto José Pedreira, Marcelo Eduardo Dantas	
2. EVOLUÇÃO DA VIDA	21
Marise Sardenberg Salgado de Carvalho, Norma Maria da Costa Cruz	
3. ORIGEM DAS PAISAGENS	33
Marcelo Eduardo Dantas, Regina Célia Gimenez Armesto, Amílcar Adamy	
4. ÁGUA É VIDA	57
Frederico Cláudio Peixinho, Fernando A. C. Feitosa	
5. RECURSOS MINERAIS DO MAR	65
Luiz Roberto Silva Martins, Kaiser Gonçalves de Souza	
6. REGIÕES COSTEIRAS	89
Ricardo de Lima Brandão	
7. RIQUEZAS MINERAIS	99
Vitório Orlandi Filho, Valter José Marques, Magda Chambriard, Kátia da Silva Duarte, Glória M. dos S. Marins, Cintia Itokazu Coutinho, Luciene Ferreira Pedrosa, Marianna Vieira Marques Vargas, Aramis J. Pereira Gomes, Paulo Roberto Cruz	
8. SOLOS TROPICAIS	121
Edgar Shinzato, Amaury Carvalho Filho, Wenceslau Geraldes Teixeira	
9. RISCOS GEOLÓGICOS	135
Pedro A. dos S. Pfaltzgraff, Rogério V. Ferreira, Maria Adelaide Mansini Maia, Rafael Fernandes Bueno, Fernanda S. F. de Miranda	
10. PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: TURISMO SUSTENTÁVEL	147
Marcos Antonio Leite do Nascimento, Carlos Schobbenhaus, Antonio Ivo de Menezes Medina	
11. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	163
Maria Angélica Barreto Ramos, Samuel Viana, Elias Bernard do Espírito Santo	
12. ECOLOGIA HUMANA NA GEODIVERSIDADE	175
Suely Serfaty-Marques	
13. APLICAÇÕES MÚLTIPLAS DO CONHECIMENTO DA GEODIVERSIDADE	181
Cassio Roberto da Silva, Valter José Marques, Marcelo Eduardo Dantas, Edgar Shinzato	
14. GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES E LIMITAÇÕES AO USO E OCUPAÇÃO	203
Antonio Theodorovicz, Ângela Maria de Godoy Theodorovicz	
ANEXO – DE VOLTA PARA O FUTURO: UMA VIAGEM PELO TEMPO GEOLÓGICO (CD-ROM)	263
Sergio Kleinfelder Rodriguez	

1

COMEÇO DE TUDO

Cassio Roberto da Silva (cassio@rj.cprm.gov.br)
Maria Angélica Barreto Ramos (mabr@sa.cprm.gov.br)
Augusto José Pedreira (pedreira@sa.cprm.gov.br)
Marcelo Eduardo Dantas (mdantas@rj.cprm.gov.br)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Geodiversidade e Origem da Terra	12
Meio Ambiente	14
Origem, Processos e Evolução da Geodiversidade no Território Brasileiro	15
Bibliografia	19

GEODIVERSIDADE E ORIGEM DA TERRA

O conceito de geodiversidade é relativamente novo. Sua utilização se inicia a partir dos anos de 1990, consolidando-se ao longo dos últimos anos dessa década. Na literatura internacional, a geodiversidade tem sido aplicada com maior ênfase aos estudos de geoconservação. Nesse sentido, destacam-se os estudos destinados à preservação do patrimônio natural, tais como monumentos geológicos, paisagens naturais, sítios paleontológicos etc.

Eberhard (1997) introduz o conceito de geodiversidade com esse viés, definindo-o como “a diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos”. Cada cenário da diversidade natural (ou paisagem natural) estaria em constante dinâmica por meio da atuação de processos de natureza geológica, biológica, hidrológica e atmosférica. Gray (2004) concebe uma definição bastante similar; todavia, estende sua aplicação aos estudos de planejamento territorial, ainda que com ênfase destinada à geoconservação.

Stanley (2001) já apresenta uma concepção mais ampla para o termo “geodiversidade”, em que as paisagens naturais, entendidas como a variedade de ambientes e processos geológicos, estariam relacionadas a seu povo e a sua cultura. Desse modo, o autor estabelece uma interação entre a diversidade natural dos terrenos (compreendida como uma combinação de rochas, minerais, relevo e solos) e a sociedade, em uma aproximação com o clássico conceito lablacheano de “gênero de vida”.

No Brasil, o conceito de geodiversidade é desenvolvido praticamente de forma simultânea a outros países, porém, ressaltando-se, aqui, um caráter mais aplicado ao planejamento territorial, ainda que os estudos voltados para a geoconservação não sejam desconsiderados. Xavier da Silva e Carvalho Filho (2001) definem geodiversidade a partir da “variabilidade das características ambientais de uma determinada área geográfica”, cabendo ao pesquisador, com base em um estudo sistemático de enorme massa de dados ambientais disponíveis em base de dados georreferenciada, a seleção das variáveis que melhor determinam a geodiversidade em cada local.

Veiga (1999), por sua vez, enfatiza o estudo das águas superficiais e subterrâneas nos estudos de geodiversidade. Para o autor, a geodiversidade “expressa as particularidades do meio físico, compreendendo as rochas, o relevo, o clima, os solos e as águas, subterrâneas e superficiais, e condiciona a morfologia da paisagem e a diversidade biológica e cultural”. O estudo da geodiversidade é, em sua opinião, uma ferramenta imprescindível de gestão ambiental e norteador das atividades econômicas.

Com base nessas proposições, a CPRM (2006) define geodiversidade como:

“O estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvol-

vimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico.”

A biodiversidade está assentada sobre a geodiversidade e, por conseguinte, é dependente direta desta, pois as rochas, quando intemperizadas, juntamente com o relevo e clima, contribuem para a formação dos solos, disponibilizando, assim, nutrientes e micronutrientes, os quais são absorvidos pelas plantas, sustentando e desenvolvendo a vida no planeta Terra.

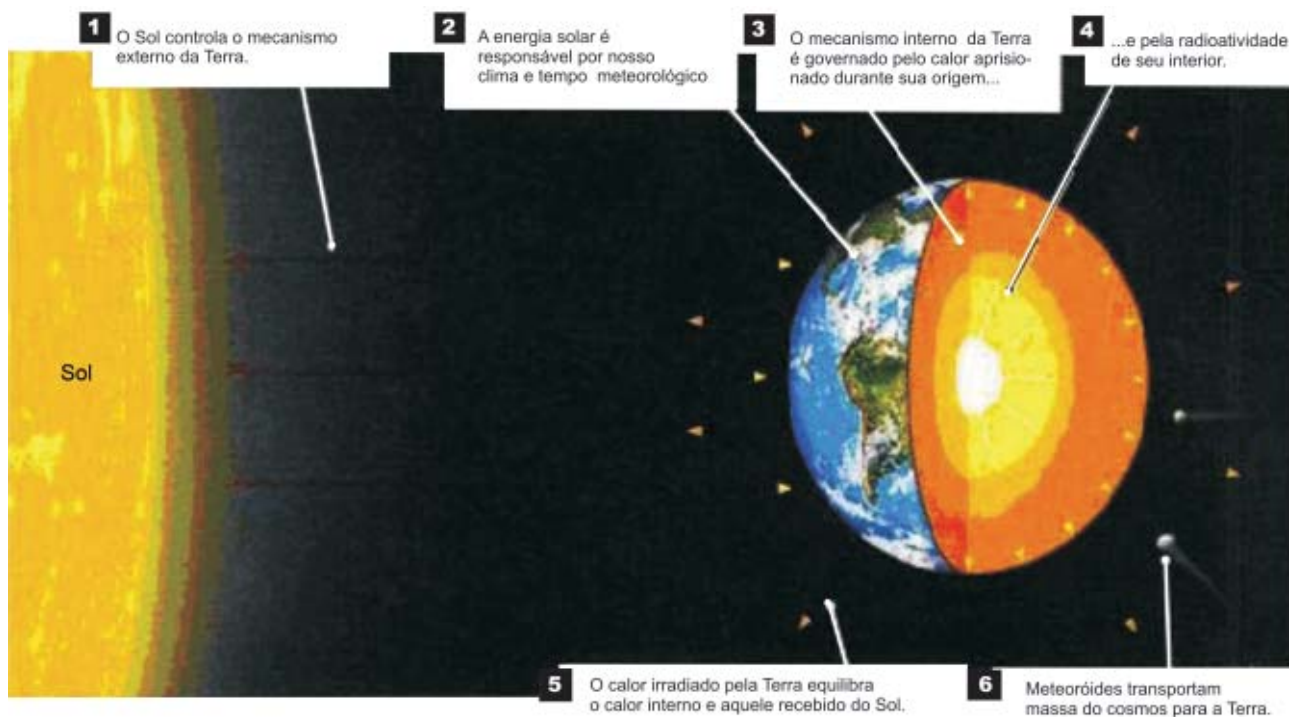
Em síntese, pode-se considerar que o conceito de geodiversidade abrange a porção abiótica do geossistema (o qual é constituído pelo tripé que envolve a análise integrada de fatores abióticos, bióticos e antrópicos). Esse reducionismo permite, entretanto, ressaltar os fenômenos geológicos em estudos integrados de gestão ambiental e planejamento territorial.

A Terra é um sistema vivo que abriga milhões de organismos, incluindo os humanos, e apresenta delicado equilíbrio para manter a vida. Como a geologia é a ciência que estuda a Terra – origem, composição, evolução e funcionamento –, o conhecimento daí advindo poderá contribuir para desenvolver e preservar os habitats que o planeta abriga.

A origem do universo, assim como a do planeta Terra, remonta a bilhões de anos. Atualmente, segundo Press et al. (2006), a explicação científica mais aceita é a teoria da Grande Explosão (“Big Bang”), a qual considera que o universo começou entre 13 e 14 bilhões de anos atrás, a partir de uma “explosão” cósmica. Os astrônomos entendem que, a partir desse evento, o universo expandiu-se e dividiu-se para formar as galáxias e as estrelas. Os geólogos ainda analisam os últimos 4,5 bilhões de anos dessa vasta expansão, um tempo durante o qual nosso sistema solar, estrela que nós chamamos de Sol, e os planetas que em torno dela orbitam, formaram-se e evoluíram. Os geólogos estudam a origem do sistema solar para entender a formação da Terra.

Embora a Terra tenha se esfriado após um período incandescente, ela continua um planeta inquieto, mudando continuamente por meio das atividades geológicas, tais como terremotos, vulcões e glaciações. Essas atividades são governadas por dois mecanismos térmicos: um interno e outro externo. Mecanismos como, por exemplo, o motor a gasolina de um automóvel, que transforma calor em movimento mecânico ou trabalho. O mecanismo interno da Terra é governado pela energia térmica aprisionada durante a origem cataclísmica do planeta e gerada pela radioatividade em seus níveis mais profundos. O calor interior controla os movimentos no manto e no núcleo, suprimindo energia para fundir rochas, mover continentes e soerguer montanhas. O mecanismo externo da Terra é controlado pela energia solar (calor da superfície terrestre proveniente do Sol). O calor do Sol energiza a atmosfera e os oceanos, sendo responsável pelo clima e condições meteorológicas. Chuva, vento e gelo erodem montanhas e modelam a paisagem, sendo que esse relevo da superfície da Terra é capaz de provocar mudanças climáticas (Figura 1.1).

A TERRA É UM SISTEMA ABERTO QUE TROCA ENERGIA E MASSA COM O SEU ENTORNO



O SISTEMA TERRA É CONSTITUÍDO POR TODAS AS PARTES DE NOSSO PLANETA E SUAS INTERAÇÕES

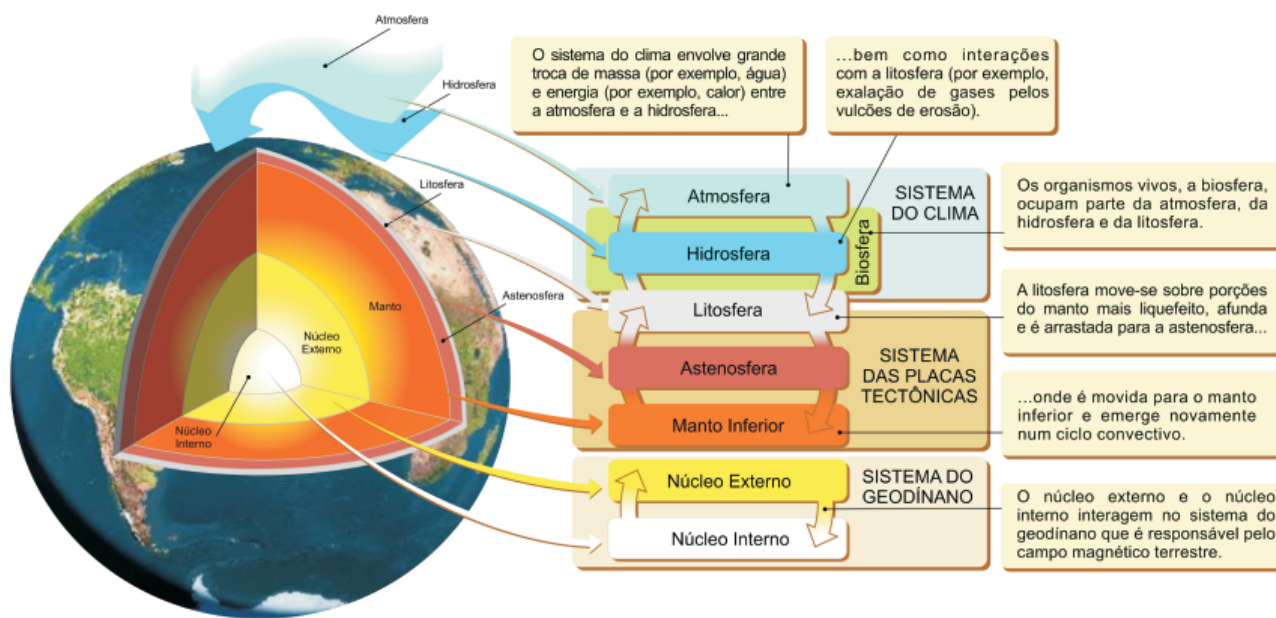


Figura 1.1 – Principais componentes e subsistemas do sistema Terra. As interações entre os componentes são governadas pelas energias do Sol e do interior do planeta e organizadas em três geossistemas globais: os sistemas do clima, das placas tectônicas e do geodínamo (modificado de Press et al., 2006).

Todas as partes do planeta e suas interações constituem o Sistema Terra. Embora os cientistas que estudam a Terra (ou geocientistas) pensassem, já há algum tempo, em termos de sistemas naturais, foi apenas nas últimas décadas do século XX que eles passaram a dispor de equipamentos adequados para investigar como o Sistema Terra realmente funciona. Dentre os principais avanços, estão as redes de instrumentos e satélites orbitais de coleta de informações em escala global e o uso de computadores com capacidade suficiente para calcular a massa e a energia transferidas dentro do Sistema Terra (PRESS et al., 2006).

Os principais componentes do Sistema Terra são: (i) internos (energizados pelo calor interno da Terra): litosfera, astenosfera, manto inferior, núcleo externo e núcleo interno; (ii) externos (energizados pela energia solar): atmosfera, hidrosfera e biosfera.

Embora pensemos a Terra como sendo um único sistema, é um desafio estudá-la por inteiro, de uma só vez. Ao invés disso, se focarmos nossa atenção em partes do sistema, estaremos avançando em seu entendimento. Por exemplo, nas discussões sobre mudanças climáticas recentes, consideram-se primeiramente as interações entre atmosfera, hidrosfera e biosfera, as quais são controladas pela energia solar. A abordagem sobre a formação dos continentes focaliza as interações entre a crosta e as porções mais profundas do manto, que são controladas pela energia interna da Terra.

Os subsistemas específicos que encerram elementos característicos da dinâmica terrestre são denominados geossistemas (PRESS et al., 2006). O Sistema Terra pode ser pensado como uma coleção desses geossistemas abertos e interativos (que, freqüentemente, se sobrepõem). Os geossistemas que operam em escala global são: clima, placas tectônicas e geodínamo (esse último é responsável pelo campo magnético terrestre) (Figura 1.1).

A Terra é quimicamente zoneada: sua crosta, manto e núcleo são camadas quimicamente distintas que se segregaram desde a origem do planeta. A Terra é também zoneada pela reologia (dobra, falha, fratura, cisalhamento), ou seja, pelos diferentes comportamentos dos materiais ao resistir à deformação. Por sua vez, a deformação dos materiais depende de sua composição química (tijolos são frágeis; barras de sabão, dúcteis) e da temperatura (cera fria é frágil; cera quente, dúctil). De certa forma, a parte externa da Terra sólida comporta-se como uma bola de cera quente. O resfriamento da superfície torna frágil a casca mais externa ou litosfera (do grego *lithos* ou 'pedra'), a qual envolve uma quente e dúctil astenosfera (do grego *asthéneia* ou 'falta de vigor'). A litosfera inclui a crosta terrestre e o topo do manto até uma profundidade média de cerca de 100 km. Quando submetida a uma força (compressão), a litosfera tende a se comportar como uma casca rígida e frágil, enquanto a astenosfera sotoposta flui como um sólido moldável ou dúctil (PRESS et al., 2006). A figura 1.2 apresenta, de forma estilizada, o "motor" interno do planeta Terra.

De acordo com a notável teoria da tectônica de placas, a litosfera não é uma casca contínua; ela é composta por 12 grandes "placas" que se movem sobre a superfície terrestre a taxas de alguns centímetros por ano. O movimento das placas é a manifestação superficial da convecção do manto. Controlado pelo calor interno da Terra, o material quente do manto sobe onde as placas se separam, começando, assim, a endurecer a litosfera. À medida que se move para longe desse limite divergente, a litosfera esfria e se torna mais rígida. Porém, ela pode, eventualmente, afundar na astenosfera e arrastar material de volta para o manto, nos bordos onde as placas convergem, em um processo contínuo de criação e destruição.

MEIO AMBIENTE

Segundo Press et al. (2006), o habitat humano é uma delgada interface entre a Terra e o céu, onde grandes forças interagem para moldar a face do planeta. As forças tectônicas que atuam no interior da litosfera, controladas pelo calor interno das profundezas, geram terremotos, erupções vulcânicas e o soerguimento de montanhas. As forças meteorológicas dentro da atmosfera e da hidrosfera, controladas pelo calor do Sol, produzem tempestades, inundações, geleiras e outros agentes de erosão. As interações entre os geossistemas globais da tectônica de placas e do clima mantêm um equilibrado ambiente na superfície terrestre, onde a sociedade humana pode prosperar e crescer.

Na verdade, nossos números e atividades estão se multiplicando a taxas fenomenais. De 1930 a 2000, a população mundial cresceu 300% – de dois para seis bilhões de habitantes. Nos próximos 30 anos, estima-se que esse total exceda a oito bilhões. Entretanto, a energia total utilizada aumentou em 1.000% durante os últimos 70 anos e está, agora, subindo duas vezes mais rápido que a taxa de crescimento da população.

Ao longo de sua história, o homem tem modificado o meio ambiente por meio de desmatamento, agricultura e outros tipos de uso do solo. Entretanto, os efeitos dessas transformações nos tempos antigos eram, comumente, restritos ao habitat local ou regional. Hoje, a sociedade afeta o meio ambiente em uma escala inteiramente nova: tais atividades acarretam consequências globais. A magnitude das atuais atividades humanas em relação aos sistemas das placas tectônicas e do clima, que governam a superfície terrestre, é ilustrada por alguns dados estatísticos, segundo Press et al. (2006):

- Os reservatórios construídos pelo homem retêm cerca de 30% dos sedimentos transportados pelos rios.
- Na maioria dos países desenvolvidos, obras de engenharia civil removem maior volume de solos e rocha a cada ano do que todos os processos naturais de erosão combinados.
- Nos 50 anos após a invenção da refrigeração com gás fréon, clorofluorcarbonetos fabricados pelo homem vazaram de refrigeradores e de aparelhos condicionadores

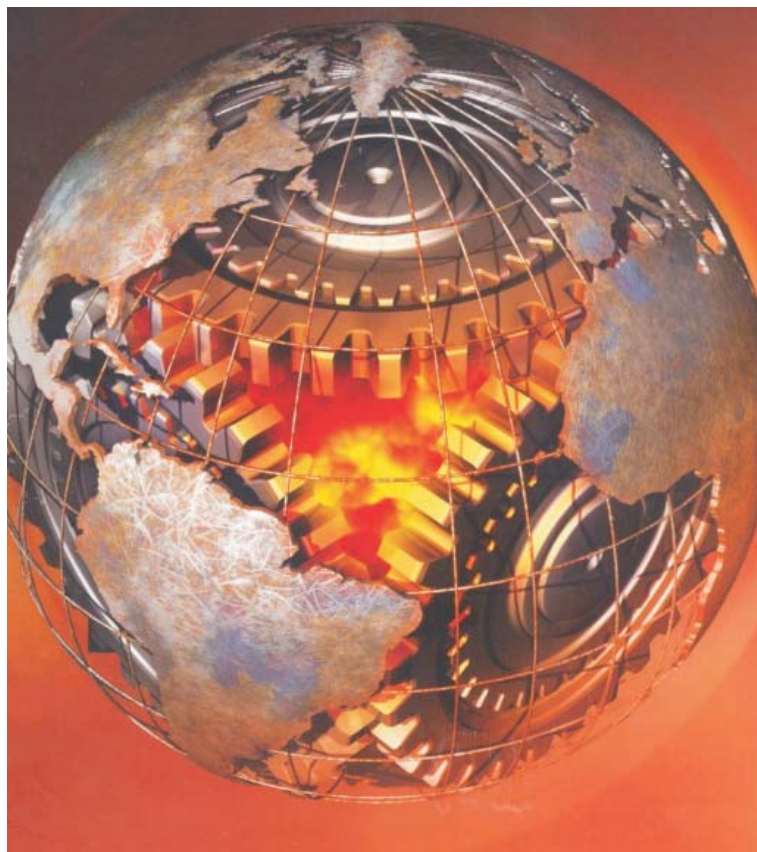


Figura 1.2 – Exemplo estilizado do funcionamento interno do planeta Terra.
Fonte: Scientific American Brasil (2007).

de ar para a estratosfera, em quantidade suficiente para danificar a camada de ozônio que protege a superfície terrestre.

- Desde o advento da Revolução Industrial, o desmatamento e a queima de combustíveis fósseis aumentaram a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera em mais de 30%. O dióxido de carbono atmosférico está aumentando a uma taxa sem precedentes – 4% por década – e, provavelmente, causará expressivo aquecimento global em futuro próximo.

Tais questões são relevantes e os geocientistas podem contribuir significativamente com informações da geodiversidade (meio físico) para que políticos, planejadores e gestores do território tomem decisões acertadas quanto ao uso adequado dos espaços geográficos.

ORIGEM, PROCESSOS E EVOLUÇÃO DA GEODIVERSIDADE NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

O Brasil apresenta, em seu território, um dos mais completos registros da evolução geológica do planeta Terra, com expressivos testemunhos geológicos das primeiras rochas preservadas, do Arqueano Inferior, datando de mais de 3.0 bilhões de anos e, de forma quase ininterrupta, até os dias atuais.

Para descrever, mesmo de forma sucinta, os compartimentos geológicos que compõem o território brasileiro, é necessário informar que, a partir dos paleocontinentes arqueanos (núcleos granito-*greenstones*), ao longo do Paleoproterozóico (2.300-1.800 M.a.) ocorreram diversas colagens nas margens ativas, isto é, margens de um continente onde o oceano é consumido e os blocos continentais vão se acrescentando ao continente (Figura 1.3).

Enquanto isso, no interior das placas, a culminância do processo de acreção teve como resultado o megacontinente Atlântica, sobre o qual se depositaram extensas coberturas sedimentares, sendo exemplos os grupos Roraima e Espinhaço, além de coberturas vulcanossedimentares do tipo continental (Figura 1.4).

Ao final desse período (1.800-1.600 M.a.), houve fragmentação desse grande bloco crustal. Ao longo do Mesoproterozóico (1.600-1.000 M.a.), uma outra sucessão de colisões levou à constituição de uma nova grande massa continental denominada Rodínia (Figura 1.5).

Entre 900 e 700 milhões de ano, uma nova fragmentação de Rodínia levou à separação de três grandes blocos: Gondwana Leste, Laurentia e Gondwana Oeste (englobando

o território brasileiro).

Durante o Neoproterozóico (1.000-545 M.a.), a movimentação e a junção dos blocos Gondwana Leste e

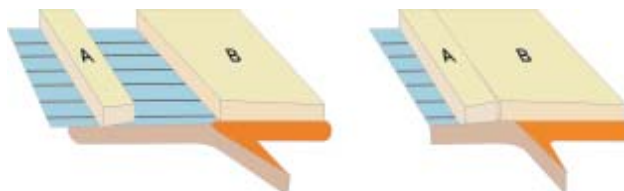


Figura 1.3 – À esquerda, apresenta-se o oceano sendo consumido entre dois blocos continentais A e B; à direita, observa-se a colagem dos blocos A e B, após o consumo do oceano.



Figura 1.4 – Desenho esquemático mostrando a deposição de rochas sedimentares e erupção de rochas vulcânicas sobre a placa continental.

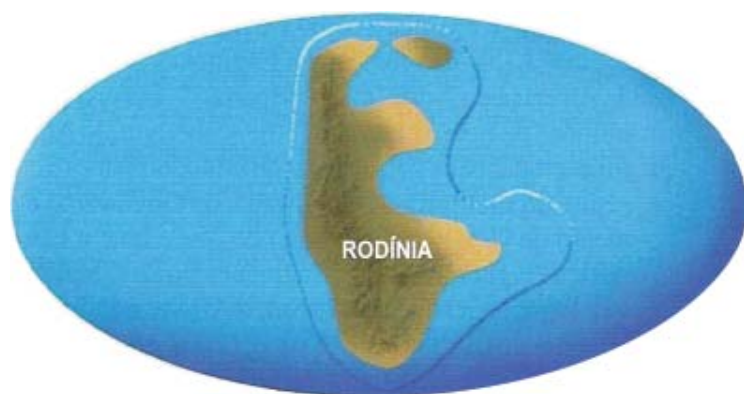


Figura 1.5 – Supercontinente Rodínia, formado aproximadamente há 1,1 bilhão de anos (Mesoproterozóico), começando a se fragmentar há, aproximadamente, 750 M.a. (modificado de Press et al., 2006).

Oeste, entre 750-490 M.a., constituíram o megacontinente Gondwana.

No Paleozóico, novas massas continentais vieram a se somar a Gondwana. Ao final desse período, formou-se o supercontinente Pangéia (Figura 1.6). No interior dos continentes, os processos extensionais atuaram no sentido de originar as regiões rebaixadas, permitindo o desenvolvimento de extensas bacias deposicionais (sinéclises), a exemplo das bacias do Parnaíba, Amazonas e Paraná.

A mesma geodinâmica que formou o Pangéia veio a fragmentá-lo, processo que consumiu aproximadamente 100 milhões de anos, no Jurássico e Cretáceo. De especial interesse nesse processo foi a separação de Brasil e África, com a abertura do oceano Atlântico, dando origem a inúmeras bacias sedimentares costeiras, portadoras de petróleo, sais e outros recursos minerais.

Um importante avanço na compreensão da evolução dos continentes nos é dado pela teoria dos chamados “Ciclos de Wilson”, segundo a qual os continentes passam por ciclos de colisão e afastamento uns dos ou-



Figura 1.6 – Desenho esquemático do supercontinente Pangéia, já agregado, há 237 M.a., no Triássico Inferior, circundado pelo superoceano Pantalassa (do grego ‘todos os mares’) (modificado de Press et al., 2006).

tros, obedecendo a uma periodicidade de aproximadamente 500 milhões de anos. Dessa forma, através de bilhões de anos de evolução experimentados pelos continentes, existem registros de choques e afastamento de diversas placas continentais pretéritas, que, aos poucos, foram se soldando até constituírem o que hoje conhecemos como América do Sul e os demais continentes (Figura 1.7).

Somente é possível entender o arcabouço geológico se tivermos em mente a teoria da migração das placas tectônicas, segundo a qual os continentes se movem sobre as camadas mais internas da Terra, devido a movimentos convectivos sob grandes temperaturas (Figura 1.8).



Figura 1.7 – Configuração atual dos continentes (modificado de Press et al., 2006).

No que concerne à formação da geodiversidade do território brasileiro, são destacadas três condições geológicas fundamentais: margens ativas, margens passivas e ambiente intraplaca (Figura 1.9). Elas nos permitem compreender a intrincada relação geométrico-espacial das unidades geológicas que compõem o arcabouço geológico do território brasileiro que, por conseguinte, forneceu o embasamento teórico factual para a formulação dos critérios para a subdivisão dos geossistemas e das unidades geológico-ambientais (mapa geodiversidade do Brasil, escala 1:2.500.000).

No que diz respeito aos ambientes em que as rochas se formam, distinguem-se duas situações extremas: (a) zona de colisão ou zona orogênica, que cedo ou tarde vai constituir uma cadeia de montanhas; (b) parte interna das placas, protegida do intenso metamorfismo que ocorre nas faixas de colisão. Naturalmente, entre as duas situações existem situações intermediárias margeando os cinturões metamórficos.

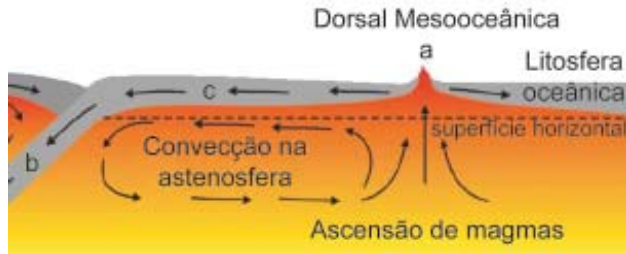


Figura 1.8 – Movimentação das placas tectônicas (modificado de Teixeira et al., 2000).

No auge da evolução dos cinturões orogênicos, teremos a formação, preferencialmente, das chamadas rochas cristalinas, plutônicas e metamórficas; enquanto nas porções intraplaca depositar-se-ão as coberturas sedimentares, associadas a vulcanismo de grandes dimensões. Cabe ainda salientar que, no lado oposto da zona colisional, entre duas placas, forma-se, normalmente, uma margem passiva, onde predomina a tectônica distensional, dando origem à atual plataforma marinha brasileira, por exemplo.

Nos tempos atuais, América do Sul e África estão se afastando a alguns centímetros por ano. Esse afastamento contínuo, iniciado há cerca de 200 milhões de anos, deu origem ao oceano Atlântico. No outro lado do continente sul-americano, contudo, a partir do final do Cretáceo, tem-se o choque da Placa de Nazca (basáltica), que afunda sobre a América do Sul, dando origem a duas grandes feições geológicas: a Cadeia Andí-

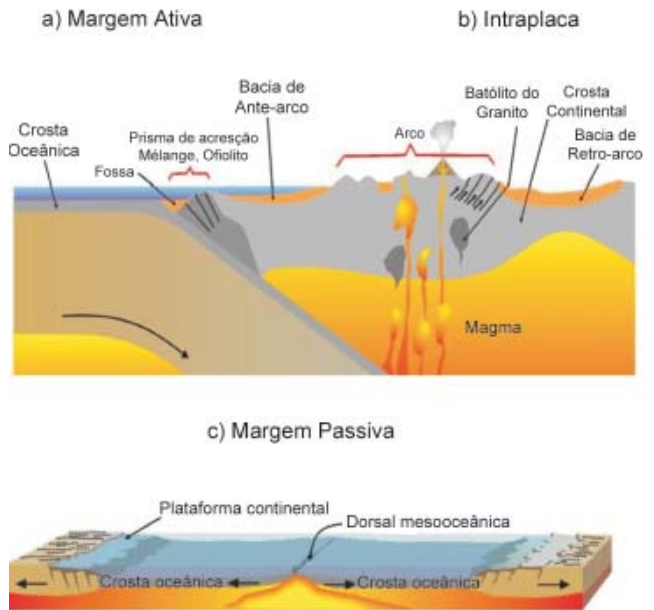


Figura 1.9 –a/b: apresentam o perfil de um limite de placa convergente mostrando as principais feições geológicas formadas e as associações de rochas relacionadas; c: fragmentação de uma massa continental e desenvolvimento de margens continentais passivas (modificado de Teixeira et al., 2000).

na, que se eleva a quase seis mil metros de altura, e um intenso magmatismo plutonovulcânico, decorrente da fusão de camadas internas da crosta, devido ao grande calor gerado ao longo da zona de subducção da Placa de Nazca (Figura 1.10).

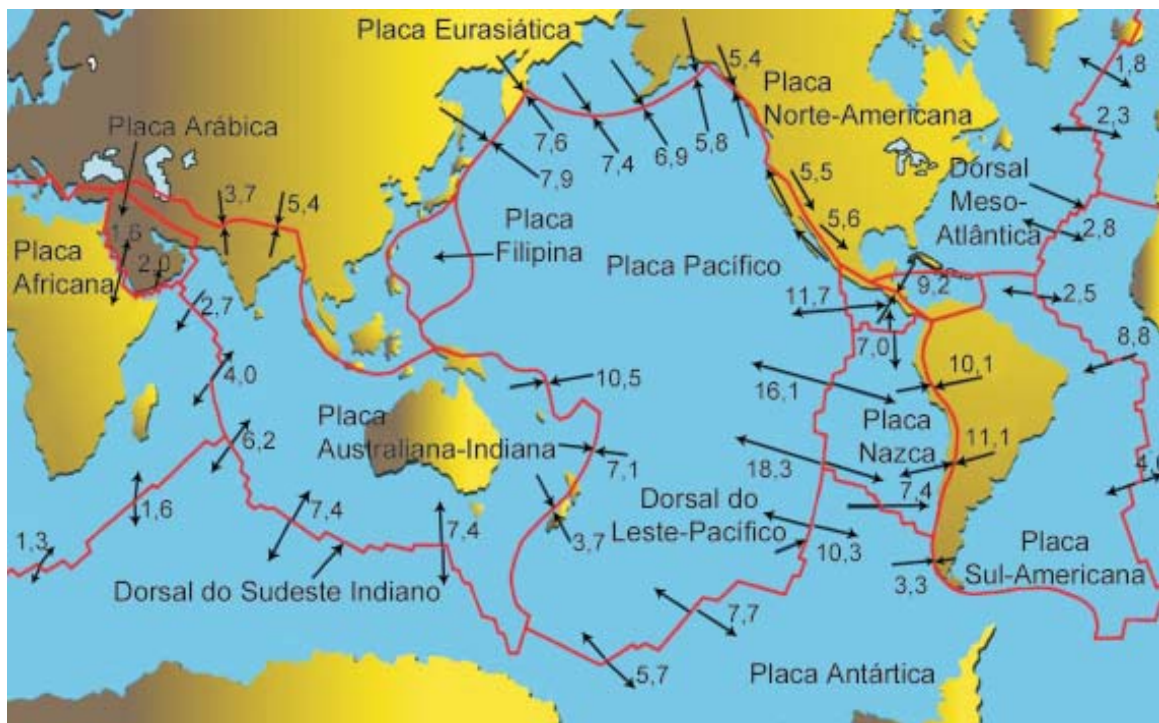


Figura 1.10 – Distribuição geográfica das placas tectônicas da Terra. Os números representam as velocidades em cm/ano entre as placas; as setas, os sentidos do movimento (modificado de Teixeira et al., 2000).

A importância da orogênese andina para a evolução geológica do território brasileiro é espetacular, constituindo-se na base da origem das bacias terciárias da porção ocidental do país, pelas flutuações climáticas, e por fim, por toda a evolução dos geossistemas. Na figura 1.11 é mostrado o relevo do continente e do fundo oceânico (cadeia mesooceânica) entre os continentes sul-americano e africano.

Na figura 1.12 é apresentada toda a extensão da geodiversidade brasileira, constituída pela porção continental emersa com área de 8.500.000 km² e a Plataforma Continental Jurídica com 4.500.000 km², totalizando o território continental e marinho brasileiro a área de 13.000.000 km² (Souza et al., 2007).

Segundo Martins e Souza (2007), a Plataforma Continental Jurídica compreende o prolongamento submerso de massa terrestre composta pelo seu leito, subsolo, talude e elevação continental. Apesar de pouco estuda-

da, apresenta elevado potencial mineral, dentre os quais destacamos: óleo e gás (já uma realidade); areia e cascalhos, utilizados na construção civil e reconstrução praial; granulados bioclásticos, utilizados para correção de solos na agricultura e para a indústria cimenteira; depósitos de pláceres (cassiterita, ilmenita, ouro e diamante); fosforitas (P₂O₅), utilizados como fertilizante na agricultura; nódulos polimetálicos de níquel, cobalto, cobre, fósforo, manganês, ferro e sulfetos polimetálicos (chumbo, cobre, zinco, níquel, cobalto, titânio, ouro e prata).

Além das questões de segurança nacional, depósitos minerais e da riqueza da biodiversidade, o estudo da geodiversidade dos fundos marinhos tem fornecido importantes subsídios para consolidar a teoria da deriva dos continentes, bem como para entender os processos geológicos que ocorreram nos últimos 200 milhões de anos e as consequências atuais nos continentes.

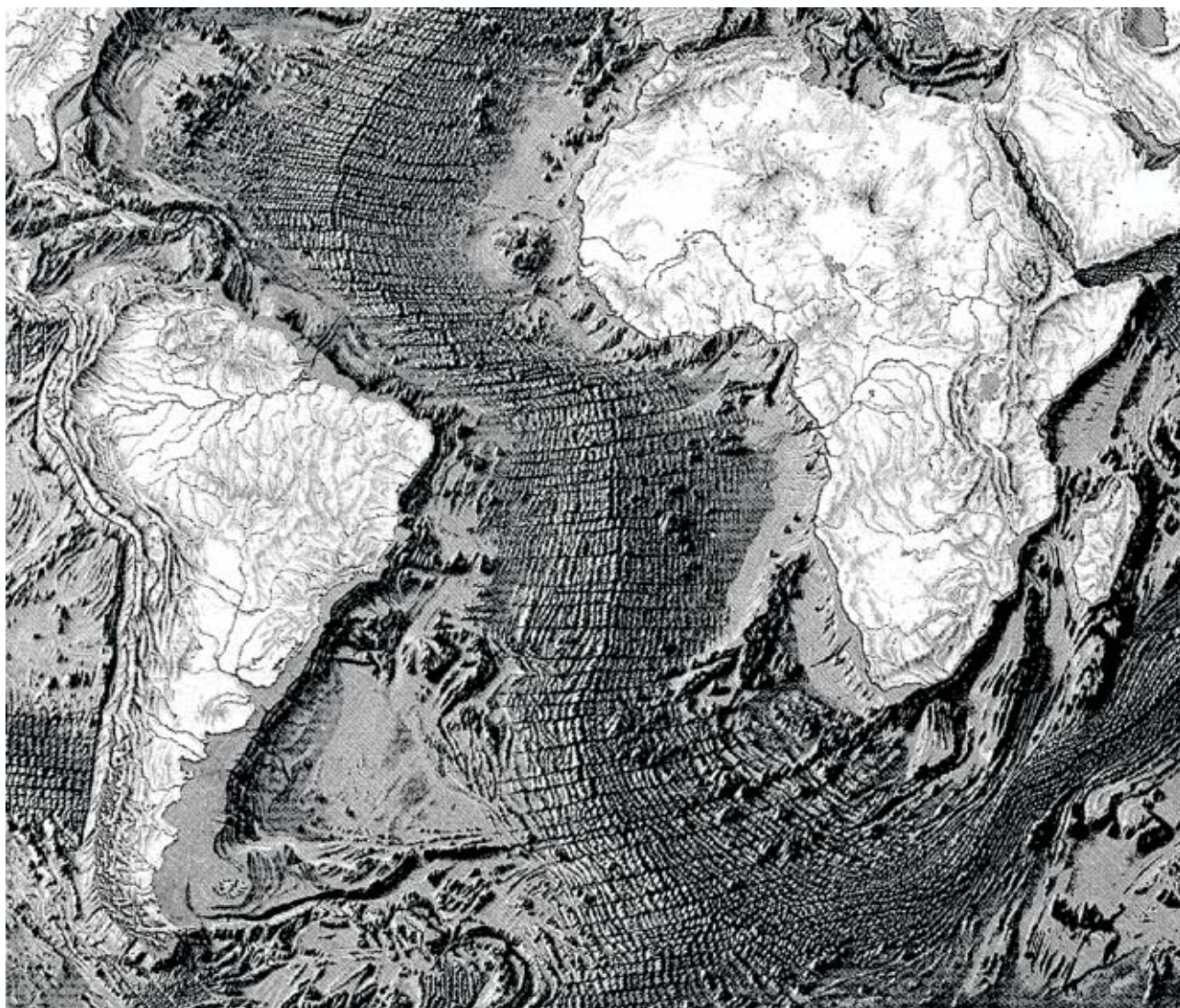


Figura 1.11 – Mapeamento batimétrico do relevo e estruturas do oceano Atlântico entre os continentes América do Sul e África.

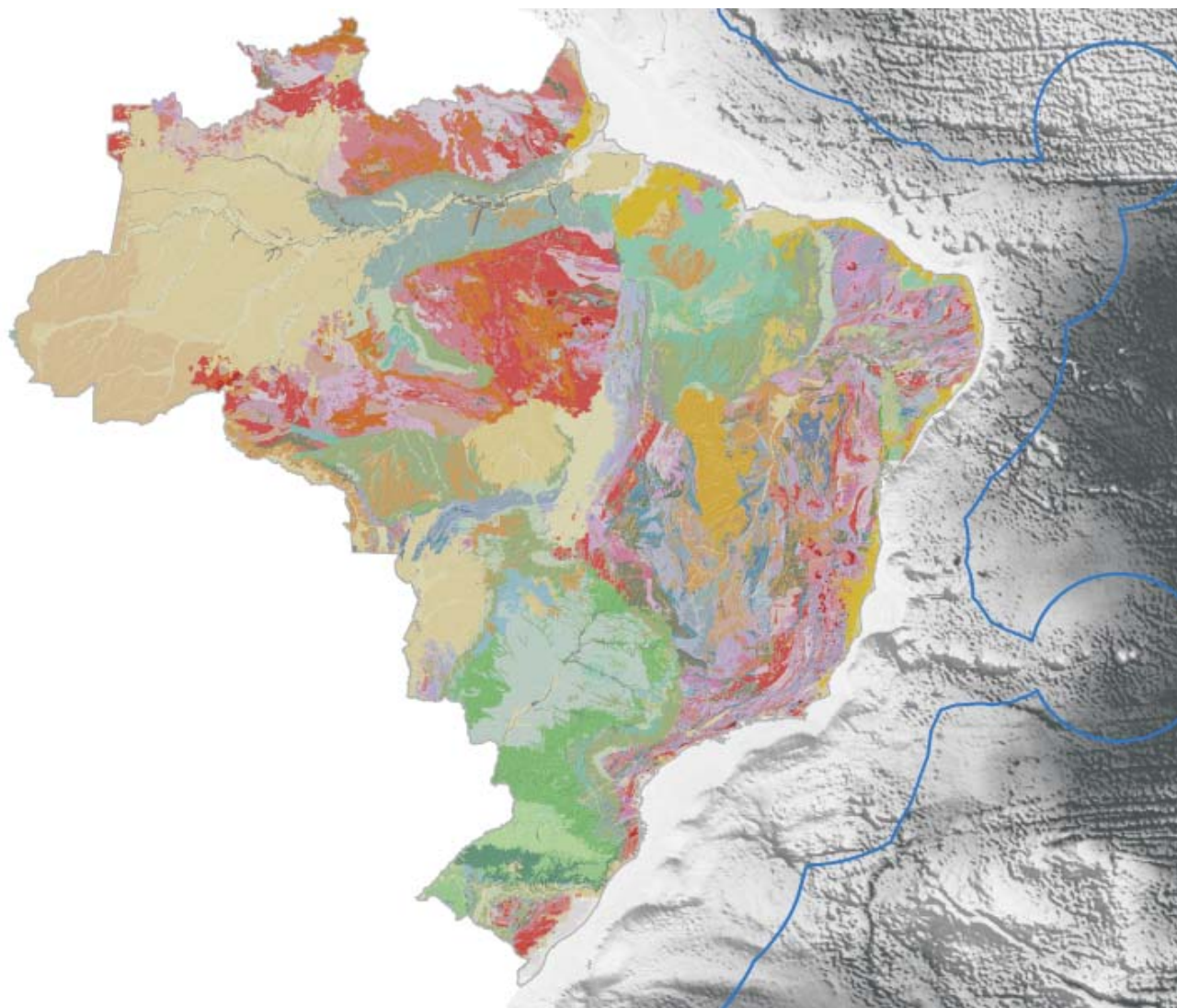


Figura 1.12 – Extensão territorial da geodiversidade brasileira constituída pela porção emersa, continente (colorida) e a marinha, denominada Plataforma Continental Jurídica (preto e branco), delimitada pela linha azul.

BIBLIOGRAFIA

- CPRM. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2006. 68 p. CD-ROM.
- EBERHARD, R. (Ed.). Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity. *Technical Series*, n. 2. Australian Heritage Commission; Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra, 1997.
- GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. New York: John Wiley & Sons, 2004. 434 p.
- MARTINS, L. R. S.; KAISER G. de S. Ocorrência de recursos minerais na plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes. Brasília: *Parcerias Estratégicas*, n. 24, p. 137-190, ago. 2007. 274 p. Edição Especial – Estudos do Mar.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para entender a Terra*. 4. ed. Tradução Rualdo Menegat. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p. il.
- SCIENTIFICAMERICAN BRASIL. São Paulo: Duetto, n. 20, 2007.
- STANLEY, M. Welcome to the 21st century. *Geodiversity Update*, 1, p. 1-8, 2001.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.
- VEIGA, A. T. C. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. *Terra das Águas*, Brasília: NEAz/UnB, n. 1, p. 88-102, 1999.
- XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Índice de geodiversidade da restinga da Marambaia (RJ): um exemplo do geoprocessamento aplicado à geografia física. *Revista de Geografia*, Recife: DCG/UFPE, n. 1, p. 57-64, 2001.



CASSIO ROBERTO DA SILVA

Graduado em Geologia (1977) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestrado em Hidrogeologia e Geologia Econômica (1995) pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, cursa o doutorado na área de Geologia Médica na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 1978, atuando (por 13 anos) na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP) e na Residência de Porto Velho (5 anos). Há 12 anos no Escritório Rio de Janeiro, é responsável pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET). Tem experiência profissional na execução e no gerenciamento de projetos em Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Geologia Ambiental, além de prestar consultoria internacional em Mapeamento Geológico e Geologia Ambiental. Ministra palestras em várias entidades e eventos nacionais e internacionais sobre Geologia Ambiental, Geodiversidade, Geologia Médica e Informações do Meio Físico para Gestão Territorial. Editor do livro “Geologia Médica no Brasil”, co-autor do livro “Prospecção Mineral de Depósitos Metálicos, Não-Metálicos, Óleo e Gás”. Autor de 44 trabalhos individuais e outros 20 como co-autor. Atuação no CREA, Associações de Empregados e Profissional de Geólogos. Coordenador da Divisão da América do Sul da International Medical Geology Association (IMGA). Distinção com os prêmios Qualidade CPRM (1993), CREA-RJ de Meio Ambiente (2001) e Patrono da Turma de Formandos de Geologia de 2003 da UFRRJ.



MARIA ANGÉLICA BARRETO RAMOS

Geóloga formada (1989) pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre (1993) pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na CPRM/BA em 1994, onde atuou em Mapeamento Geológico no Projeto Aracaju ao Milionésimo. A partir de 1999, na área de Gestão Territorial, participou dos projetos Acajutiba-Aporá-Rio Real e Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia, onde também passou a atuar na área de Geoprocessamento, integrando a equipe de coordenação do Programa GIS do Brasil e do Banco de Dados GEOBANK. Atualmente, exerce a Coordenação Nacional de Geoprocessamento do Projeto Geodiversidade do Brasil no Departamento de Gestão Territorial (DEGET).



AUGUSTO J. PEDREIRA DA SILVA

Graduado em Geologia (1996) pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Especialização (1971) em Fotogeologia (CIAF, Bogotá). Doutor (1994) em Geociências (área de concentração: Geotectônica), pela Universidade de São Paulo (USP). Atuou em Mapeamento Geológico (CEPLAC, 1967-1969) e Geologia Econômica (TECMINAS, 1970). Geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) desde 1972. Participou de mapeamento geológico na Amazônia e Meio-Norte (Projeto RADAM), Bahia, outros estados e no exterior (Libia, 1985). Atualmente, é coordenador executivo do Departamento de Geologia (DEGEO), atuando na Divisão de Geologia Básica (DIGEOB). Suas principais áreas de interesse são: Geologia Regional, Bacias Sedimentares (especialmente pré-cambrianas), Sistemas Depositionais e Tectônica.



MARCELO EDUARDO DANTAS

Graduado em Geografia (1992) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre em Geomorfologia e Geoecologia (1995) pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), atuando como geomorfólogo até o presente. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHEs de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.

2

EVOLUÇÃO DA VIDA

Marise Sardenberg Salgado de Carvalho (*marise.sardenberg@gmail.com*)
Norma Maria da Costa Cruz (*ncruz@rj.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Primeiros Seres Vivos	22
Primeiros Seres Multicelulares	22
Cambriano: Evolução dos Invertebrados Marinhos e Primeiros Cordados	22
Ordoviciano: Diversidade Marinha e Surgimento dos Agnatas ..	24
Siluriano: Conquista do Ambiente Terrestre	24
Devoniano: Primeiras Florestas e Idade dos Peixes	24
Carbonífero: Idade dos Anfíbios e dos Depósitos de Carvão	24
Permiano: Diversificação dos Répteis e Expansão das Gimnospermas	26
Triássico: Primeiros Dinossauros e Mamíferos	26
Jurássico: Apogeu dos Dinossauros e Primeiras Aves	26
Cretáceo: Extinção de Dinossauros e Pterossauros, Surgimento das Angiospermas e Presença de Mamíferos	27
Paleoceno: Diversificação e Irradiação dos Mamíferos e Angiospermas	28
Eoceno: Expansão das Aves e Angiospermas	28
Oligoceno: Primatas Antropóides	28
Mioceno: Diversificação de Mamíferos e Angiospermas	29
Plioceno: Formação de Savanas e Primeiros Hominídeos	29
Pleistoceno: Extinção de Espécies e Surgimento do Homem	29
Holoceno: Dispersão da Espécie Humana	30
Microfósseis	30
Bibliografia	31

PRIMEIROS SERES VIVOS

A Terra formou-se por volta de 4,5 bilhões de anos antes do presente. Sua atmosfera primitiva sofreu transformações no decorrer do tempo geológico. Há 2,0 bilhões de anos os mares tornaram-se oxigenados, com exceção das partes profundas, e o oxigênio começou a se acumular na atmosfera. As primeiras formas de vida foram datadas em mais de 3,5 bilhões de anos e se constituíam de organismos com uma estrutura celular bem simples, sem um núcleo organizado, denominados procariontes. Essas formas mais antigas de vida foram encontradas em esteiras microbianas e estromatólitos de 3,5 bilhões de anos na Austrália. Alguns desses microorganismos procariontes, semelhantes às cianobactérias, eram capazes de formar longas esteiras ou bioconstruções com relevo. No Brasil, estromatólitos são conhecidos desde o Pré-Cambriano ao Fanerozóico, em unidades geológicas de idades diferentes como os grupos Araras, Una, Macaúbas, Bambuí, dentre outros, em geral associados a rochas carbonáticas, nos estados da Bahia, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Minas Gerais (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Associação de estromatólitos colunares. Grupo Bambuí, Proterozóico Superior, Bahia (modificado de Souza-Lima, 2001).

O período de tempo que vai desde a formação da Terra até o surgimento dos primeiros seres vivos é denominado Arqueano. Após esse tempo, milhares de espécies de plantas e animais evoluíram, algumas delas prosperaram e tiveram uma ampla distribuição geológica, enquanto outras experimentaram curta duração e extinguíram-se. A distribuição dos seres através do tempo geológico está demonstrada na espiral da vida (Figura 2.2).

A idade da Terra foi subdividida em blocos de tempo, baseados em grandes eventos no desenvolvimento da vida. Divide-se em três grandes éons: Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico, este subdividido em três eras: Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica. Uma tabela do tempo geológico apresenta os principais eventos que marcaram a evolução (Figura 2.3).

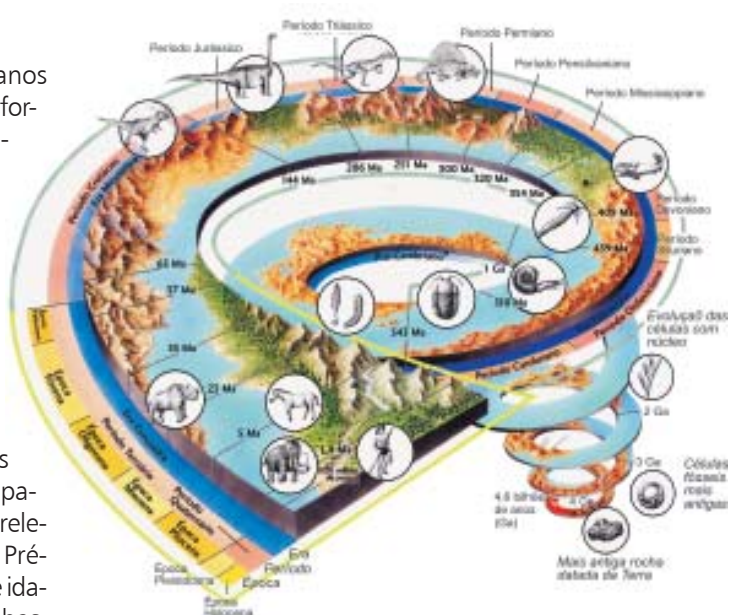


Figura 2.2 – Espiral da vida (modificado de Press et al., 2006).

Os fósseis, que constituem restos ou vestígios de animais e vegetais que viveram em épocas pretéritas e ficaram preservados nas rochas sedimentares, são estudados pela Paleontologia. É através dessa ciência que são analisados os registros fossilíferos que refletem as mudanças da flora e da fauna, as extinções em massa e as mudanças climáticas ocorridas ao longo do tempo geológico.

PRIMEIROS SERES MULTICELULARES

O surgimento de organismos com células eucariontes, ou seja, com um núcleo delimitado, deu origem a formas de vida mais complexas, como os organismos do reino Protista e os multicelulares Animália, Fungi e Plantae (Margulis e Schwartz, 2001). O surgimento desses últimos seres data de 2,1 bilhões de anos, ainda no Arqueano. Mas, há cerca de 600 M.a., próximo ao final do Proterozóico, surgiram os primeiros animais com o corpo mole e achatado, semelhantes a anelídeos e artrópodes. Essa fauna, assinalada pela primeira vez na Austrália, é conhecida como fauna de Ediacara, sendo registrada, posteriormente, em outras partes do mundo, inclusive no Brasil (Figura 2.4).

CAMBRIANO: EVOLUÇÃO DOS INVERTEBRADOS MARINHOS E PRIMEIROS CORDADOS

Comparado ao longo espaço de tempo do Arqueano e do Proterozóico (3.600-542 M.a.), o Cambriano (542-488 M.a.), primeiro período da era paleozóica, foi bastante curto. A vida diversificou-se e permaneceu confinada aos oceanos, onde houve a grande evolução de invertebrados marinhos, como cnidários, braquiópodes,

Eon	Era	Período	Época	milhões anos	Principais eventos na evolução
F A N E R O Z Ó I C O	CENOZÓICO		HOLOCENO	0,011	Dispersão da espécie humana
			PLEISTOCENO	1,8	Muitas extinções. Surgimento da espécie humana
		NEÓGENO	PLIOCENO	5	▶ Hominídeos
			MIOCENO	23	
		PALEÓGENO	OLIGOCENO	33,9	Modernas famílias de mamíferos evoluem e diversificam
			EOCENO	55,8	
			PALEOCENO	65	
	MESOZÓICO	CRETÁCIO			Extinções dos dinossauros, pterossauros e répteis marinhos
				145	Diversificação de aves
		JURÁSSICO			Evolução dos principais grupos de mamíferos
				205	▶ Primeiras aves
	PALEOZÓICO	TRIÁSSICO			Diversificação de teleosteos
				250	Apogeu dos dinossauros
		PERMIANO			▶ Primeiros dinossauros e mamíferos
				300	Muitas extinções
		CARBONÍFERO			Primeiros répteis mamaliiformes
				359	Anfíbios e répteis diversificam
		DEVONIANO			▶ Primeiros amniotas - répteis primitivos
				416	Muitas extinções
		SILURIANO			▶ Primeiros vertebrados terrestres - anfíbios
				443	▶ Primeiros insetos
ARQUEANO	PROTEROZÓICO	ORDOVICIANO			Mais antigos peixes nad. Lobada-Sarcopteríglis-dipnóicos
				488	Idade dos peixes - Peixes diversificam em diferentes grupos
		CAMBRIANO			▶ Mais antigos peixes ósseos - Osteíctes (Actinopterygíes)
				542	▶ Mais antigas plantas vasculares e comunidades de artrópodes terrestres
					Primeiros peixes com mandíbulas - gnathostomados
					▶ Mais antigas escamas de tubarão
					Muitas extinções
					▶ Surgimento dos agnatos (peixes sem mandíbulas)
					▶ Origem dos protovertebrados - criaturas com notocorda
					▶ Abundantes organismos com carapaças
					▶ Primeiras associações de invertebrados (Ediacara)
				2500	
					▶ Primeiras células com núcleo - 2,1 bilhões de anos
					▶ Mais antiga vida na Terra 3,5 bilhões anos - antigos estromatólitos
				4600	

Figura 2.3 – Tabela do tempo geológico (modificado de Long, 1995).

moluscos, equinodermas e graptozoários (Figura 2.5). Um grupo bem-sucedido foi o dos artrópodes; dentre estes, os trilobitas, que tiveram ampla distribuição mundial. Duas grandes conquistas aconteceram: o desenvolvimento de carapaças e a origem dos cordados, animais com notocorda, estrutura que, mais tarde, originou a coluna vertebral. O início do Cambriano foi definido pelo aparecimento dos organismos com carapaças, possibilitando a correlação de rochas com base no conteúdo fossilífero.

Dessa época são assinaladas três faunas importantes: a fauna Tomotiana, de distribuição mundial, com minúsculas formas de conchas e arqueociatas, não classificadas em nenhum grupo moderno; a fauna de Chengjiang, na China, com invertebrados, urocordados e cefalocordados; e a mais conhecida, a do Folhelho Burgess, no Canadá, com esponjas, braquiópodes, crustáceos, trilobitas e *Pikaia gracilens*, um cefalocordado. O final do Cambriano é marcado por uma grande extinção em massa.

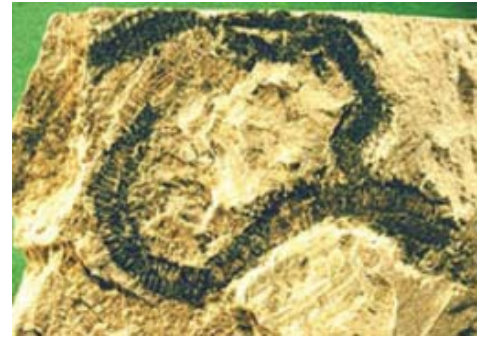


Figura 2.4 – *Corumbella weneri* é o representante da fauna de Ediacara no Brasil, tendo sido encontrado em calcários do Grupo Corumbá (MS). Considerado como um provável predador, apresentou ampla distribuição geográfica (disponível em: <<http://www.unb.br/acs/bcopauta/geologia5.htm>>; acesso em: 28 ago. 2007).



Figura 2.5 – A fauna do Burgess apresenta artrópodes, como trilobitas e crustáceos, e outros animais não incluídos em nenhum grupo moderno. Apresenta também *Pikaia* (vista acima, à esquerda), que apresenta as características dos cordados: faixas musculares e notocorda ao longo do corpo (modificado de Levinton, 1992).

ORDOVICIANO: DIVERSIDADE MARINHA E SURGIMENTO DOS AGNATAS

No Ordoviciano (488-443,7 M.a.), havia um clima com temperaturas mais amenas. Nos mares quentes, surgiram vários invertebrados que se desenvolveram e se diferenciaram, aumentando a complexidade de suas carapaças. Os mais comuns foram braquiópodes, crinóides e briozoários, que construíram os primeiros recifes. Apareceram os moluscos bivalvíos e os nautilóides, esses últimos parentes dos modernos polvos e lulas (Figura 2.6).

Surgiram também os primeiros peixes, os agnatas, que possuíam ainda notocorda, mas não apresentavam maxilas. Tinham uma armadura óssea no corpo, recebendo por isso a denominação de “ostracodermas”. São os craniados mais primitivos e seus representantes atuais são as lampreias e feiticeiras. Eram geralmente bentônicos e a impossibilidade de triturar alimentos foi o maior fator contra seu desenvolvimento (Figura 2.7).



Figura 2.6 – Reconstrução de um ambiente do Ordoviciano, com moluscos, trilobitas e corais (disponível em: <<http://www.geocities.com/arturordoviciano>>; acesso em: 27 ago. 2007).

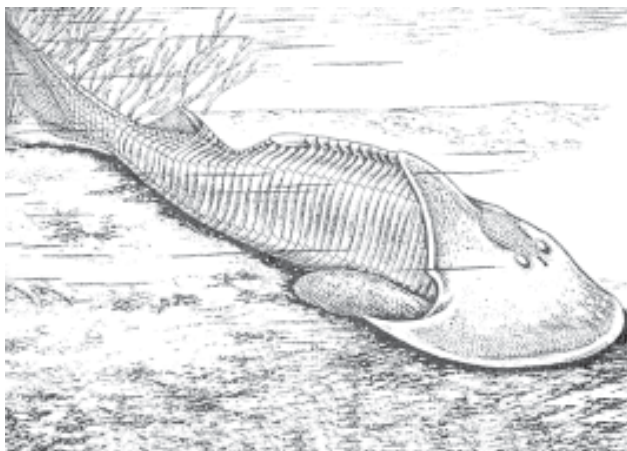


Figura 2.7 – Agnata: peixes sem maxilas (disponível em: <<http://www.universe-review.ca/110-27-jawlessfish.jpg>>; acesso em: 17 set. 2007).

SILURIANO: CONQUISTA DO AMBIENTE TERRESTRE

No Siluriano (443,7-416 M.a.), artrópodes e plantas invadiram o ambiente terrestre. Nos oceanos, proliferaram e se expandiram os braquiópodes, briozoários, corais, crinóides, esponjas, bivalvíos e gastrópodes. Os trilobitas e graptólitos tiveram um declínio, enquanto as formas dos nautilóides se diversificaram.

O Siluriano foi marcado pelo aparecimento das maxilas nos peixes, um dos eventos mais importantes da história evolutiva dos vertebrados. Esses primeiros peixes com mandíbulas são os gnatostomados, que incluem placodermas, acantódios, condríctes e osteíctes, grupo ao qual pertence a maioria dos peixes atuais.

A documentação paleontológica do Siluriano no Brasil é apresentada, por exemplo, no grupo Trombetas, na bacia do Amazonas (Figura 2.8), e na Formação Tianguá, na bacia do Parnaíba (Figura 2.9).

DEVONIANO: PRIMEIRAS FLORESTAS E IDADE DOS PEIXES

Após sua origem no Siluriano, as plantas vasculares se diversificaram rapidamente no Devoniano (416-359,2 M.a.), quando se formaram as primeiras florestas. Alguns grupos de animais se aventuraram pela terra, entre eles os insetos e os anfíbios. O Devoniano é considerado como a “idade dos peixes” devido à grande diversificação desse grupo. Os sarcopterígios, peixes osteíctes com nadadeiras lobadas, surgiram e deram origem aos tetrápodos. O grupo dos dipnóicos (peixes pulmonados) desenvolveu um aparelho respiratório que lhes permitia absorver o oxigênio, adquirindo, desse modo, a capacidade de respirar ar atmosférico. Outra extinção ocorreu no final do Devoniano, sendo os invertebrados marinhos os mais atingidos.

O Devoniano foi um período importante na sedimentação das bacias paleozóicas do Amazonas, Parnaíba e Paraná (Figura 2.10).

CARBONÍFERO: IDADE DOS ANFÍBIOS E DOS DEPÓSITOS DE CARVÃO

O Carbonífero (359-299 M.a.) representa a “idade dos anfíbios”. Eles viviam nos pântanos e nas margens dos cursos de água, mas algumas espécies se adaptaram para sobreviver uma maior parte do tempo em terra seca, voltando à água apenas para desovar. Entre as plantas surgiram as gimnospermas primitivas, como as *Glossopteris* presentes em todo o continente Gondwana (Figura 2.11).

Grande parte das atuais jazidas de carvão formou-se nessa época, pela decomposição de matéria vegetal. Nesse propício ambiente úmido, a vida dos insetos proliferou intensamente. Os amonóides, mesmo sofrendo um pequeno declínio com a extinção do final do Devoniano,



Figura 2.8 – *Climacograptus innotatus* var. *brasiliensis* – Graptozoário da Formação Trombetas, bacia do Amazonas (fotografia: Norma Cruz).

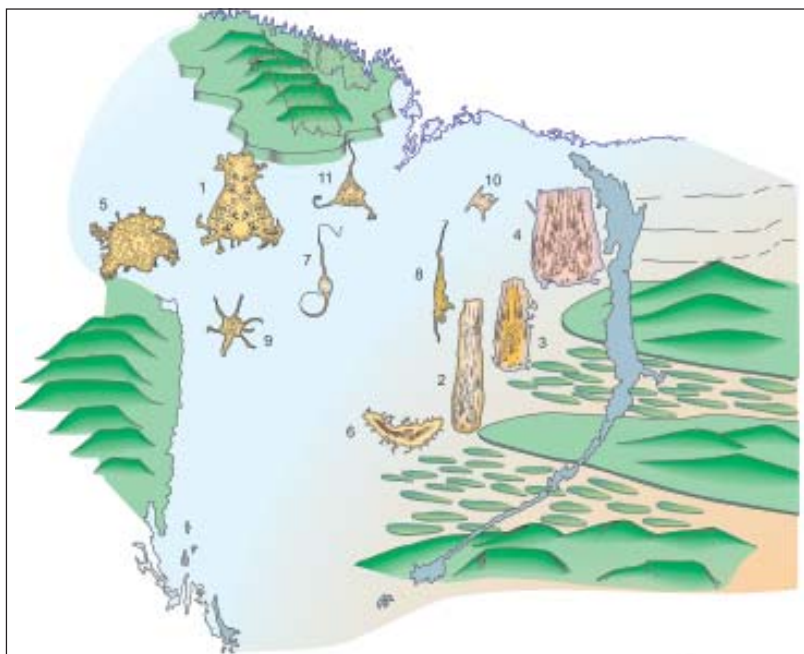


Figura 2.9 – Microfósseis da Formação Tianguá. Quitinozoários (1 a 4) e acritarcos (5 a 11) (modificado de Santos e Carvalho, 2005).

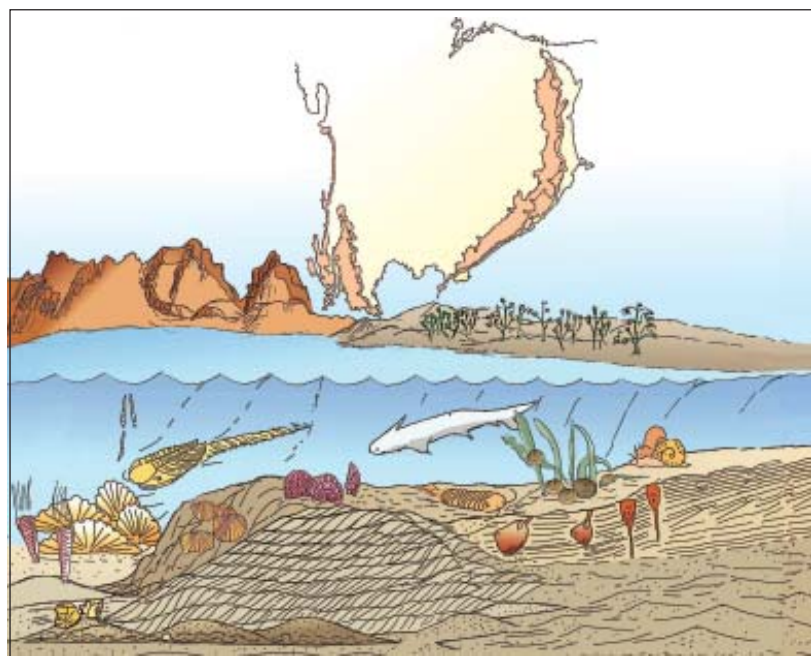


Figura 2.10 – Reconstituição paleobiológica do mesodevoniano na bacia do Parnaíba. Mapa mostrando os afloramentos das formações Pimenteiras e Cabeças. A flora com Psilofitales e Lycopodiaceas e a fauna com conulários, tentaculites, gastrópodes, bivalvíos, braquiópodes e condrites (tubarão) (modificado de Santos e Carvalho, 2005).

ainda permaneceram como os principais invertebrados predadores. Aparecem os primeiros registros fósseis de amniota, um grupo de vertebrados tetrápodes cujos embriões são rodeados por uma membrana amniótica. Esse tipo de ovo permitiu que os antepassados das aves, dos mamíferos e dos répteis reproduzissem em terra. Surgiram os primeiros répteis, com o crânio compacto, sem as aberturas temporais, características do grupo.

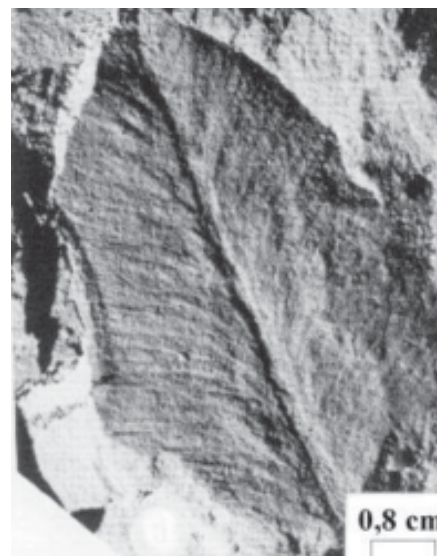


Figura 2.11 – Representante da flora de *Glossopteris* da sequência gondwânica da bacia do Paraná: carvão da Formação Rio Bonito (disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/coluna/floraglosspt.htm>>; acesso em: 11 set. 2007).

PERMIANO: DIVERSIFICAÇÃO DOS RÉPTEIS E EXPANSÃO DAS GIMNOSPERMAS

No início do Permiano (299-251 M.a.), o movimento das placas tectônicas formou o supercontinente Pangéia. As regiões interiores desse vasto continente estavam, provavelmente, secas e a glaciação diminuiu. O resultado dessa nova configuração global foi o desenvolvimento e a diversificação da fauna de vertebrados terrestres e a redução das comunidades marinhas. Houve a diversificação dos répteis e a expansão das gimnospermas.

O final do Permiano foi marcado pela maior de todas as extinções em massa. Afetou muitos grupos de organismos, em ambientes diferentes, mas, principalmente, as comunidades marinhas, causando a extinção da maioria dos invertebrados. Com o fim do Permiano, encerra-se a era paleozóica, que durou aproximadamente 300 milhões de anos.

No Brasil, o Permiano está representado, principalmente, nas bacias do Parnaíba e do Paraná (Figura 2.12).

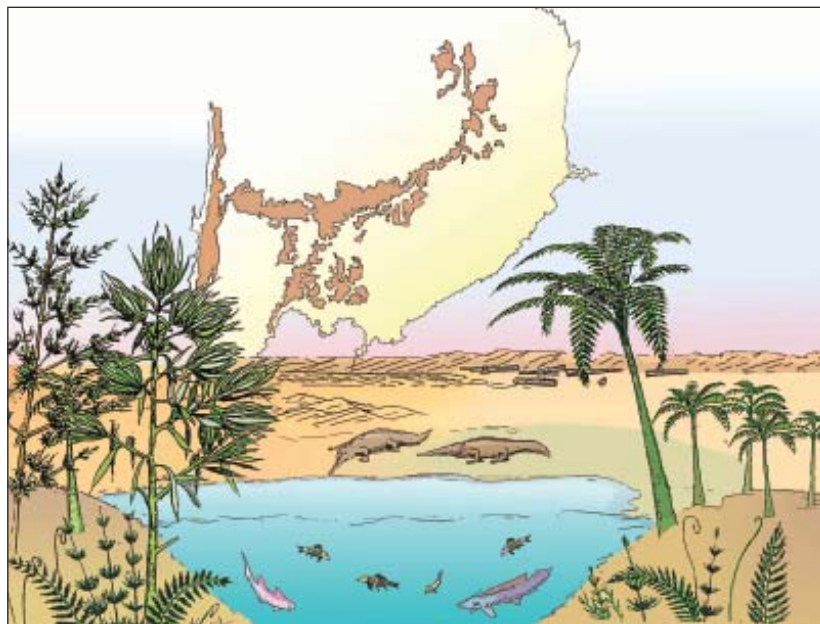


Figura 2.12 – Reconstituição paleobiológica do Permiano na bacia do Parnaíba. Mapa mostra afloramentos da Formação Pedra de Fogo. Flora com *Psaronius*, Calamitales e Cordaitáceas; fauna com répteis e peixes (modificado de Santos e Carvalho, 2005).

TRIÁSSICO: PRIMEIROS DINOSSAUROS E MAMÍFEROS

Com o Triássico (251-199,6 M.a.), começou a era mesozóica, que durou 130 milhões de anos. Ocorreu o início da fragmentação do Pangéia. Vários grupos de répteis apareceram, como crocodilos, dinossauros e pterossauros, como também os primeiros mamíferos, que

eram de pequeno porte (Figura 2.13). As gimnospermas passam a ser as formas dominantes entre as plantas. A fauna marinha não era muito diversificada, já que 90% das espécies haviam desaparecido na grande extinção do Permiano.



Figura 2.13 – *Dinodontosaurus* e *Prestosuchus* da bacia do Paraná. Diorama do Museu de Ciências da Terra (fotografia: Alex Souto).

O final do Triássico também foi marcado por uma grande extinção.

No Brasil, na bacia do Paraná, encontramos fósseis de répteis ou de grupos aparentados com os mamíferos, como rincossauros e dicinodontes, respectivamente. Esses tetrápodos triássicos são encontrados nos sedimentos das formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita, no estado do Rio Grande do Sul.

JURÁSSICO: APOGEU DOS DINOSSAUROS E PRIMEIRAS AVES

Nos mares do Jurássico (199,6-145,5 M.a.), viveram peixes e répteis marinhos, como ictiossauros e plesiossauros. Do Jurássico até fins do Cretáceo, há 65 milhões de anos, os grandes répteis continuaram dominando. Multiplicaram-se prodigiosamente nas planícies cada vez mais úmidas e quentes,

alcançando enormes dimensões. O Jurássico foi a idade dos grandes saurópodes e dos pterossauros. Nos mares, os moluscos, como os grandes amonóides, tornaram-se muito abundantes (Figura 2.14). A passagem do Jurássico para o Cretáceo não foi marcada por qualquer grande extinção, evolução ou alteração na diversidade dos organismos. O Jurássico não é bem representado no Brasil.

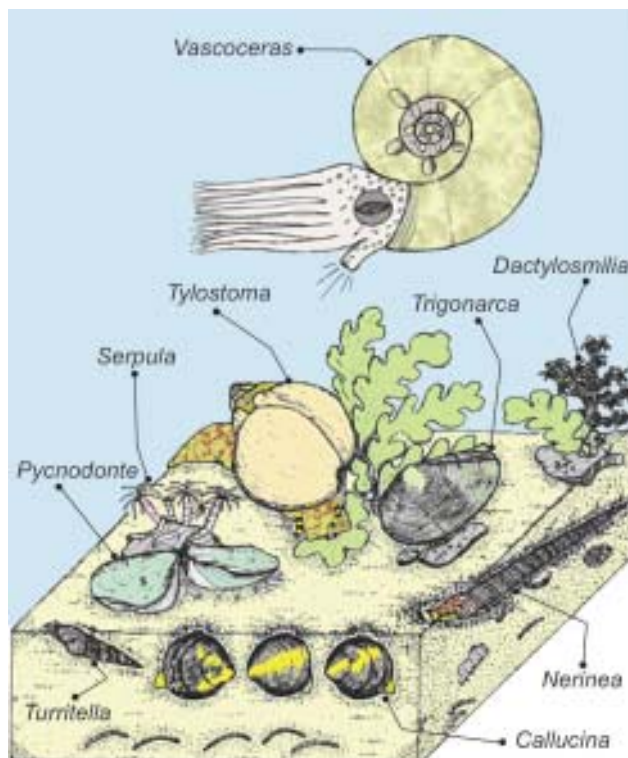


Figura 2.14 – Reconstituição paleoecológica do oceano Tétis no Jurássico superior tendo representados moluscos, poliquetas e plantas (disponível em: <<http://fossil.uc.pt/pags/utlil.dwt>>; acesso em: 27 set. 2007).

CRETÁCEO: EXTINÇÃO DE DINOSSAUROS E PTEROSSAUROS, SURGIMENTO DAS ANGIOSPERMAS E PRESENÇA DE MAMÍFEROS

Com a continuidade da fragmentação do supercontinente Pangéia e o conseqüente afastamento das placas tectônicas, aumentaram as diferenças regionais entre as floras e faunas. No Cretáceo (145,5-65,5 M.a.), os mais importantes eventos foram: surgimento de angiospermas, plantas com flores e mamíferos marsupiais e placentários.



Figura 2.15 – Reconstituição do ambiente de *Amazonsaurus maranhensis*. Albiano da Formação Itapecuru, bacia do Grajaú, MA (SANTOS e CARVALHO, 2005).

O fim desse período foi marcado por uma grande extinção em massa (Limite K-T), com o desaparecimento de grupos bem-sucedidos, como dinossauros e amonóides. A extinção desses grandes répteis constitui-se ainda em grande controvérsia. Duas teorias são mais aceitas para essa extinção: mudanças climáticas e colisão de um enorme meteorito com a Terra. Esse período é ricamente marcado na paleontologia brasileira. São inúmeras as ocorrências de fósseis nas bacias do Araripe, Sergipe-Alagoas, Pernambuco-Paraíba, Potiguar e bacias interiores do Nordeste (Figuras 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18).

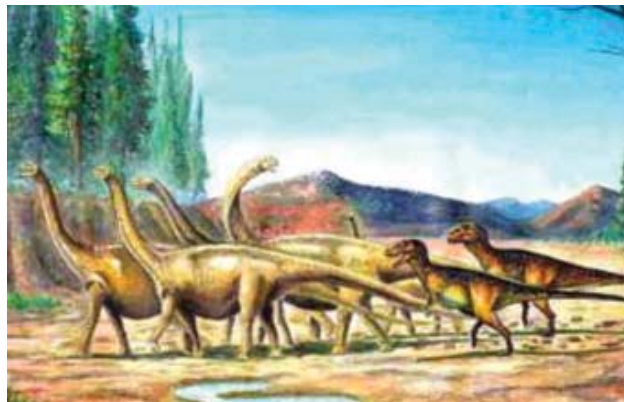


Figura 2.16 – O conjunto de 13 sítios fossilíferos com pegadas de dinossauros na Formação Sousa, bacia do rio do Peixe (PB), contém grandes e pequenos terópodes, saurópodes, ornitópodes e ornitísquio (LEONARDI e CARVALHO, 2002).



Figura 2.17 – *Tharrhias araripis* Jordan & Branner, 1908, um dos peixes mais comuns nos nódulos calcários do Membro Romualdo da bacia do Araripe (MAISEY, 1991).



Figura 2.18 – Insetos e vegetais com grande diversidade e excepcional preservação, encontrados na bacia do Araripe, no calcário laminado do Membro Crato.

PALEOCENO: DIVERSIFICAÇÃO E IRRADIAÇÃO DOS MAMÍFEROS E ANGIOSPERMAS

No Paleoceno (65,5-55,8 M.a.), houve o sucesso da evolução dos grandes mamíferos que se tornaram cada vez mais diversificados. A principal característica dessa época é a proliferação de pequenos mamíferos, ancestrais dos roedores, e primatas atuais. A fauna marinha é caracterizada por bivalvíos, gastrópodes, equinóides e foraminíferos, sendo que esses últimos se tornaram muito abundantes. A vegetação e o clima tropical eram predominantes e alguns mamíferos já estavam dominando o meio aquático. Houve também a diversificação e irradiação das angiospermas. O Paleoceno foi um estágio importantíssimo na história dos mamíferos. Infelizmente, muitos fósseis dessa época são escassos ou inteiramente desconhecidos. No Brasil, temos representantes desse período, por exemplo, na bacia de Itaboraí (RJ) (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Reconstrução do *Carodnia*, um dos mamíferos herbívoros encontrados em Itaboraí, que ajudou a entender a evolução das formas de esmalte dental (FERRAZ, 2007).

EOCENO: EXPANSÃO DAS AVES E ANGIOSPERMAS

Durante os 20 milhões de anos de duração do Eoceno (55,8-33,9 M.a.), os mamíferos se desenvolveram ainda mais e houve uma modernização importante da fauna. As aves se expandiram e surgiu grande parte das linhagens das atuais angiospermas. O Eoceno Inferior teve as mais altas temperaturas de todo o Cenozóico, bem acima de 30°C. Existiam ligações de terra entre a Antártida e a Austrália, entre América do Norte e Europa através da Groenlândia e, provavelmente, entre a América do Norte e a Ásia com o Estreito de Bering. Surge a maioria dos mamíferos modernos, todos de tamanho pequeno. No Eoceno Médio, a separação entre a Antártida e a Austrália criou uma passagem de água entre esses continentes, mudando os padrões de circulação das correntes oceânicas.

No Eoceno Superior, a nova circulação dos oceanos resultou em temperaturas mais baixas. O tamanho do corpo dos mamíferos aumentou, houve um avanço da vegetação de savanas e redução nas florestas (Figura 2.20).

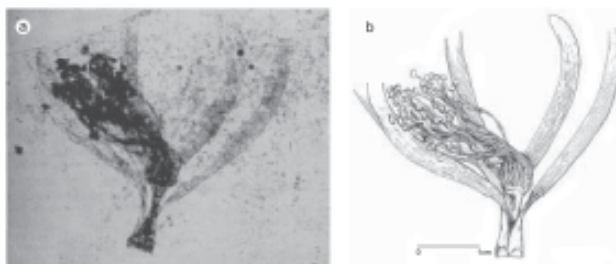


Figura 2.20 – O fóssil mais notável é uma flor que apresenta seu primeiro registro no Cenozóico do Brasil – *Eriotheca prima*: (a) impressão; (b) reconstituição (MELLO et al., 2002).

No Brasil, a Bacia de Fonseca, situada na região do Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais, constitui um exemplo de sedimentos provavelmente eocênicos da Formação Fonseca, com grande quantidade de angiospermas.

OLIGOCENO: PRIMATAS ANTROPÓIDES

O Oligoceno (33.9-23 M.a.) registra uma extensão relativamente curta, embora um grande número de mudanças tenha ocorrido durante esse tempo, como o aparecimento dos primeiros elefantes, dos cavalos modernos, das gramíneas e dos primatas antropóides. Houve o início de um esfriamento generalizado, com geleiras que se formam pela primeira vez na Antártida durante o Cenozóico. O aumento das camadas de gelo causou um recuo no nível de mar. Embora tenha havido um período de aumento de temperatura no Oligoceno Superior, a tendência de esfriamento global continuou, culminando nas idades do Gelo quaternárias. Houve a principal evolução e a dispersão de tipos modernos de angiospermas. A vegetação das latitudes mais altas do hemisfério Norte transformou a floresta tropical em um bosque temperado. A continuação da disper-



Figura 2.21 – *Paraphysornis brasiliensis*, um predador de quase dois metros de altura, originário da bacia de Taubaté (disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/>>; acesso em: 27 set. 2007).

são da fauna de mamíferos por terra entre a Ásia e a América do Norte foi responsável pelo surgimento de diversas linhagens nos novos continentes.

No Brasil, temos o exemplo da bacia de Taubaté (Figura 2.21), cujos sedimentos foram depositados no Neo-Oligoceno/Eomioceno.

MIOCENO: DIVERSIFICAÇÃO DE MAMÍFEROS E ANGIOSPERMAS

No Mioceno (23-5,30 M.a.), continuou a diversificação dos mamíferos e das angiospermas e, no final do período, o clima esfriou. Foi um momento de climas mais favoráveis que os do Oligoceno e do Plioceno, marcado por uma expansão dos campos e cerrados correlacionada a um clima mais árido no interior dos continentes. A Placa Africana-Arábica uniu-se à Ásia, fechando o mar que havia separado previamente esses dois continentes. Assim, as respectivas faunas se uniram, gerando novas competições e extinções, aparecendo novas espécies animais e vegetais. Mamíferos e aves se desenvolveram. Além das mudanças em terra, os recém-formados ecossistemas marinhos levaram ao desenvolvimento de novos organismos.

O sítio paleontológico Ilha de Fortaleza, no município de São João de Pirabas, no estado do Pará, guarda uma das mais expressivas ocorrências do Cenozóico marinho do Brasil, com grande variedade de moluscos e equinóides. Esse sítio é considerado a seção-tipo da Formação Pirabas (Mioceno), marcando o limite sul da província paleobiogeográfica caribenha (Figura 2.22).



Figura 2.22 – Biocalcirrudito com abundante conteúdo fóssilífero (TÁVORA et al., 2002).

PLIOCENO: FORMAÇÃO DE SAVANAS E PRIMEIROS HOMINÍDEOS

No Plioceno (5,33-1,80 M.a.), a evolução dos primatas se caracterizou pela evolução dos símios bípedes ou dos primeiros hominídeos (homens primitivos). Ocorreram eras glaciais que causaram um resfriamento global. Houve uma acumulação de gelo nos pólos que conduziriam à extinção de muitas espécies. O clima mudou de tropical para mais frio. A junção das placas tectônicas das Américas do Norte e do Sul foi causada por um deslocamento da Placa do Caribe, que se moveu ligeiramente para leste, formando o istmo do Panamá. A conexão entre as Américas teve impacto na flora e na fauna (Figura 2.23). A criação do istmo permitiu o intercâmbio das



Figura 2.23 – *Purussaurus brasiliensis*, um jacaré gigantesco que viveu no Plioceno (Formação Solimões) no Brasil (Acre) e na Venezuela. Estima-se que podia atingir 20 metros de comprimento (disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/4242>>; acesso em: 18 set. 2007).

espécies entre os dois continentes e a junção das placas tectônicas conduziu também a mudanças no ambiente marinho.

PLEISTOCENO: EXTINÇÃO DE ESPÉCIES E SURGIMENTO DO HOMEM

No Pleistoceno (1,8-0,01 M.a.), ocorreu a extinção de muitas formas de mamíferos, aves e plantas e o surgimento da espécie humana. A glaciação avançou cada vez mais em direção ao Equador, esfriando uma terça parte da Terra. Depois, retrocedeu e o clima voltou a ser temperado. No final, as geleiras avançaram e retrocederam várias vezes. Ocorreram as glaciações mais recentes e o clima e as temperaturas mudaram drasticamente. Houve um bom número de animais de grande porte, hoje extintos, como, por exemplo, o mastodonte, o mamute e o tigre-dente-de-sabre. Os fósseis desse período são abundantes, bem preservados e sua datação é

precisa. Os foraminíferos, diatomáceas e grãos de pólen são diagnósticos sobre os paleoclimas (Figura 2.24).

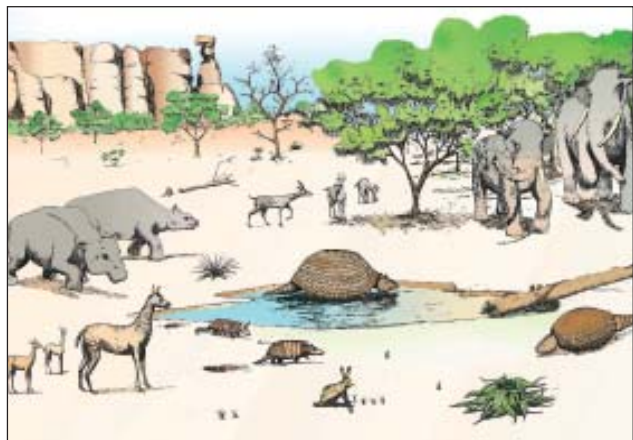


Figura 2.24 – Mamíferos do Pleistoceno (bacia do Parnaíba): *toxodon*, veado catingueiro, mastodonte, tatu gigante, tatu comum, lhama e coelho (SANTOS e CARVALHO, 2005).

HOLOCENO: DISPERSÃO DA ESPÉCIE HUMANA

Essa época é caracterizada pela dispersão da espécie humana e este é o nome dado aos últimos 11 mil anos da história da Terra, começando no fim da última era glacial ou Idade do Gelo. Desde então, houve pequenas mudanças do clima. O Holoceno testemunhou toda a história da humanidade e a ascensão e queda de todas as suas civilizações (Figura 2.25).

A poluição e a destruição dos vários *habitats*, inclusive pelo homem, estão causando uma extinção maciça de muitas espécies de plantas e de animais. Durante o Holoceno, houve o grande desenvolvimento do conhecimento e da tecnologia humana. Os paleontólogos tomam parte nesse esforço para compreender a mudança global, já que os fósseis fornecem dados sobre o clima e o meio ambiente passado.

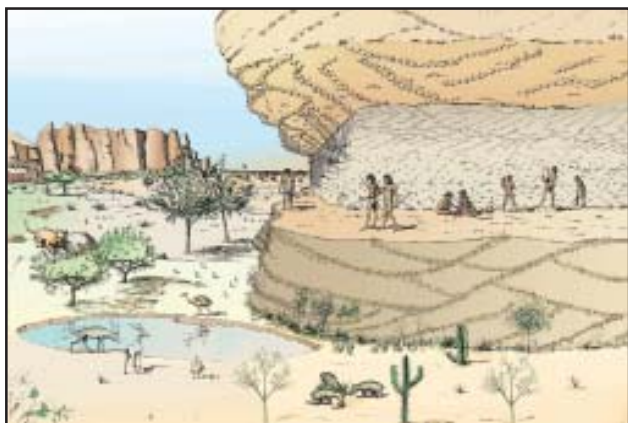


Figura 2.25 – Rochas do Grupo Serra Grande (Bacia do Parnaíba), abrigo de homens pré-históricos (SANTOS e CARVALHO, 2005).

MICROFÓSSEIS

Aliados aos macrofósseis, os microfósseis desempenham um papel importante no desenvolvimento das biotas passadas. O seu registro desde o Pré-Cambriano permite datações precisas ao longo do tempo (acritarcos, quitinozoários, dinoflagelados, conodontes, escolecodontes radilários, diatomáceas, foraminíferos, ostracodes, esporos e grãos de pólen, dentre outros) e são elementos importantes para o estudo de petróleo, carvão, diatomito e demais rochas de origem orgânica (Figura 2.26).

Eles são imprescindíveis nos zoneamentos cronobioestratigráficos, nas correlações estratigráficas intra- e intercontinentais e no mapeamento geológico das bacias sedimentares. Além disso, os paleontólogos estudam, por meio de seus registros, a influência das mudanças climáticas sobre as biotas.

Devido a sua ampla distribuição geográfica e cronoeestratigráfica, os microfósseis são encontrados nos mais variados ambientes continentais e marinhos, havendo registros de suas ocorrências em toda a coluna geológica, do Pré-Cambriano ao Holoceno (Figura 2.27).

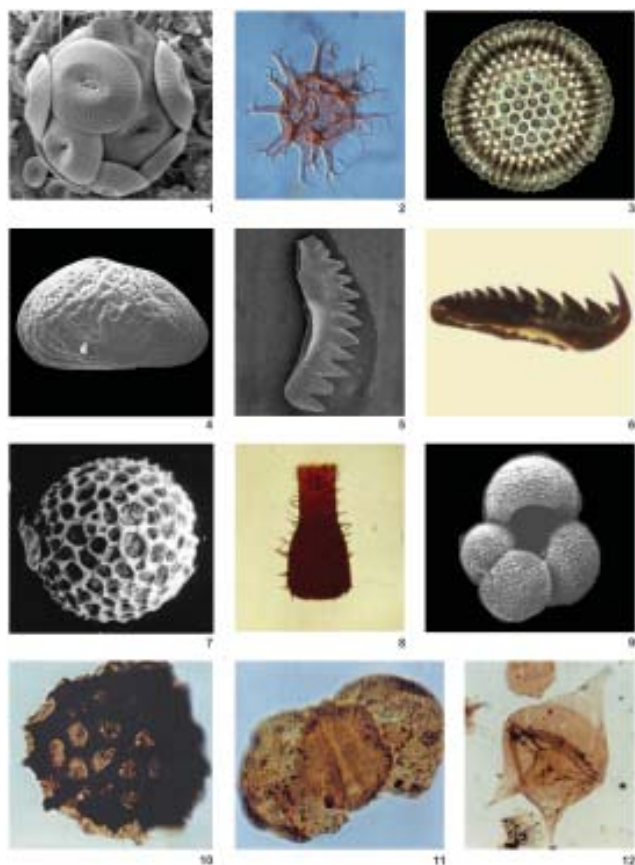


Figura 2.26 – Representantes de alguns grupos de microfósseis: (1) nanofóssil calcário; (2) acritarco; (3) diatomácea; (4) ostracode; (5) conodonte; (6) escolecodonte; (7) radiolário; (8) quitinozoário; (9) foraminífero; (10) esporo; (11) pólen; (12) dinoflagelado.

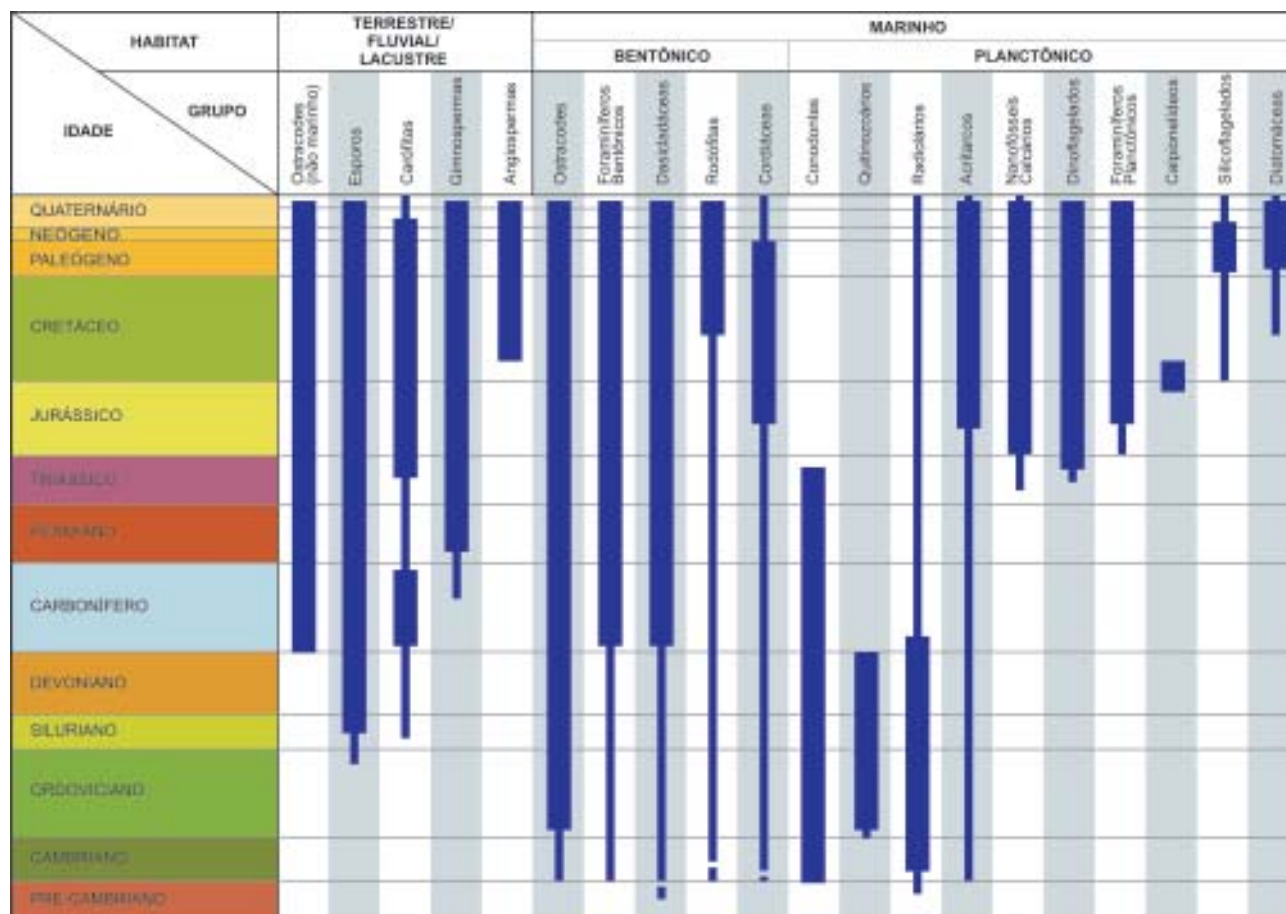


Figura 2.27 – Ocorrência e distribuição de microfósseis (modificado de Petrobras, 2005).

BIBLIOGRAFIA

- BLUM, S. Tharrhias Jordan @ Branner, 1908. In: MAISEY, J. G. (Ed.). *Santana fossils: an illustrated atlas*. New Jersey: T. F. H. Publications, 1991. 459 p. p. 286-295.
- FERRAZ, M. Os dentes contam a história: mamíferos herbívoros do paleoceno tinham esmalte dental resistente. *Revista Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, n. 234, jan.-fev. 2007. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br>>.
- LEONARDI, G.; CARVALHO, I. S. Icnofósseis da bacia do rio do Peixe, PB: o mais marcante registro de pegadas de dinossauros do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, p. 101-111.
- LEVINTON, J. S. The Big Bang of animal evolution. *Scientific American*, New York, n. 267, p. 84-91, nov. 1992.
- LONG, J. A. *The rise of fishes: 500 million years of evolution*. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1995. 223 p.
- MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. *Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 497 p.
- MAISEY, J. G. (Ed.). *Santana fossils: an illustrated atlas*. New Jersey: T. F. H. Publications, 1991. 459 p.
- MELLO, C. L.; SANT'ANNA, L. G.; BERGQVIST, L. P. Fonseca, MG: vegetais fósseis do terciário brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, p. 73-79.
- PETROBRAS. *Tabela cronoestratigráfica de microfósseis*. PETROBRAS: Gerência de Bioestratigrafia e Paleontologia, 2005. Avulso.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para entender a Terra*. 4. ed. Tradução Rualdo Menegat. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p. il.
- SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. de. *Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís: reconstituições paleobiológicas*. Rio de Janeiro: CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, 2005. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Relatório interno. CD-ROM.

SOUZA-LIMA, W. Os fósseis da bacia Sergipe-Alagoas: algas e construções algais. *Phoenix*, v. 3, n. 32, p. 1-2, 2001. TÁVORA, V. A.; FERNANDES, A. C. S.; FERREIRA, C. S. Ilha de Fortaleza, PA: expressivo registro de fósseis do cenozóico marinho do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.;

CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, p. 139-144.



MARISE SARDENBERG SALGADO DE CARVALHO

Graduada em História Natural pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Doutorado em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2002). Paleontóloga da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais desde 1970, especializando-se em pesquisas sobre peixes do Cretáceo do Brasil e bacias sedimentares brasileiras. Desenvolveu trabalhos em projetos sobre carvão, sulfetos e calcários, colaborando em vários relatórios da CPRM. Participou de diversos trabalhos de campo com coleta de fósseis que resultaram em artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais. É membro da Sociedade Brasileira de Paleontologia, participando de congressos e simpósios. Consultora em exposições do Museu de Ciências da Terra-DNPM e na Coleção de Paleovertebrados do Instituto de Geociências da UFRJ e da UERJ. Professora convidada da Disciplina Paleontologia de Vertebrados do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ. Aposentou-se da CPRM em 2007 e continua realizando trabalhos de pesquisa em paleontologia de vertebrados.



NORMA MARIA DA COSTA CRUZ

Paleontóloga, bacharel e licenciada em História Natural pela Universidade do Brasil (UFRJ). Doutora em Ciências-Geologia pela Universidade de São Paulo (USP). Membro da Academia Brasileira de Ciências. Trabalhou no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), onde desenvolveu trabalhos na área de Micropaleontologia. Em 1970, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) para organizar, estruturar e implantar o Laboratório de Bioestratigrafia do Laboratório de Análises Minerais (LAMIN). Desde 1998 exerce a função de chefe da Divisão de Paleontologia do Departamento de Geologia. Suas áreas de pesquisa são: Bioestratigrafia e Micropaleontologia, com ênfase em Palinologia. Tem atuado no estudo de microfósseis, nas datações cronobioestratigráficas, determinações paleoambientais e correlações estratigráficas, com base em microfósseis, para projetos executados pela CPRM/SGB. Tem como linha de pesquisa específica: Palinologia e Bioestratigrafia do Paleozóico.

3

ORIGEM DAS PAISAGENS

Marcelo Eduardo Dantas (*mdantas@rj.cprm.gov.br*)

Regina Célia Gimenez Armesto (*gimenez@rj.cprm.gov.br*)

Amílcar Adamy (*adamy@pv.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Geodiversidade das Paisagens Naturais	34
A Geomorfologia como um Saber Estratégico para a Análise Integrada dos Estudos do Meio Físico	34
Compartimentação Morfológica dos Terrenos e Geodiversidade no Brasil	39
Domínio das Terras Baixas Florestadas Equatoriais da Amazônia	39
Domínio dos Chapadões Semi-Úmidos Tropicais do Cerrado	41
Domínio das Depressões Semi-Áridas Tropicais da Caatinga	44
Domínio dos Mares-de-Morros Úmidos Tropicais da Mata Atlântica	46
Domínio dos Planaltos Úmidos Subtropicais da Mata de Araucárias	51
Domínio das Coxilhas Úmidas Subtropicais da Campanha Gaúcha	52
Domínio da Planície Inundável Semi-Úmida Tropical do Pantanal	53
Bibliografia	55

GEODIVERSIDADE DAS PAISAGENS NATURAIS

Um dos primeiros elementos de análise no estudo do meio físico é a paisagem natural ou paisagem geomorfológica. Destaca-se na superfície terrestre uma profusão de diferentes tipos de paisagens naturais com gênese e desenvolvimento distintos. Desde as cordilheiras, com as montanhas mais altas do planeta (por exemplo, Himalaia, Andes, Rochosas, Alpes, Cáucaso etc.), até as mais extensas planícies fluviais do mundo (por exemplo, Amazonas, Congo, Ganges, Yang-Tzé, Mississipi etc.), pode-se estudar uma grande diversidade de formas de modelado do relevo. Para entender a paisagem natural ou geomorfológica, é necessário estudar a morfologia dos terrenos, sua gênese, evolução e a fisiologia das paisagens.

A morfologia dos terrenos é um dos principais temas de análise da geomorfologia e é resultante de uma intrincada inter-relação de um conjunto de elementos do meio geobiofísico (rochas, clima, solos, água, biota) que está em dinâmica transformação decorrente da ação dos processos geológicos, hidrológicos e atmosféricos (SELBY, 1985). Essa dinâmica superficial da paisagem geomorfológica é, por sua vez, continuamente transformada pela ação do homem no espaço geográfico, atividade cada vez mais intensa à medida que a sociedade se torna mais tecnificada. Desse modo, não é possível preconizar a existência de paisagens naturais, pois todas apresentam, em maior ou menor grau, a interferência do homem.

O estudo das paisagens naturais por meio da geomorfologia reveste-se, portanto, de relevante interesse para a avaliação da geodiversidade de uma determinada região, uma vez que a morfologia dos terrenos traduz uma interface entre todas as outras variáveis do meio físico e consiste em um dos elementos em análise, segundo definição de geodiversidade proposta por CPRM (2006):

“O estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico.”

A origem das formas de relevo pode ser analisada com relação a seu substrato (ou meio abiótico), pela atuação compartilhada de processos endógenos (tectônica, vulcanismo, sismicidade) – que promovem a geração de massa rochosa e relevos positivos ou negativos – e processos exógenos (intemperismo, erosão, sedimentação) – que promovem a esculturação e a denudação das massas rochosas anteriormente geradas (SUMMERFIELD, 1991). Essa denudação do relevo, contudo, não ocorre de forma

uniforme, devido à resistência diferencial das distintas litologias frente aos processos de intemperismo (físico e químico) e erosão. Frequentemente, rochas muito resistentes, tais como quartzitos ou granitos, geram relevos residuais positivos em uma paisagem desgastada pela erosão, produzindo serras isoladas ou *inselbergs*.

De forma simples, pode-se afirmar que, enquanto os processos endógenos promovem o soerguimento da crosta terrestre, gerando relevos montanhosos, os processos exógenos promovem o arrasamento dos relevos soerguidos, gerando relevos aplainados e as grandes planícies (Figura 3.1).

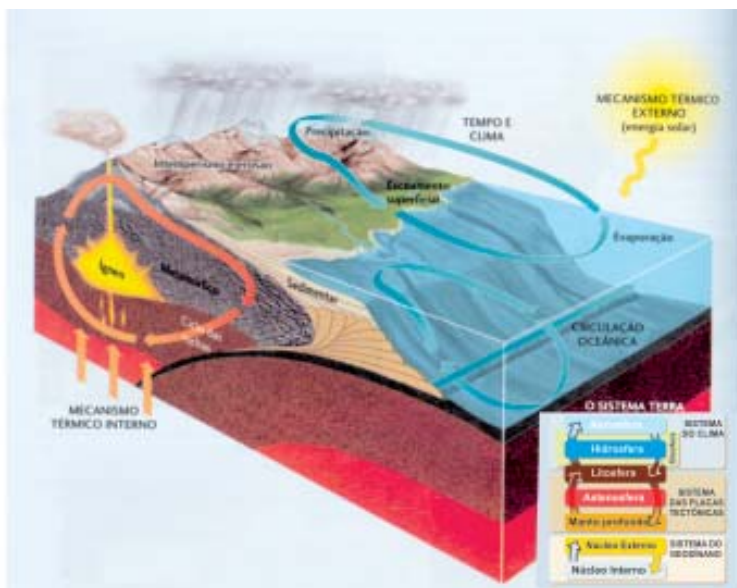


Figura 3.1 – A paisagem geomorfológica como resultante da interação dinâmica entre processos endógenos (controlados pela tectônica) e processos exógenos (controlados pelo clima) (PRESS et al., 2006, p. 460).

Desse modo, as formas de relevo observadas em uma determinada região devem ser compreendidas como produtos de um estágio de desenvolvimento do conjunto das paisagens geomorfológicas. Ou seja, um “pão-de-açúcar”, um *rift-valley*, uma escarpa erosiva, uma planície aluvionar ou uma superfície de aplainamento sofreram um longo período de atuação de processos endógenos e/ou exógenos para atingir sua morfologia atual.

A GEOMORFOLOGIA COMO UM SABER ESTRATÉGICO PARA A ANÁLISE INTEGRADA DOS ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

AB’SABER (1969) já propunha uma análise dinâmica da geomorfologia aplicada aos estudos ambientais, com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação de uma compartimentação morfológica dos terrenos; levantamento da estrutura superficial das paisagens; estudo da fisiologia da paisagem (Figura 3.2).

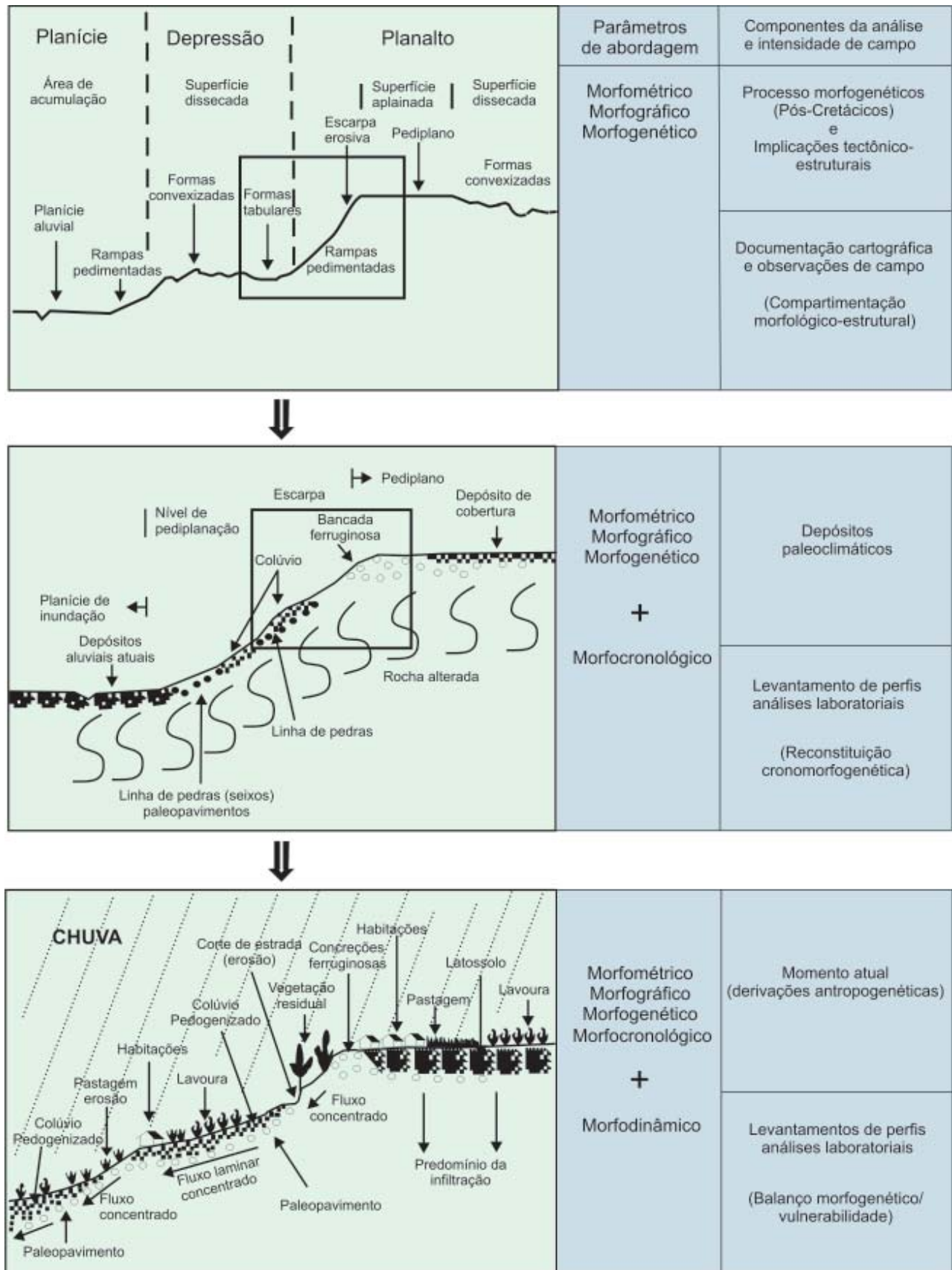


Figura 3.2 – Proposição de análise geomorfológica, onde são considerados: análise da compartimentação morfológica do relevo; estrutura superficial dos terrenos; fisiologia da paisagem (AB’SABER, 1969).

A compartimentação morfológica dos terrenos é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Terreno – MDT). Essa avaliação é diretamente aplicada aos estudos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial, constituindo-se em uma primeira e fundamental contribuição da geomorfologia.

A estrutura superficial das paisagens pode ser entendida com o estudo dos mantos de alteração *in situ* (formações superficiais autóctones) e das coberturas inconsolidadas (formações superficiais alóctones) que jazem sob a superfície dos terrenos. Tais estudos são fundamentais para a compreensão da gênese e evolução das formas de relevo, pois, aliados à compreensão da compartimentação morfológica dos terrenos, consistem em uma importante ferramenta para avaliação do grau de fragilidade natural dos terrenos frente aos processos erosivos e deposicionais.

O estudo da fisiologia da paisagem, por sua vez, consiste na análise integrada das diversas variáveis ambientais em sua interface com a geomorfologia, ou seja, a influência dos condicionantes litológico-estruturais, dos padrões climáticos e dos tipos de solos na configuração física das paisagens. O objetivo de tal avaliação é compreender a ação dos processos erosivo-deposicionais atuais, incluindo todos os impactos decorrentes da ação antropogênica sobre a paisagem natural. Assim, inclui-se na análise geomorfológica o estudo da morfodinâmica, com ênfase para a análise de processos.

Em escalas pequenas, de grande abrangência espacial, tal como no mapeamento da geodiversidade do Brasil na escala 1:2.500.000 (CPRM, 2006), a contribuição da geomorfologia para o mapeamento da geodiversidade concentra-se no estudo da morfologia dos terrenos que consiste, em uma primeira abordagem, da análise geomorfológica. Todavia, em nenhum momento deve-se desconsiderar uma avaliação genética e evolutiva do modelado do relevo.

Para a análise do modelado dos terrenos, são utilizados parâmetros morfológicos e morfométricos que mensuram as características fisiográficas do relevo, destacando-se:

- **Amplitude de relevo:** É um parâmetro que mensura o desnivelamento de relevo entre a cota dos fundos de vales e a cota dos divisores de água em uma bacia de drenagem. Esse parâmetro retrata o grau de entalhamento de uma determinada unidade de paisagem e a correspondente dimensão das formas de relevo presentes. Áreas com elevadas amplitudes de relevo são consideradas montanhosas. Por sua vez, áreas com baixas amplitudes de relevo são aplainadas ou, no máximo, colinosas.

- **Gradiente:** É um parâmetro que mensura o ângulo de declividade de uma vertente ou de uma bacia de drenagem. Reflete, de forma geral, a vulnerabilidade de uma unidade de paisagem frente aos processos erosivo-deposicionais. Áreas com elevados gradientes são, em geral, morrosas ou montanhosas; já as com baixos gradientes são aplainadas ou colinosas. Áreas deposicionais (planícies) apresentam gradiente inexpressivo.

- **Densidade de drenagem:** É um parâmetro que mensura a razão entre o comprimento total de canais e a área da bacia de drenagem. Retrata o grau de dissecação de uma determinada unidade de paisagem. Áreas com elevada densidade de drenagem apresentam relevo movimentado, típico de regiões morrosas ou montanhosas; as com baixa densidade de drenagem, por sua vez, apresentam relevo suave, típico de superfícies planas ou colinosas.

- **Geometria de topos e vertentes:** Consiste em uma avaliação morfológica que descreve a forma de denudação de uma determinada unidade de paisagem, indicando o modo pelo qual as formas de relevo foram modeladas ao longo do tempo geológico. As formas geométricas de topos podem ser classificadas em: aguçadas, ou em cristas; arredondadas; ou tabulares. Já as formas geométricas das vertentes podem ser classificadas em: convexas, retilíneas e côncavas.

Com base na leitura qualitativo-quantitativa da fisiografia, pode-se classificar a paisagem natural em distintas unidades geomorfológicas, que consistem no produto da resistência diferencial dos materiais frente aos processos de erosão e sedimentação:

- **Planícies:** Consistem em áreas planas, resultantes de acumulação fluvial, marinha ou flúvio-marinha, geralmente sujeitas a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais ou zonas embrejadas. São constituídas por sedimentos inconsolidados de idade quaternária. Caracterizam-se por relevos deposicionais. Apresentam amplitudes de relevo e declividades inexpressivas (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Planície fluvial do alto curso do rio São João (município de Silva Jardim, RJ).

• **Tabuleiros:** São formas de relevo suavemente dissecadas que apresentam extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes da dissecção fluvial recente. São constituídas, em geral, por rochas sedimentares pouco litificadas de idade cenozóica. Apresentam amplitudes de relevo baixas, declividades inexpressivas e baixa densidade de drenagem (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Tabuleiros dissecados pelo rio Guaxindiba (município de São Francisco do Itabapoana, norte fluminense).

• **Planaltos:** São superfícies pouco acidentadas, constituindo grandes massas de relevo arrasadas pela erosão, posicionadas em cotas mais elevadas que as superfícies adjacentes. Quando modelados em rochas sedimentares antigas, recebem a denominação de “chapadas”, que são superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, incipientemente dissecados. Os rebordos dessas superfícies, posicionados em cotas elevadas, são delimitados, em geral, por vertentes íngremes a escarpadas. Apresentam internamente amplitudes de relevo e declividades baixas a moderadas e baixa densidade de drenagem (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Aspecto de chapada isolada no sul do Piauí, em vasta superfície de aplainamento (município de Corrente, PI).

• **Superfícies de aplainamento:** São superfícies planas a levemente onduladas, geradas a partir do arrasamento geral dos terrenos, truncando todas as litologias (Figura 3.6). É freqüente a ocorrência de relevos residuais isolados (*inselbergs*) (Figura 3.7), destacados na paisagem aplainada. Essas superfícies representam, em linhas gerais, tanto os planaltos mais elevados (superfícies de erosão mais antigas – por exemplo, a Chapada dos Guimarães/MT), quanto grandes extensões das depressões interplanálticas do território brasileiro (superfícies de erosão mais jovens – por exemplo, Depressão Sertaneja/BA). Apresentam amplitudes de relevo e declividades inexpressivas e baixa densidade de drenagem.



Figura 3.6 – Depressão Sertaneja. Vasta superfície de aplainamento truncando todas as litologias no sul do Piauí (município de Parnaçuá, PI).



Figura 3.7 – Morro de Santo Antônio. Depressão Cuiabana (município de Santo Antônio do Leverger, MT).

• **Depressão:** Trata-se de uma zona geomorfológica que está em posição altimétrica mais baixa que as áreas contíguas. Área ou porção do relevo

situada abaixo do nível do mar é uma depressão absoluta (por exemplo, mar Morto). Quando a área ou porção do relevo está situada abaixo do nível das regiões que lhe estão próximas, é considerada uma depressão relativa (por exemplo, vale do rio Paraíba do Sul). As depressões podem apresentar relevo aplainado ou colinoso (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Depressão Sertaneja, embutida entre a borda leste da Chapada Diamantina e a serra de Jacobina (BA).

- **Colinas:** Consiste em um relevo pouco dissecado, com vertentes convexas ou convexo-côncavas e topos amplos ou arredondados. O sistema de drenagem principal apresenta deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Apresentam amplitudes de relevo e declividades moderadas e moderada a alta densidade de drenagem (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Colinas amplas e suaves (município de Araruama, RJ).

- **Montanhas:** É um relevo muito acidentado, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Apresenta amplitudes de relevo e declividades elevadas e alta densidade de drenagem (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Relevo montanhoso da região serrana do Rio de Janeiro. Em destaque, a Pedra Aguda (município de Bom Jardim, RJ).

- **Escarpas:** É um tipo de relevo montanhoso, muito acidentado, transicional entre dois padrões de relevo, com desnivelamentos superiores a, pelo menos, 300 m. Apresentam vertentes muito íngremes e dissecadas, com geometria retilíneo-côncava. Há ocorrência freqüente de vertentes escarpadas com gradientes muito elevados (superiores a 45°) e paredões rochosos subverticais. Apresentam amplitudes de relevo e declividades elevadas e alta densidade de drenagem (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Alto da escarpa da serra Geral. Estrada da serra do rio do Rastro (Coluna White, divisa SC-RS).

COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLÓGICA DOS TERRENOS E GEODIVERSIDADE NO BRASIL

A idade da geração das rochas não guarda qualquer relação com a presente configuração morfológica do relevo do Brasil. O atual cenário geomorfológico do território brasileiro começa a se delinear a partir de fins do Cretáceo com: a progressiva abertura do oceano Atlântico; a orogênese Andina ao longo do Terciário; o desequilíbrio isostático da Placa Sul-Americana; a subsidência da Amazônia Ocidental, do Chaco e do Pantanal; o soerguimento epirogenético da plataforma brasileira. Destacam-se, nesse contexto, os grandes falhamentos cenozóicos na Fachada Atlântica brasileira, gerando as escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira, e as bacias sedimentares interiores e da plataforma continental. As superfícies de aplainamento (excetuando-se as cimeiras mais elevadas), os planaltos residuais e as depressões periféricas e interplanálticas também são esculpidas a partir da epirogênese pós-cretácica.

Entende-se por orogênese um conjunto de processos geológicos que resulta na formação de uma cadeia de montanhas (orógeno) e que está relacionado à tectônica compressional das placas tectônicas. A epirogênese, por sua vez, consiste em uma movimentação verticalizada, positiva ou negativa, sem deformação da crosta terrestre, geralmente lenta e que afeta uma ampla região, em decorrência de reações isostáticas atuantes na placa tectônica.

A seguir, serão apresentados, de forma sumária, os principais conjuntos ou domínios geomorfológicos brasileiros, identificados com base na classificação de domínios morfoclimáticos e províncias geológicas proposta por AB'SABER (1967, 1970). Para cada domínio são destacadas: configuração morfológica; evolução paleogeográfica; inter-relação com distintos tipos pedológicos, climáticos e fitogeográficos (Figura 3.12).

DOMÍNIO DAS TERRAS BAIXAS FLORESTADAS EQUATORIAIS DA AMAZÔNIA

Nesse domínio se destacam quatro padrões morfológicos principais: planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas; tabuleiros de terra firme; superfícies de aplainamento das áreas cratônicas; planaltos e serras modelados em coberturas plataformais ou litologias mais resistentes à erosão (planaltos e serras residuais). Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e úmido a superúmido e sob intensa atuação do intemperismo químico e lixiviação dos solos, que permite a formação de paisagens, em geral, monótonas, recobertas em quase sua totalidade pela vegetação florestal.

O rio Amazonas, até aproximadamente 10 milhões de anos (entre o Mioceno e o Plioceno), fluía para o oeste em direção ao oceano Pacífico. A partir da orogênese Andina, devido à colisão da Placa Sul-Americana e da Placa de Nazca, essa passagem para oeste foi bloqueada e o



Figura 3.12 – Mapa de domínios morfoclimáticos do Brasil (AB'SABER, 1969).

rio Amazonas inverteu seu sentido para leste, passando a desembocar no oceano Atlântico (RÄSÄNEN et al., 1987). Na Amazônia Ocidental, formou-se uma imensa bacia sedimentar entulhada por sedimentos provenientes da erosão da cordilheira dos Andes, gerando assim uma sedimentação flúvio-lacustrina (Formação Solimões), com a posterior formação de depósitos fluviais de idade quaternária. A partir do Pleistoceno Superior, esses depósitos passam a ser incipientemente entalhados, sendo que os níveis deposicionais atuais limitam-se às atuais várzeas.

Planície de Inundação

As planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas ocupam os vastos fundos de vales dos principais rios da Amazônia que alcançam, por vezes, dezenas de quilômetros de largura e consistem nas únicas zonas deposicionais ativas na Amazônia. Essas planícies aluviais, caracterizadas por vegetação de igapó e matas de várzea adaptadas a ambientes inundáveis, apresentam idade quaternária. Os terraços fluviais são correlatos ao Pleistoceno Superior e as planícies de inundação, ao Holoceno. As várzeas amazônicas apresentam notável diversidade morfológica, devido a distintos padrões de sedimentação aluvial desenvolvidos por uma rede de drenagem de padrão meandrante de alta sinuosidade (tais como as planícies ao longo dos rios Purus e Juruá) ou de padrão anastomosado ou *anabranching* (tais como as dos rios Solimões e Negro). Nesse contexto, são identificadas formas deposicionais, como furos, paranás, planícies de acreção em barras de pontal, planícies de decantação; ilhas fluviais, barras arenosas, lagos, diques marginais etc. (LATRUBESSE e FRANZINELLI, 2002) (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Calha do rio Solimões durante o período máximo de cheia (junho/2008). Observam-se diques marginais acima da cota de cheia ou parcialmente rompidos. Ao fundo, a planície fluvial inundada (margem esquerda do rio Solimões, entre Iranduba e Manacapuru, AM).

Os rios amazônicos apresentam colorações diferenciadas de acordo com o pH, carga de sedimentos e composição química de suas águas, podendo ser barrentas, claras ou pretas (SIOLI, 1957). As planícies constituídas por rios de água barrenta que drenam a vertente oriental da cordilheira andina (por exemplo, rios Madeira e Solimões) (Figura 3.14) apresentam planícies mais extensas e solos com boa fertilidade natural (condição rara na Amazônia), devido à grande descarga de sedimentos oriunda da dissecação (erosão) dos Andes. As planícies constituídas por rios de água preta (por exemplo, rio Negro) apresentam menor sedimentação aluvial, decorrente de baixa carga de sedimentos em suspensão, aliada à alta concentração de sesquióxidos de ferro. As nascentes do rio Negro ocupam um ambiente de clima superúmido do noroeste da Amazônia, na região do cráton das Guianas, com larga ocorrência de solos profundamente lixiviados. As planícies constituídas por rios de água clara, que drenam o planalto brasileiro (por exemplo, rios Tapajós e Xingu), também apresentam esparsas planícies fluviais com moderada carga de sedimentos, porém sem grande concentração de ferro em suas águas.

Tabuleiros de Terra Firme

Os tabuleiros de terra firme ocupam grandes extensões da Amazônia, sendo caracterizados por terrenos planos e baixos (em cotas inferiores a 200 m), com solos espessos, pobres e bem drenados (em geral, Latossolos Amarelos). Em certas porções desses terrenos, os tabuleiros são dissecados em um relevo colinoso ou de colinas tabulares, assumindo particular relevância no Acre e na área ao norte de Manaus (Figura 3.15). Essa morfologia decorre de um longo processo de elaboração de espessos perfis intempéricos lateríticos com desenvolvimento de horizontes ferruginosos



Figura 3.14 – Ampla calha do rio Madeira, apresentando águas barrentas em longo trecho da corredeira Morrinhos, correspondente ao Alto Estrutural Guajará-Mirim–Porto Velho (RO).

concrecionários e horizontes aluminosos em diversas áreas dos tabuleiros e das superfícies aplainadas em toda a Amazônia (COSTA, 1991; HORBE et al., 1997).



Figura 3.15 – Aspecto da superfície dos tabuleiros, dissecados em pequenos vales ortogonais ao longo do percurso da rodovia BR-174, próximo a Presidente Figueiredo (AM). Observam-se topos concordantes e subnivelados das colinas tabulares até a linha do horizonte.

Superfícies de Aplainamentos

As superfícies de aplainamento apresentam cotas que variam entre 200 e 350 m. Notabilizam-se pela ocorrência de extensas áreas aplainadas ou levemente entalhadas pela rede de drenagem. Nesse caso, as superfícies aplainadas são entalhadas e reafeiçoadas, formando um relevo colinoso de baixa amplitude (Perfil 3.1). Tendo em vista que as fases de arrasamento do relevo correspondem a longos períodos de maior aridez ao longo do Cenozóico, o atual clima quente e úmido tende a dissecar os

aplainamentos previamente elaborados (AB'SABER, 1982; BIGARELLA e FERREIRA, 1985). Assim como nos tabuleiros, os solos são, em geral, espessos, pobres, bem drenados (Latossolos e Argilosos) (EMBRAPA, 2001) e ocupados por mata de terra firme.

Planaltos e Serras Residuais

Os planaltos residuais em coberturas plataformais são superfícies planas e elevadas que apresentam um aspecto residual em meio às vastas superfícies aplainadas, distribuindo-se nos crátons do Xingu e das Guianas. Esses planaltos apresentam, no topo, solos espessos, em geral arenosos, pobres e bem drenados, ocupados ora por mata de terra firme, ora por formações de savanas, em especial no norte de Roraima, onde a vegetação é similar aos llanos venezuelanos. Os tepuys representam uma notável feição morfológica da geodiversidade do extremo norte do Brasil (Figura 3.16).



Figura 3.16 – Altos platôs (tepuys) sustentados por cornijas de arenitos conglomeráticos do Supergrupo Roraima, alçado centenas de metros acima do piso regional representado por vastas superfícies de aplainamento do norte da Amazônia (norte de Roraima, próximo à fronteira com a Venezuela). Fotografia: Maria Adelaide Maia.

Além das chapadas, ressaltam vários conjuntos serranos residuais em meio às terras baixas amazônicas, em geral, esculpidas em litologias mais resistentes à erosão. Destacam-se, nesse contexto, as serras do Carajás (PA) (Perfil 3.1), do Navio (AP) e do Tumucumaque (fronteira entre o Brasil e as Guianas), sendo as duas primeiras importantes províncias minerais desenvolvidas em *greenstone belts*, enquanto as porções mais elevadas da serra do Tumucumaque são esculpidas em granitos e charnockitos (CPRM, 2006).

DOMÍNIO DOS CHAPADÕES SEMI-ÚMIDOS TROPICAIS DO CERRADO

Nesse domínio, destacam-se quatro padrões morfológicos principais: topos dos chapadões sustentados por couraças ferruginosas; planaltos dissecados; de-

pressões interplanálticas; planície do rio Araguaia. Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e semi-úmido, com regime estacional bem definido, com verões chuvosos e invernos secos. Ainda assim, as paisagens são submetidas à forte atuação do intemperismo químico com formação de solos espessos, lixiviados e laterizados, recobertas por vegetação de savana, que varia desde campos-cerrados, onde predomina a vegetação herbácea, até cerradões, em que predomina vegetação arbustivo-arbórea.

Topos dos Chapadões

Os topos dos chapadões, sustentados por couraças ferruginosas, ocupam as superfícies mais elevadas do Planalto Central brasileiro. Destacam-se, nesse contexto: Planalto do Distrito Federal (em cotas que variam entre 1.000 e 1.300 m); Espigão Mestre, no oeste da Bahia (em cotas que variam entre 700 e 1.000 m); Chapada dos Guimarães, no Mato Grosso (em cotas que variam entre 700 e 900 m); Chapada das Mangabeiras, no sul do Maranhão e Piauí (em cotas que variam entre 500 e 700 m); Planalto dos Parecís, em Mato Grosso e sul de Rondônia (em cotas que variam entre 500 e 700 m) (Figura 3.17).



Figura 3.17 – Aspecto monótono do topo da Chapada das Covas, apresentando relevo plano a suave ondulado, francamente utilizado para a agricultura mecanizada, de alta produtividade (estrada Silvânia–Luziânia, GO).

As chapadas apresentam solos muito profundos, lixiviados, ácidos (elevado teor de alumínio) e de baixa fertilidade natural (Latossolos álicos, em geral), freqüentemente capeados por couraças detrítico-lateríticas (MAMEDE, 1996; PENTEADO, 1976). Esses terrenos apresentam nível freático, em geral, profundo, mas caracterizado por grande oscilação sazonal, devido ao regime pluviométrico típico dos trópicos semi-úmidos. Essa ampla variação do lençol freático sobre material muito intemperizado promove a remobilização dos sesquióxidos de ferro e sua concentração em um determinado horizon-

te do perfil do solo, originando o concrecionamento laterítico. Essas formações superficiais, assim como as características físicas e químicas dos solos, atestam idade antiga à elaboração dessas superfícies tabulares. O topo das chapadas é marcado pelo desenvolvimento de uma crosta detrítico-laterítica bastante resistente ao intemperismo e à erosão (Perfil 3.2). O relevo plano e tabular, marcado por escarpas e rebordos erosivos das chapadas elevadas está preservado da dissecação moderna, exceto pelo recuo das vertentes (Figura 3.18).



Figura 3.18 – Perfil de solo representativo da cobertura de concreções detrítico-lateríticas imaturas no Planalto Central brasileiro, ressaltando, no topo, horizonte de nódulos pisolíticos, muito endurecidos, de forma subarredondada e diâmetro variando entre 1 a 5 cm, imerso em matriz argilosa (município de Anápolis, GO).

Essas superfícies de aplainamento representam feições reliquias na paisagem do Planalto Central desde o Paleógeno. Assim sendo, atestam estabilidade dos processos morfodinâmicos, mas também refletem intensa atuação de processos de pediplanação e etchplanação, onde o papel do intemperismo químico na formação de espessos mantos de alteração e rebaixamento das superfícies é de fundamental importância para compreensão da gênese

desse tipo de relevo. Apenas o soerguimento promovido pela epirogênese pós-cretácica é capaz de explicar que tais superfícies planas, originalmente elaboradas em ajuste no nível de base regional, estejam alçadas em cotas tão elevadas (Perfil 3.2).

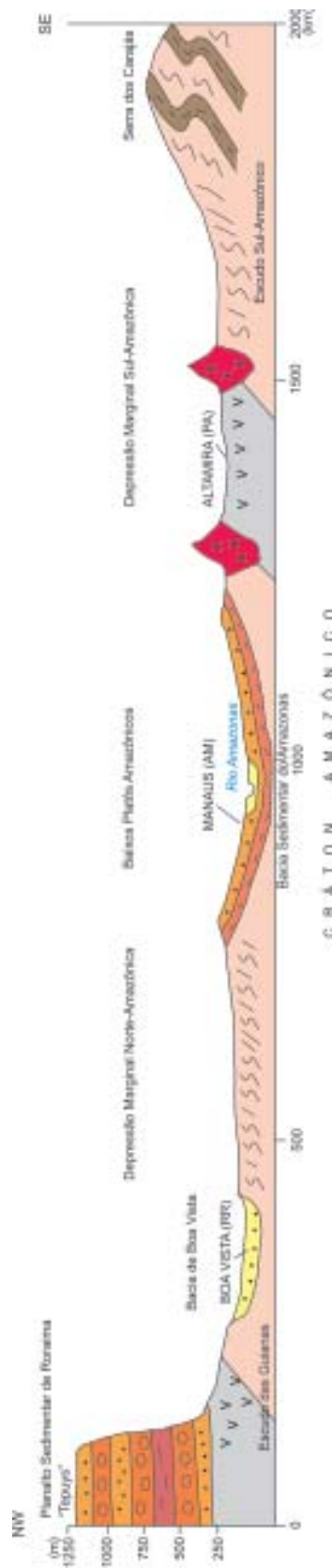
Essa unidade pode apresentar, de forma localizada, uma ocorrência generalizada de voçorocamentos que podem atingir quilômetros de comprimento, muitas vezes, propagados a partir da conversão de cerrado nativos para culturas temporárias (soja, milho, algodão), em solos de maior erodibilidade.

Planaltos Dissecados

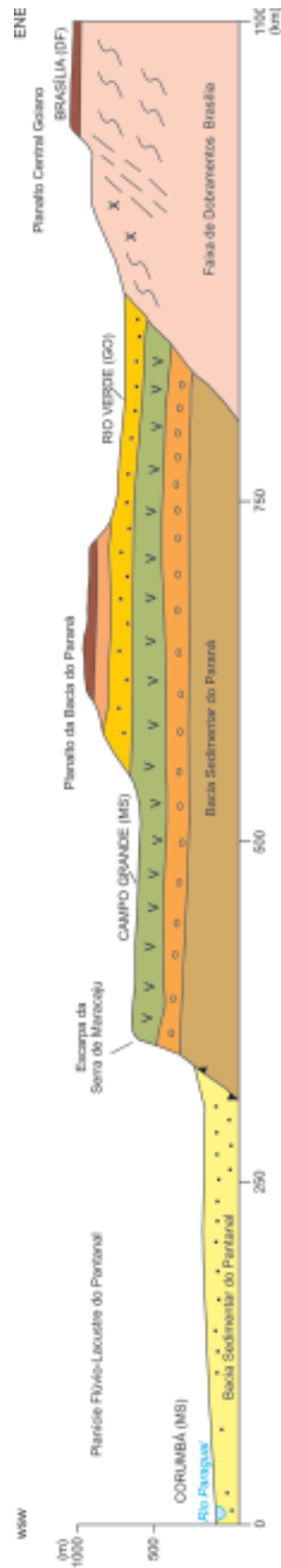
Os planaltos dissecados abrangem terrenos colinosos a morrosos com ocorrência de serras isoladas, típicos do Planalto Central goiano ou do Planalto do centro-noroeste mineiro. Subordinadamente, ocorrem manchas de capões de mata no interior de Goiás e no Triângulo Mineiro, que representam refúgios florestais em meio ao domínio dos cerrados situados em interflúvios sustentados por rochas de composição básica e solos argilosos, de alta fertilidade natural. Esse peculiar condicionante geopedológico favorece o estabelecimento de vegetação florestal isolada, devido à maior capacidade de armazenamento de água no solo e disponibilidade de nutrientes minerais. Também podem ocorrer as matas secas, exclusivamente em áreas de afloramento de rochas calcárias, apresentando solos, em geral, pouco profundos (devido à dissolução química do carbonato de cálcio) e com alta fertilidade natural. Esses terrenos constituem-se em refúgios de vegetação florestal, mas, devido à baixa capacidade de armazenamento de água no solo, essa mata perde as folhas na estação seca, o que a caracteriza como mata decidua ou caducifólia.

Depressões Interplanálticas

As depressões interplanálticas compreendem uma extensa superfície aplainada, que oblitera ou trunca as estruturas do substrato rochoso, apresentando morfologia levemente ondulada, que é drenado por uma rede de baixa densidade, correspondendo a terrenos que sofreram mais intensamente os efeitos do aplainamento. Destacam-se as depressões interplanálticas dos vales dos rios Tocantins e Araguaia, que apresentam cotas entre 450 e 200 m com caimento de sul para norte. Não há desenvolvimento expressivo de formações superficiais cenozóicas, sendo que, mesmo os fundos de vales, não registram expressiva sedimentação aluvial. Comumente, observam-se, ao sul, alinhamentos serranos isolados sustentados por quartzitos ou, ao norte, morros-testemunhos sustentados por seqüências sedimentares da Bacia do Parnaíba mais resistentes ao intemperismo (Figura 3.19).



Perfil 3.1 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transect Roraima – Serra dos Carajás (PA).



Perfil 3.2 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transect Corumbá (MS) – Brasília (DF).



Figura 3.19 – Aspecto das vertentes declivosas dos rebordos erosivos sustentados por rochas sedimentares e o topo plano do Planalto de Uruçuí, no sudoeste do Piauí. Em primeiro plano, vasto pedimento revestido por cerrado no vale do rio Guruguia (município de Cristino Câmara, PI).

Uma feição da paisagem característica dos cerrados, tanto nos planaltos quanto nas depressões, são as matas-galeria – que ocupam os fundos de vales de toda a rede de canais que diseca as chapadas e se apresentam, devido a uma condição local de umidade, como refúgio para a vegetação florestal. Apesar de a longa duração do período seco na região (em torno de seis meses), o lençol freático dos espessos solos do cerrado alimenta continuamente os canais principais, mantendo-os perenes o ano inteiro. Ab'Saber (1963) destaca esse aspecto hidrológico como fundamental para distinguir as áreas de cerrados das áreas de caatingas.

Planície do Rio Araguaia

A planície do rio Araguaia consiste em uma vasta zona deposicional ativa em meio à depressão interplanáltica do Araguaia. Caracteriza-se por uma depressão inundável, alongada no sentido norte-sul e entulhada por sedimentação quaternária, onde se destaca a ilha do Bananal, considerada a maior ilha fluvial do mundo.

DOMÍNIO DAS DEPRESSÕES SEMI-ÁRIDAS TROPICAIS DA CAATINGA

Nesse domínio, destacam-se quatro padrões morfológicos principais: superfícies de aplainamento da Depressão Sertaneja; chapadas sustentadas por rochas sedimentares; serras isoladas e brejos de altitude; Planalto da Borborema. Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e semi-árido, com estiagem muito prolongada (entre 7 e 10 meses). Assim sendo, as paisagens se caracterizam por uma atuação mais intensa do intemperismo físico (desagregação mecânica das rochas), com formação de solos rasos e pedregosos, sendo recobertas por uma xeromórfica arbustiva ou arbustivo-arbórea, ou mesmo, vegetação semelhante à das estepes, em que se desdobram as diferentes fitofisionomias da caatinga.

Superfícies de Aplainamento da Depressão Sertaneja

As vastas superfícies de aplainamento da Depressão Sertaneja que abrangem a maior parte do semi-árido nordestino destacam-se pelas extensas planuras conservadas ou muito fracamente entalhadas por rede de drenagem intermitente (exceituando-se o rio São Francisco) de muito baixa densidade. Ao contrário da maior parte das superfícies aplainadas no Brasil, a Depressão Sertaneja apresenta-se notavelmente conservada frente às fases de dissecação neógenas, devido ao predomínio de condições climáticas semi-áridas que inibiram a dissecação fluvial moderna (AB'SABER, 1974). A Depressão Sertaneja está embutida em cotas baixas, inferiores a 300 m, no estado do Ceará e no interior dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe (Perfil 3.3). No médio vale do rio São Francisco, apresenta cotas entre 300 e 500 m. Essa superfície está delimitada: a leste, pelo Planalto da Borborema (no Nordeste Oriental) e Chapada Diamantina (na porção central da Bahia); a oeste, pela Chapada da Ibiapaba (no Piauí) e Espigão Mestre (no oeste da Bahia); a norte, nivela-se com os tabuleiros litorâneos do Grupo Barreiras (no litoral do Ceará e Rio Grande do Norte).

Os solos são, em geral, rasos, de textura arenosa a cascalhenta (Luvissolos). Frequentemente, nas áreas mais baixas, chamadas de "rasos", desenvolvem-se solos com argilas expansivas (Vertissolos) ou com alto teor de sais (Planossolos Solódicos), estes com sérias limitações à agricultura irrigada (EMBRAPA, 2001).

A rede de drenagem intermitente é um fator determinante para diferenciar as depressões semi-áridas ocupadas pela caatinga dos planaltos semi-úmidos ocupados pelo cerrado, visto que, nos cerrados, sustentados por solos espessos e com boa capacidade de armazenamento de água, a rede de drenagem é perene, mesmo suportando estiagens de 4 a 6 meses. No caso da caatinga, com solos mais rasos e arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água e enfrentando estiagens mais severas, praticamente toda a rede de canais seca durante o auge do período seco (Figura 3.20).



Figura 3.20 – Aspecto árido e desolado da vasta superfície de aplainamento da Depressão Sertaneja, com ocorrência de solos rasos e pedregosos revestidos por caatinga hiperxerófila. Ao fundo, destaca-se agrupamento de *inselbergs* alinhados sobre zona de cisalhamento de rochas silicificadas (estrada Senhor do Bonfim–Juazeiro–Carapebus, BA).

A Depressão Sertaneja, caracterizada por essas extensas superfícies planas, é interrompida não somente pelas vertentes dos rebordos erosivos e escarpas dos planaltos e chapadas circundantes, mas também por grande quantidade de relevos residuais, tais como *inselbergs* ou alinhamentos serranos isolados, muitas vezes, exibindo forte controle litoestrutural do substrato ígneo-metamórfico pré-cambriano. Os *inselbergs* são de relevos residuais que aparecem na paisagem como montes isolados, elevando-se, em muitos casos, centenas de metros acima do piso da superfície regional. Em parte, essas formas de relevo residual são originadas a partir da resistência diferencial ao intemperismo e à erosão de determinadas litologias (em especial, rochas graníticas ou quartzíticas) frente ao conjunto de litologias aflorantes em determinada região (Figura 3.21).



Figura 3.21 – Alinhamentos isolados de cristas de quartzitos gerando formas de relevo residuais (*inselbergs*) em meio à vasta superfície aplainada da Depressão Sertaneja (açude de Caribobó) (município de Canudos, BA). Fotografia: Rogério Ferreira.

Chapadas Sustentadas por Rochas Sedimentares

As chapadas sustentadas por rochas sedimentares representam uma antiga cobertura sedimentar marinha de idade cretácica que recobriu grande parte da Depressão Sertaneja. Tal fato é facilmente reconhecido pelo alto conteúdo fossilífero encontrado na Chapada do Araripe (em especial, a ictiofauna do Cretáceo) e sugere uma expressiva invasão marinha no nordeste setentrional após a abertura do oceano Atlântico. Destacam-se, nesse contexto: a Chapada do Araripe, entre o Cariri cearense e os sertões paraibano e pernambucano (uma uniforme superfície tabular em cotas que variam entre 750 e 950 m) (Perfil 3.3); a Chapada do Apodi, na divisa entre o Rio Grande do Norte e o Ceará (mais baixa e próxima do litoral, com cotas que variam entre 150 e 250 m). O soerguimento promovido pela epirogênese pós-cretácica alçou o antigo fundo marinho ao nível do topo dessas chapadas sendo, posteriormente, removidas pela erosão ao longo do Cenozóico. As chapadas existentes são, portanto, remanescentes de um antigo capeamento marinho outrora muito mais amplo. A Chapada da Ibiapaba, na divisa

entre Ceará e Piauí (em cotas que variam entre 600 e 900 m), está sustentada por rochas mais antigas da Bacia do Parnaíba.

Em contraste com as superfícies aplainadas, os topos das chapadas apresentam solos profundos e com melhor capacidade de armazenamento de água. Esse fato explica uma melhor condição de umidade do Cariri, no sopé da escarpa norte do Araripe, onde as cidades de Crato e Juazeiro do Norte estão situadas. Isso se deve ao fato de que as camadas de rochas sedimentares na Chapada do Araripe sofreram basculamento para norte, produzindo um movimento da água subterrânea nessa direção e o surgimento de um grande número de nascentes (“olhos d’água”) na borda norte do Araripe (ANDRADE, 1964). Em contraste, as vertentes sul e leste, voltadas para Pernambuco e Paraíba, são muito mais áridas.

Destaque especial deve ser conferido à Chapada Diamantina, situada na porção central do estado da Bahia. Apresenta direção alongada no sentido N-S e consiste em extensa cobertura plataformar, constituída por rochas sedimentares de idade proterozóica que jazem sobre o Cráton do São Francisco e representam um conjunto de elevações imponentes, de grande beleza cênica, apresentando topos planos, cujas cotas se situam entre 1.200 e 1.600 m (Figura 3.22). Predominam arenitos (alguns diamantíferos), conglomerados e calcários com dominância de solos rasos e permeáveis (Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos) de expressiva vulnerabilidade ambiental (BONFIM et al., 1994). A vertente voltada para leste é coberta por um refúgio florestal de Mata Atlântica, enquanto a vertente voltada para o oeste, mais seca, é coberta por vegetação de caatinga.



Figura 3.22 – Topos planos dos altos planaltos bruscamente delimitados por paredões rochosos subverticais. Abaixo, prevalecem extensas encostas detriticas que convergem para vales amplos e profundos, perfazendo o cenário físico da Chapada Diamantina (município de Lençóis, BA). Disponível em: <<http://ricciardionline.com/>>.

Serras Isoladas e Brejos de Altitude

As serras isoladas que ressaltam em meio à Depressão Sertaneja também constituem um importante elemento da paisagem do semi-árido nordestino, pois representam

um enclave climático de maior umidade, sendo denominados “brejos de altitude”. A maior pluviosidade das serras (700 a 1.000 mm anuais) em relação às superfícies aplainadas (300 a 700 mm anuais) decorre do efeito orográfico promovido pelas elevações montanhosas que retêm maior quantidade de umidade atmosférica, apresentando um refúgio de vegetação florestal, com solos mais espessos e argilosos e drenagem perene. Destacam-se, dentre as principais, as serras de Baturité (apresentando cristas com cotas entre 500 e 900 m) e de Uruburetama (com topos dissecados em cotas entre 600 e 1.000 m), ambas no embasamento ígneo-metamórfico do estado do Ceará, e a serra Talhada (em cotas entre 800 e 1.100 m), constituída por um plúton granítico em Triunfo (PE).

Planalto da Borborema

Extenso planalto em núcleo arqueado (AB’SABER, 1998; ROSS, 1997) que abrange a porção central dos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Apresenta cotas que variam entre 500 e 1.000 m, caracterizando-se pela ocorrência de extensas áreas planas ou de colinas amplas e suaves delimitadas por escarpamentos ou degraus em borda de planalto, tanto na borda leste, quanto na borda oeste (Perfil 3.3).

A vertente leste, ou atlântica, do Planalto da Borborema drena para a Zona da Mata nordestina e é constituída por colinas, tabuleiros e planícies costeiras que ocupam o litoral oriental do Nordeste, entre Aracaju e Natal. Trata-se de uma área úmida situada na vertente a barlavento da Borborema. Devido a essa barreira orográfica, os ventos alísios de leste (Massa Equatorial Atlântica) são impelidos a galgar o planalto, promovendo intensa pluviosidade, em especial, no inverno.

Por outro lado, a vertente oeste ou interiorana, constituída por vastas superfícies aplainadas, drena para a Depressão Sertaneja em localidades como Salgueiro (PE), Patos (PB) e Caicó (RN). Trata-se de uma área semi-árida situada na vertente a sotavento da Borborema. Nesse caso, os ventos alísios ultrapassam o Planalto da Borborema sem umidade, o que explica a falta de chuvas no interior, área de domínio da caatinga.

O Planalto da Borborema propriamente dito, em localidades como Caruaru (PE), Garanhuns (PE) e Campina Grande (PB), apresenta uma área de clima transicional, semi-úmido (região do Agreste), com ocorrência de brejos de altitude similares às que ocorrem nos maciços e serras isoladas.

DOMÍNIO DOS MARES-DE-MORROS ÚMIDOS TROPICAIS DA MATA ATLÂNTICA

Nesse domínio, destacam-se cinco padrões morfológicos principais: planícies litorâneas; tabuleiros do Grupo Barreiras; alinhamentos serranos da Fachada Atlân-

tica; relevo dominante dos mares-de-morros florestados; Planalto da Bacia do Paraná. Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e úmido a superúmido, sob intensa atuação do intemperismo químico e lixiviação dos solos em situações de extrema diversidade morfológica, onde coexistem áreas que apresentam grande vulnerabilidade à inundação e áreas com grande vulnerabilidade a movimentos de massa (escorregamentos, deslizamentos).

Planícies Litorâneas

As planícies litorâneas compreendem variado conjunto de formas deposicionais, genericamente denominadas “baixadas”, que preenchem extensas áreas deprimidas localizadas próximo ao litoral. Apresentam sedimentação de interface entre ambientes fluvial, marinho e lagunar, de idade pleistocênica a holocênica. Abrangem grande parte da linha de costa, desde Santa Catarina até o Rio Grande do Norte (Figura 3.23).



Figura 3.23 – Extensa planície lagunar recentemente colmatada por sedimentos fluviais e ocupados por pastagens, apresentando freqüentes áreas inundáveis (estrada Campos–Farol de São Tomé, RJ).

Apresentam cotas topográficas sempre inferiores a 20 m. Nesse contexto, podem ser individualizadas: planícies fluviais, planícies flúvio-marinhas, planícies flúvio-lagunares e planícies costeiras. Essas unidades apresentam alto potencial de vulnerabilidade a eventos de inundação, excetuando-se as planícies costeiras.

As planícies litorâneas foram originadas pelas flutuações do nível relativo do mar a partir do Pleistoceno Superior. Desde então, registram-se pelo menos dois máximos transgressivos associados a períodos interglaciais. A penúltima transgressão data de aproximadamente 120.000 anos a.P. (até o Presente) (Pleistoceno Superior), e a última, datada de aproximadamente 5.100 anos a.P. (Holoceno) (SUGUIO et al., 1985). Entre os dois máximos transgressivos, registram-se testemunhos de antigos cordões arenosos e terraços fluviais de idade pleistocênica, não erodidos pela transgressão holocênica. A partir de

5.100 anos a.P., foram geradas ilhas-barreiras que isolaram extensos corpos lagunares, principalmente entre Santa Catarina e Rio de Janeiro e delinearão a configuração atual das baixadas, marcadas por intensa sedimentação flúvio-marinha ou flúvio-lagunar resultante do período de regressão marinha subsequente ao máximo transgressivo holocênico. Ou seja, grande parte das atuais planícies litorâneas (Planície do Vale do Itajaí/SC; Baixada de Paranaguá/PR; Planície do Vale do Ribeira/SP; Baixada de Santos/SP; Baixada Fluminense/RJ; Baixada Campista/RJ; Planície Deltaica do rio Doce/ES; Planície Deltaica do rio Jequitinhonha/BA; dentre outras) estiveram parcialmente submersas há aproximadamente 5.000 anos.

Os baixos cursos fluviais são preenchidos por planícies flúvio-marinhas ou flúvio-lagunares e recobertas por matas de várzea. Caracterizam-se por terrenos mal a muito maldrenados, com padrão de canais meandantes a divagantes. As zonas intermarés são cobertas por mangues. As planícies lagunares, por sua vez, são cobertas por brejos (campos de várzea) sobre Gleissolos, muitos dos quais com influência marinha devido à concentração de sais ou enxofre (Gleissolos Salinos ou Tiomórficos).

As planícies costeiras, por sua vez, compreendem uma sucessão de feixes de restingas resultantes do empilhamento de cristas de cordões litorâneos decorrente da ação marinha. Caracterizam-se por alternância de cristas arenosas paralelas entre si (antigas linhas de praia) com depressões embrejadas intercordões. Predominam solos bem drenados e muito permeáveis (Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos) (EMBRAPA, 2001), cobertos por vegetação pioneira e mata de restinga. No topo dessas cristas arenosas pode ocorrer algum retrabalhamento do material por ação eólica, resultando na formação de campos de dunas (AMADOR, 1997).

A linha de costa apresenta tanto áreas de progradação (sedimentação), quanto áreas de retrogradação (erosão). É bastante freqüente a ocorrência de problemas de erosão costeira em extensas áreas do litoral brasileiro (Figura 3.24).



Figura 3.24 – Aspecto da planície costeira de Jurubatiba, recoberta por vegetação de restinga, sendo constituída de sucessivo empilhamento de cordões arenosos marinhos em condições de linha de costa progradante. Local: Estrada Macaé-Caraípebus (RJ). Fotografia cedida por Edgar Shinzato.

Tabuleiros do Grupo Barreiras

Os tabuleiros estão embasados por rochas sedimentares de idade terciária, pouco litificadas, do Grupo Barreiras. São expressivos do litoral norte do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte, ocupando vasta superfície pré-litorânea. Caracterizam-se por uma superfície praticamente plana (em cotas que variam entre 20 e 200 m), com solos espessos, pobres, bem drenados (Latosolos Amarelos) (EMBRAPA, 2001), recobertos por mata de tabuleiro.

As superfícies tabulares são entalhadas, em geral, por uma rede de drenagem paralela de baixa densidade, formando vales encaixados em “U”, ou em colinas tabulares, principalmente quando a densidade de drenagem torna-se maior, próximo ao contato com o substrato pré-cambriano. Os tabuleiros costeiros estão associados a feições singulares, tais como lagunas estreitas e alongadas e falésias ativas ou inativas. Essas falésias são taludes abruptos (barreiras) junto ao litoral, produzidos por processo de abrasão marinha. Apresentam grande beleza cênica, como no litoral sul da Bahia (Porto Seguro e Prado) (Figura 3.25).



Figura 3.25 – Aspecto das falésias ativas do Grupo Barreiras em processo de recuo erosivo do tabuleiro costeiro por abrasão marinha (município de Porto Seguro, BA).

Alinhamentos Serranos da Fachada Atlântica

Os alinhamentos serranos da Fachada Atlântica representam um conjunto de escarpas montanhosas festonadas, fortemente alinhadas e compostas pelas serras do Mar e da Mantiqueira (Perfil 3.4). Esse conjunto de terrenos montanhosos representa uma notável feição morfológica da geodiversidade do sul-sudeste brasileiro. As escarpas serranas apresentam, em geral, desnivelamentos extremamente elevados, às vezes, superiores a 2.000 m. As vertentes são íngremes, por ve-

zes rochosas, freqüentemente recobertas por depósitos de tálus e colúvios. Os gradientes são muito elevados e os topos aguçados ou em cristas alinhadas apresentam densidade de drenagem muito alta, sob freqüente controle estrutural (DANTAS, 2001). Predominam solos jovens, como Cambissolos e Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2001), cobertos por Mata Atlântica de encosta, sendo que os principais fragmentos remanescentes da mata original situam-se nesses terrenos muito acidentados. Nos topos mais elevados dos alinhamentos serranos, a Mata Atlântica é substituída por campos de altitude ou refúgio de mata de araucária, tal como registrado no Planalto da Bocaina, no maciço do Itatiaia e na serra dos Órgãos.

Esses alinhamentos apresentam alto potencial de vulnerabilidade a eventos de movimentos de massa devido à existência de terrenos de alta declividade em áreas onde ocorrem períodos de fortes precipitações produzidas por sistemas frontais, associadas a chuvas orográficas. A pluviosidade média das escarpas serranas é bastante superior àquelas registradas nas baixadas e áreas colinosas adjacentes, atingindo um acúmulo anual de chuvas superior a 2.000 ou 2.500 mm. Em cidades como Blumenau e Joinville, no vale do Itajaí (SC), Ubatuba e Caraguatatuba (SP), na *front* da escarpa da serra do Mar, no litoral norte do estado de São Paulo e em Petrópolis e Nova Friburgo, na região serrana do Rio de Janeiro, são recorrentes os “desastres naturais” acarretados por eventos de deslizamentos e inundações que promovem consideráveis danos materiais e vítimas.

Segundo Asmus e Ferrari (1978), tanto os maciços costeiros quanto os escarpamentos das cadeias montanhosas das serras do Mar e da Mantiqueira são resultantes do soerguimento e basculamento de blocos escalonados, apresentando direção preponderante WSW-ENE. Essa tectônica cenozóica originou, entre os blocos elevados, depressões tectônicas que se comportam como hemigrabens, tais como: bacias de Curitiba e de São Paulo; médio vale do rio Paraíba do Sul; Baixada Fluminense. Todavia, segundo Almeida e Carneiro (1998), a escarpa da serra do Mar resulta de um extenso recuo erosivo de antiga escarpa de falha originada junto à falha de Santos, a partir do Paleoceno. Segundo esses autores, a escarpa da serra da Mantiqueira não sofreu recuo tão extenso, sendo que seu plano de falha localiza-se junto à borda norte das bacias de Resende e Taubaté.

A escarpa da serra do Mar prolonga-se desde o sul de Santa Catarina até o Rio de Janeiro e consiste em uma abrupta e imponente barreira montanhosa que se levanta junto à linha da costa nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. Sua direção preponderante é SSW-NNE, entre Santa Catarina e Paraná; a norte do Arco de Ponta Grossa, inflete para uma direção dominante WSW-ENE. Seus cimos apresentam cotas que variam entre 500 m (na serra das Araras/RJ) a 2.300 m (na serra dos Órgãos/RJ), com uma linha de cumeada que oscila mais frequentemente entre 800 e 1.300 m (Figura 3.26).



Figura 3.26 – Aspecto imponente da muralha montanhosa e festonada da escarpa da serra da Bocaina no litoral sul fluminense, com cotas superiores a 1.000 m em sua linha de cumeada. A linha de costa assume um padrão recortado, alternando exíguas planícies flúvio-marinhas em fundos de baías e enseadas com pontões rochosos que atingem o litoral (rodovia Rio–Santos, município de Paraty, RJ).

A escarpa da serra da Mantiqueira estende-se de São Paulo ao Espírito Santo, atravessando os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Apresenta direção preponderante WSW-ENE, separando o vale do rio Paraíba do Sul do Planalto Sul-Mineiro (Bacia do alto rio Grande) (Perfil 3.4). Seus cimos atingem cotas superiores a 2.700 m, como no maciço do Itatiaia (2.787 m, na divisa entre Rio de Janeiro e Minas Gerais) e no maciço do Caparaó (2.890 m, na divisa entre Minas Gerais e Espírito Santo), com uma linha de cumeada que oscila mais freqüentemente entre 1.000 e 1.600 m. A cidade mais alta do Brasil, a 1.600 m de altitude, é Campos do Jordão (SP), situada justamente na serra da Mantiqueira.

As serras do Mar e da Mantiqueira resultam, portanto, do notável soerguimento tectônico de um conjunto de extensas e majestosas muralhas orográficas de grande beleza cênica, com 1.000 a quase 3.000 m de desnivelamento, que orlam uma parte expressiva do litoral brasileiro. Em diversos casos, os picos mais elevados são sustentados por rochas graníticas em forma de pontões de topo arredondado.

No interior de Minas Gerais, diversos alinhamentos serranos se destacam da paisagem de mar-de-morros dominante, via de regra, ressaltados por erosão diferencial, pois estão sustentados por quartzitos, tais como as serras de Ibitipoca (em cotas que alcançam 1.600 m), do Caraça, esta no Quadrilátero Ferrífero (em cotas que superam os 2.000 m) (Figura 3.27) e do Cipó, situada no Espinhaço (em cotas que alcançam 1.700 m). No alto dessas elevações, com solos muito rasos, dominam os campos rupestres e os campos de altitude. O Quadrilátero Ferrífero, além de sua grande relevância para o setor mineral, também se destaca topograficamente na paisagem mineira, visto que os itabiritos e as formações ferríferas bandadas sustentam as serras do Curral, Moeda e Gandarela, via de regra, capeadas por espessas formações de cangas e alçadas 500 a 800 m acima do nível colinoso regional.



Figura 3.27 – A resistência diferencial das litologias ao intemperismo e à erosão demonstra um contraste entre o relevo suave ondulado de colinas amplas embasadas por xistos do Supergrupo Rio das Velhas e o relevo montanhoso do maciço do Caraça, ao fundo, sustentado por quartzitos do Grupo Caraça (Santuário do Caraça, Quadrilátero Ferrífero, MG). Fotografia: Antônio Ivo Medina.



Figura 3.28 – Aspecto regional do relevo de colinas e morros baixos ocupados por pastagens e capoeiras, da depressão interplanáltica do médio vale do rio Paraíba do Sul, sendo denominado relevo de “mares-de-morros”. Ao fundo, a serra da Mantiqueira, em território mineiro (estrada Barra do Piraí–Valença, RJ).

Mares-de-Morros Florestados

O relevo dominante dos mares-de-morros florestados é caracterizado por terrenos colinosos de baixa a média amplitude de relevo, com desnivelamentos locais entre 50 e 100 m, sendo originalmente recoberto por Mata Atlântica. Esse relevo de colinas e morros baixos pode estar associado a setores de planaltos ou a depressões interplanálticas.

Os planaltos consistem em terrenos colinosos a montanhosos, localizados, em geral, no reverso das escarpas serranas, tais como o Planalto Sul Mineiro (em cotas entre 600 e 900 m), e o Planalto Paulistano, situado no alto vale do rio Paraíba do Sul (em cotas entre 800 e 1.100 m). Trata-se de superfícies residuais, soerguidas por tectônica, que resistiram aos processos erosivos e de aplainamento atuantes durante o Cenozóico Superior, configurando-se, portanto, em terrenos elevados.

As depressões interplanálticas apresentam-se embutidas entre planaltos ou alinhamentos serranos que ocupam grandes extensões na Zona da Mata mineira e no vale do rio Paraíba do Sul (em cotas entre 200 e 600 m). Em termos gerais, esses terrenos foram originados por influência de rebaixamento tectônico, a partir da abertura do oceano Atlântico e do soerguimento das cadeias montanhosas das serras do Mar e da Mantiqueira, durante o final do Cretáceo e o Terciário (ALMEIDA, 1976; ASMUS e FERRARI, 1978) (Perfil 3.4). Trata-se de ampla unidade caracterizada por colinas, morrotes e morros baixos com vertentes convexo-côncavas, de gradiente suave a médio e topos arredondados e subnivelados (Figura 3.28).

O domínio de mares-de-morros notabiliza-se pela formação de solos espessos (Argissolos e Latossolos) (EMBRAPA, 2001), em condições de intenso intemperismo químico, freqüentemente recobertos por colúvios, atestando também uma efetiva atuação de processos erosivos. Algumas áreas desse domínio colinoso, em especial, em determinados trechos do médio vale do rio Paraíba do

Sul, destacam-se pela intensidade dos processos geomorfológicos que podem estar condicionados pela dinâmica da água subterrânea sobre as linhas de fraqueza do substrato geológico (COELHO NETTO, 1999, 2003), com ocorrência generalizada de voçorocamentos, capturas de drenagem e inversão de relevo.

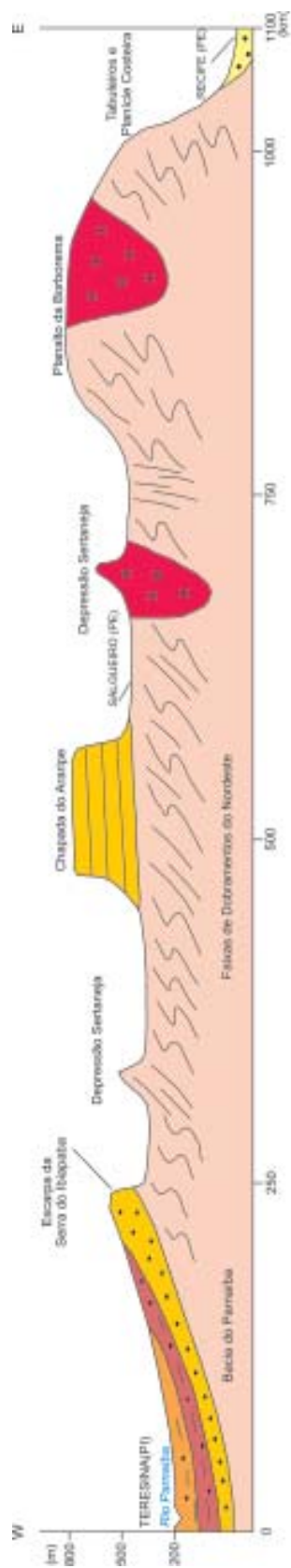
Planalto da Bacia do Paraná

O extenso Planalto da Bacia do Paraná foi modelado em uma antiga bacia sedimentar gondwânica, soerguida ao longo do Cenozóico. Apresenta cotas que variam entre 300 e 800 m, caracterizando-se por um relevo de topos tabulares (espigões) e de colinas amplas e suaves.

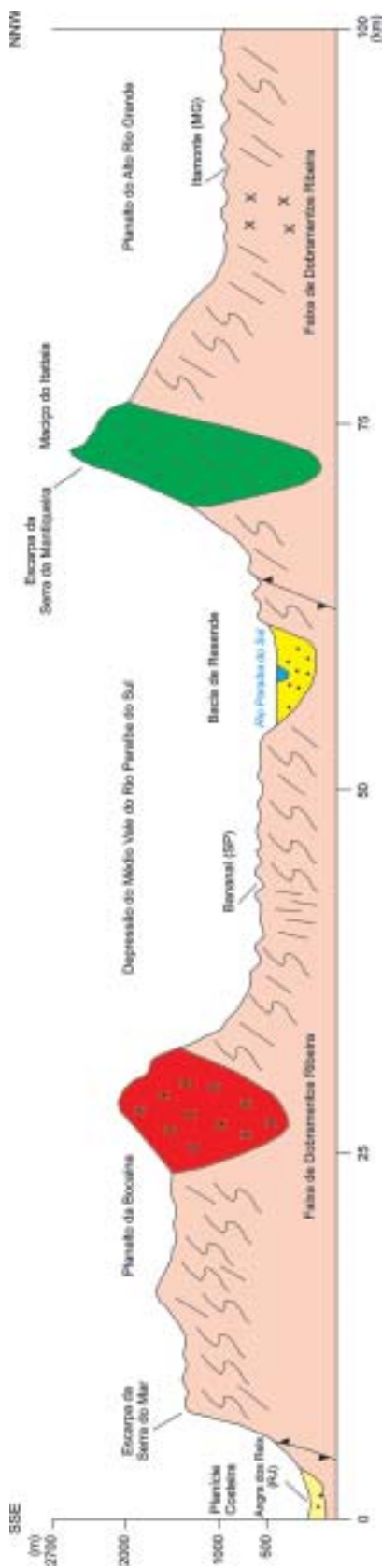
O Planalto da Bacia do Paraná pode ser segmentado em três unidades: Depressão Periférica; *cuestas* de Botucatu; Planalto Ocidental (PONÇANO et al., 1981).

A Depressão Periférica consiste na porção aflorante da seqüência sedimentar paleozóica (devoniano-permiana) da Bacia do Paraná, situada entre o Planalto Atlântico e o *front* escarpado das *cuestas* de Botucatu, constituindo-se de colinas amplas e suaves de baixa amplitude de relevo.

A *cuesta* de Botucatu é uma crista dissimétrica sustentada por cornijas de derrames basálticos da Formação Serra Geral, com o *front* escarpado voltado para a Depressão Periférica (Figura 3.29). Nessas vertentes declivosas, afloram arenitos ortoquartzíticos da Formação Botucatu. Os degraus escarpados perfazem um desnivelamento de 200 a 350 m. A rede de drenagem principal é obsequente em relação a esse compartimento geológico-geomorfológico. Sendo assim, os rios Mogi-Guaçu, Tietê, Piracicaba e Paranapanema escavam passagens (gargantas epigênicas) em meio ao *front* da *cuesta* para alcançar o Planalto Ocidental Paulista, conferindo, assim, um caráter fragmentado às *cuestas* de Botucatu (Figura 3.29). Muitas dessas gargantas foram uti-



Perfil 3.3 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transect Teresina (PI) – Recife (PE).



Perfil 3.4 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transect Angra dos Reis (RJ) – Itamonte (MG).

lizadas para aproveitamento hidrelétrico. Localiza-se justamente nesse *front* dos degraus escarpados das *cuestas* de Botucatu uma das mais importantes áreas de recarga do Aquífero Guarani.



Figura 3.29 – Visada lateral do *front* escarpado da *cuesta* de Botucatu, separando a Depressão Periférica do Planalto Ocidental Paulista (município de Botucatu, SP). Disponível em: <<http://www.polocuesta.com.br/botucatu/>>.

O Planalto Ocidental consiste na porção aflorante de parte da seqüência sedimentar mesozóica (jurocretácica) da Bacia do Paraná, situada no extenso reverso da *cuesta* de Botucatu, sustentada por rochas básicas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Bauru. Apresenta extensos espigões de topo plano, escavados por amplos vales dos tributários do rio Paraná. Predominam solos espessos, em geral argilosos e bem drenados (Latossolos e Nitossolos) (EMBRAPA, 2001), ocupados outrora por Mata Atlântica. Os Nitossolos, popularmente conhecidos como “terra roxa”, apresentam elevada fertilidade, em razão da vasta ocorrência de basaltos na superfície do planalto, em especial sobre os topos dos espigões.

Merece destaque especial o fato de que no Planalto da Bacia do Paraná localiza-se o maior reservatório de água subterrânea no mundo: o Aquífero Guarani, que está armazenado nos arenitos jurássicos da Formação Botucatu. Esses arenitos finos, ortoquartzíticos, de origem eólica (paleoclima desértico), apresentam alta porosidade e se encontram confinados na base por folhelhos, argilitos e siltitos bastante impermeáveis do Grupo Tubarão; no topo, estão capeados por derrames vulcânicos (rocha maciça e fraturada – basaltos, riolitos ou dacitos) da Formação Serra Geral. Eis uma condição hidrogeológica ideal para a formação de um aquífero confinado de grandes proporções. O Aquífero Guarani abrange grande parte do centro-sul do país (parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Triângulo Mineiro); do centro-leste do Paraguai; do nordeste da Argentina e noroeste do Uruguai. Devido a sua importância estratégica como a maior jazida de água subterrânea do planeta, é de fundamental importância o estabelecimento de um acordo no âmbito do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL) para regular o uso controlado do Aquífero Guarani (evitando, assim, uma superexploração) e a proteção de suas áreas de recarga.

DOMÍNIO DOS PLANALTOS ÚMIDOS SUBTROPICAIS DA MATA DE ARAUCÁRIAS

Nesse domínio, destacam-se quatro padrões morfológicos principais, similares aos já descritos no Planalto da Bacia do Paraná paulista (recoberto por Mata Atlântica): Primeiro Planalto Paranaense ou Planalto Atlântico; Segundo Planalto Paranaense ou Depressão Periférica; Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto Arenítico-Basáltico; Planalto dos Campos Gerais, conforme delineado por MAACK (1947).

Esses ambientes estão submetidos a um regime climático subtropical e úmido, com precipitações bem distribuídas ao longo de todo o ano e invernos frios, com ocorrência freqüente de geadas em todo o domínio e eventuais precipitações de neve no Planalto dos Campos Gerais (São Joaquim e Lajes/SC e serra Gaúcha). Tais paisagens ocupam o interior dos estados do Paraná e Santa Catarina e o norte do Rio Grande do Sul. São submetidas a uma moderada atuação do intemperismo químico, devido às temperaturas mais baixas, com formação de solos de espessura variável e acúmulo de matéria orgânica (desde Cambissolos Brunos, no planalto de Lages (SC), a Latossolos Roxos, no oeste do Paraná) (EMBRAPA, 2001), sendo recobertas por peculiar floresta de coníferas de clima temperado denominada “mata de araucárias”.

Planalto Atlântico

O Planalto Atlântico é constituído pelo embasamento ígneo-metamórfico da Faixa Ribeira junto ao Arco de Ponta Grossa. Está situado entre o reverso da serra do Mar e o *front* de *cuestas* demarcado pela Serrinha, com desnivelamentos totais entre 100 e 150 m, no contato com a borda leste da Bacia do Paraná (Perfil 3.5). No interior desse planalto está embutida a bacia sedimentar cenozóica de Curitiba, que consiste em um relevo de colinas amplas e suaves e morros subordinados (em cotas que variam entre 800 e 1.000 m). No interior da Bacia de Curitiba, dominam as superfícies tabulares de baixa amplitude de relevo, esculpidas sobre rochas sedimentares pouco litificadas de idade cenozóica e amplas planícies aluviais do rio Iguaçu e tributários.

Depressão Periférica

A Depressão Periférica ocupa expressiva porção do interior dos estados do Paraná e de Santa Catarina, sendo esculpida em arenitos siluro-devonianos da Formação Furnas; folhelhos devonianos da Formação Ponta Grossa e a seqüência sedimentar permocarbonífera do Grupo Tubarão, compondo a seqüência paleozóica da Bacia do Paraná (CPRM, 2006). Essa unidade está situada entre o reverso da Serrinha de Ponta Grossa e a frente das *cuestas* da Formação Botucatu

e consiste em topos planos de superfícies cimeiras sustentadas por arenitos da Formação Furnas (alçados a cotas entre 1.000 e 1.250 m) e um relevo de colinas e morros interiores (em cotas que variam entre 600 e 900 m).

Planalto Arenítico-Basáltico

O Planalto Arenítico-Basáltico ocupa a porção centro-ocidental dos estados do Paraná e de Santa Catarina e o norte do Rio Grande do Sul. É constituído por derrames vulcânicos de composição ácida (riolitos e dacitos) a básica (basaltos) da Formação Serra Geral, em parte, capeada por arenitos cretácicos, compondo a seqüência mesozóica da Bacia do Paraná (CPRM, 2006). Essa unidade está situada no reverso da *cuesta* de Botucatu e suas cotas diminuem gradativamente para oeste na medida em que se aproxima da calha do rio Paraná, já sob domínio da Mata Atlântica, como por exemplo, em Foz do Iguaçu (Perfil 3.5). As áreas mais elevadas, junto às *cuestas* de Botucatu, são, por sua vez, dominadas por matas de araucária. Apresenta extensos planaltos de topo plano ou reafeiçoados em colinas amplas e suaves.

Planalto dos Campos Gerais

O Planalto dos Campos Gerais corresponde a um trecho mais elevado do Planalto Meridional, abrangendo o sudeste de Santa Catarina e a serra Gaúcha no nordeste do Rio Grande do Sul. É totalmente constituído por riolitos, dacitos e basaltos da Formação Serra Geral, de idade jurocretácica (CPRM, 2006). Esse planalto elevado está alçado a cotas que variam entre 900 e 1.500 m, sendo dominado por vastas superfícies aplainadas, levemente adernadas para oeste, com ocorrência de áreas de relevo montanhoso, com picos que atingem 1.800 m de altitude. Os rios das Antas, Pelotas e Canoas, que drenam o planalto, esculpem vales bastante aprofundados, indicando que o padrão de entalhamento processado no Planalto dos Campos Gerais obedece, claramente, ao acamadamento dos derrames de rochas vulcânicas, gerando vales escalonados, platôs e mesetas (ALMEIDA, 1952) (Figura 3.30). Predominam solos pouco espessos, tais como Cambissolos Brunos e Neossolos Litólicos, devido à baixa velocidade do intemperismo químico (EMBRAPA, 2001). Trata-se da região mais fria do Brasil, com registro de temperaturas negativas no inverno. As superfícies planálticas são, portanto, dominadas por campos limpos, enquanto que as matas de araucária ocupam capões isolados ou vales encaixados.

Uma notável feição morfológica da geodiversidade do sul do Brasil é representada pela escarpa da serra Geral, onde está situado o cânion de Aparados da Serra. Esse majestoso escarpamento, com aproximadamente 1.000 m de desnivelamento total e intensamente sulcado por uma densa rede de canais, é um relevo de transição, de morfologia muito acidentada, entre o Planalto dos Campos Gerais e a



Figura 3.30 – Planalto dos Campos Gerais coberto por campos limpos e capões de araucária, apresentando forte dissecação fluvial em três níveis de patamares escalonados, controlados por derrames de rochas vulcânicas no alto vale do rio das Antas (município de São José dos Ausentes, RS).

baixada costeira do litoral sul de Santa Catarina. Ao longo da Coluna White, observa-se um empilhamento de derrames vulcânicos de cerca de 700 m de espessura, evidenciando que o “Vulcanismo Serra Geral”, ocorrido há 130 milhões de anos, correlato à abertura do oceano Atlântico, correspondeu ao mais extenso extravasamento de lavas na história geológica do planeta. Além de recobrir grande parte da Bacia do Paraná, também é documentado no sul da África, pois, nesse período, esses continentes ainda estavam ligados (época terminal do antigo supercontinente Gondwana). As falésias litorâneas e os morros-testemunhos na cidade de Torres (RS) atestam tal fato geológico.

DOMÍNIO DAS COXILHAS ÚMIDAS SUBTROPICAIS DA CAMPANHA GAÚCHA

Nesse domínio, destacam-se quatro padrões morfológicos principais: Planalto Sul-Rio-Grandense; Depressão do rio Ibicuí; Coxilha de Haedo; Planalto de Uruguaiana. Esses ambientes estão submetidos a um regime climático subtropical e úmido, todavia, são menos chuvosos que o Planalto das Araucárias. São ambientes bastante vulneráveis ao avanço das massas polares, em especial no inverno, quando essa região descampada encontra-se assolada por ventos gélidos do quadrante sul, denominados “minuano”. As paisagens ocupam o sul do estado do Rio Grande do Sul, em uma região tradicionalmente denominada Campanha Gaúcha. São submetidas à moderada atuação do intemperismo químico, com formação de solos pouco profundos e húmicos, de boa fertilidade natural (predomínio de solos Litólicos eutróficos, Argissolos e Brunizém e ocorrência subordinada de Vertissolos) (EMBRAPA, 2001), sendo cobertas por uma formação herbácea similar às pradarias de clima temperado, caracterizada por campos limpos (Figura 3.31).

A Campanha Gaúcha é delimitada, a norte, pela depressão dos rios Jacuí e Ibicuí. As áreas rebaixadas consistem em depressões periféricas que separam o Escudo Sul-Rio-Grandense do Planalto das Araucárias (Perfil 3.6). A leste, a Campanha Gaúcha é delimitada pela planície litorânea das lagoas dos Patos e Mirim, dominada por depósitos recentes, de origem marinha, compostos por restingas e dunas; ou de origem lagunar, compostos pelos banhados. A sul, o domínio se estende pelo território uruguaio e parte do território argentino, sendo regionalmente denominado “Pampas”.



Figura 3.31 – Relevo de colinas muito amplas e suaves (coxilhas), cobertas por campos limpos, com tradicional vocação econômica para a pecuária de corte, o que caracteriza a região da Campanha Gaúcha (RS) (município de Bagé, RS). Fotografia: Vitório Orlandi Filho.

Planalto Sul-Rio-Grandense

O Planalto Sul-Rio-Grandense apresenta, em linhas gerais, conformação dômica de um núcleo arqueado (AB’SABER, 1998; ROSS, 1997), sendo constituído pelo embasamento ígneo-metamórfico do Escudo Sul-Rio-Grandense (em especial, granitos, gnaisses e rochas metavulcânicas) (CPRM, 2006). Esse planalto, situado entre a planície litorânea e as depressões dos rios Jacuí e Ibicuí, está dissecado em relevo de colinas e morros amplos, perfazendo cotas que variam entre 200 e 500 m (Perfil 3.6).

Depressão do Rio Ibicuí

A Depressão do rio Ibicuí apresenta-se como um corredor norte-sul, no qual se encontra encaixado o vale do rio Santa Maria. Está situada entre o Planalto Sul-Rio-Grandense e o *front* de *cuesta* da Coxilha de Haedo. A depressão foi esculpida em rochas sedimentares da Bacia do Paraná, de composição fina (em geral, folhelhos, argilitos e siltitos de idade permotriássica) (CPRM, 2006). Consiste em um relevo de colinas baixas, fortemente dissecadas, devido à baixa permeabilidade das rochas e dos solos, cobertas por extensas planícies aluviais. A depressão se encontra embutida em cotas que variam entre 100 e 200 m, representando uma área típica da vegetação estépica (campos limpos) da Campanha Gaúcha.

Coxilha de Haedo

A Coxilha de Haedo consiste em uma frente de *cuesta* sustentada por cornijas de derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, com o *front* escarpado voltado para leste, em direção à Depressão do rio Ibicuí. Nas vertentes declivosas afloram os arenitos ortoquartzíticos das formações Guará e Botucatu (CPRM, 2006). Os rebordos erosivos perfazem um desnivelamento de 70 a 150 m, atingindo cotas que variam entre 250 a 300 m. A Coxilha de Haedo representa, portanto, um relevo de transição entre a Depressão do rio Ibicuí e o Planalto de Uruguaiana.

Planalto de Uruguaiana

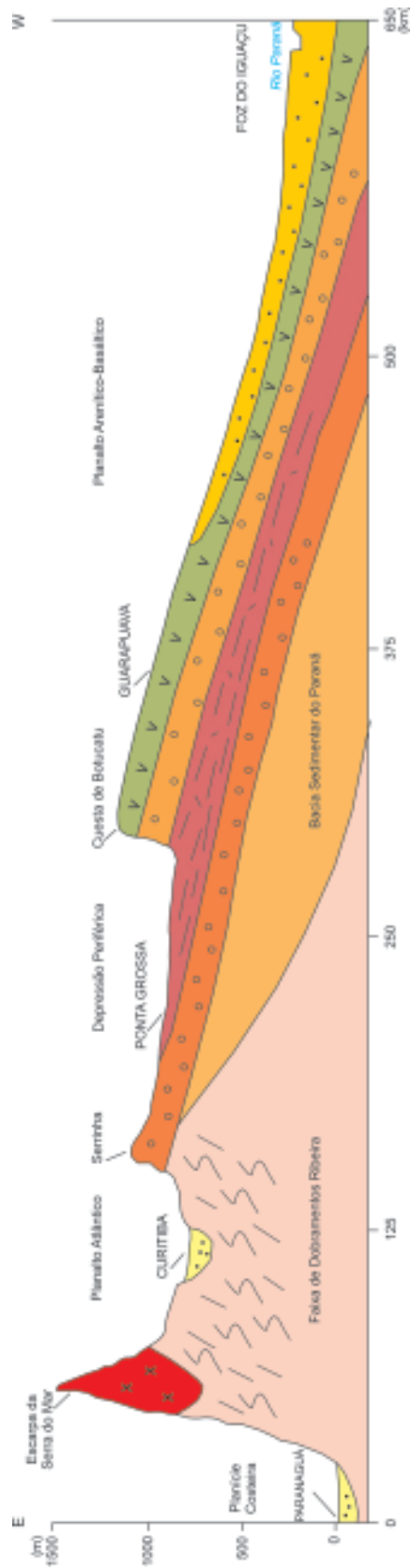
O Planalto de Uruguaiana está situado no sudoeste do Rio Grande do Sul, sendo totalmente constituído por andesitos, riocacitos e basaltos da Formação Serra Geral, de idade jurocretácica (CPRM, 2006). O planalto está alçado a cotas que variam entre 70 e 300 m, com suave caimento de leste para oeste, em direção à calha do rio Uruguai. Seus tributários principais entalham vales que expõem os arenitos da Formação Botucatu, onde são registrados sérios problemas de arenização do solo (SUERTEGARAY et al., 1999). O planalto apresenta, próximo à Coxilha de Haedo, relevo dissecado em colinas e morros. Em direção ao rio Uruguai, esse relevo é substituído por monótonas superfícies aplainadas, suavemente entalhadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, onde se ressalta a Coxilha de Santana.

DOMÍNIO DA PLANÍCIE INUNDÁVEL SEMI-ÚMIDA TROPICAL DO PANTANAL

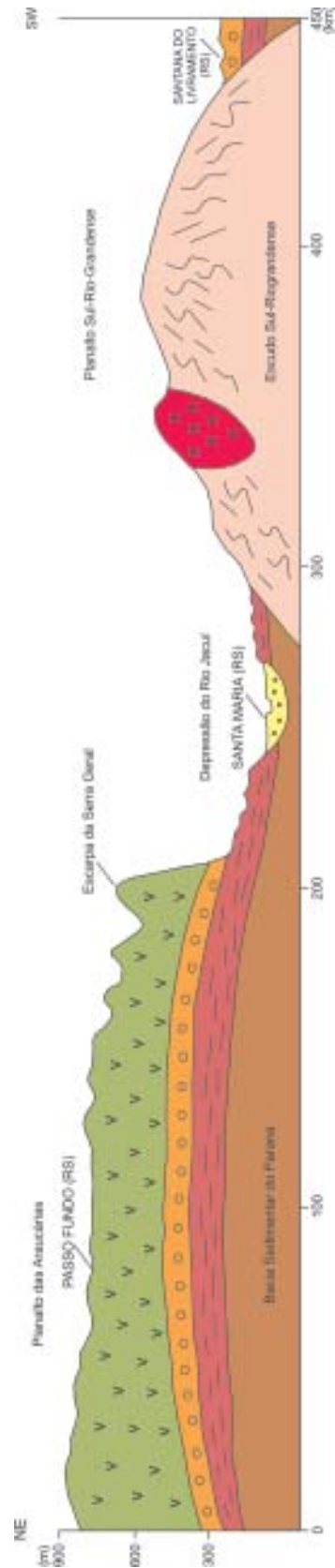
A Planície do Pantanal é uma bacia sedimentar ativa, de idade quaternária. Estende-se por toda a porção central do continente sul-americano, incluindo a Bacia Platina e região do Chaco.

A Planície do Pantanal abrange vastas áreas dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e adentra os territórios da Bolívia e do Paraguai. É caracterizada pelas planícies aluviais do rio Paraguai e tributários importantes, como os rios Cuiabá, Taquari e São Lourenço; grandes planícies flúvio-lacustres, periodicamente inundadas que perfazem a maior parte do Pantanal; “cordilheiras” que consistem em pequenas elevações ou tesos, poucos metros acima do nível da planície flúvio-lacustre, mas a salvo das inundações periódicas (AB’SABER, 1988) (Figura 3.32).

São terrenos constituídos por solos hidromórficos (Planossolos, Gleissolos, Espodossolos e Vertissolos (EMBRAPA, 2001)), apresentando cotas que variam entre 100 e 200 m. Notabilizam-se pela ocorrência de extensas áreas deposicionais. O leque aluvial do Taquari é um excelente exemplo da forma como essa bacia sedimentar vem



Perfil 3.5 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transecto Paranaguá (PR) – Foz do Iguaçu (PR).



Perfil 3.6 – Perfil Geológico-Geomorfológico Esquemático do Transecto Passo Fundo (RJ) – Santana do Livramento (RJ).

sendo entulhada de sedimentos. A leste, a Planície do Pantanal é bruscamente delimitada por uma escarpa de falha (serra de Maracaju), com desnivelamentos entre 300 e 400 m. A serra de Maracaju define o rebordo ocidental do Planalto Brasileiro, de onde partem as nascentes dos rios que drenam para o Pantanal. O desmatamento do cerrado nativo para a expansão da economia agroexportadora no planalto tem promovido impactos ambientais relevantes no Pantanal, devido ao aumento expressivo da descarga de sedimentos nos canais. Estes, quando atingem a Planície do Pantanal, têm sua velocidade e capacidade de transporte reduzidas, produzindo o assoreamento do leito dos canais e o agravamento do nível das cheias sazonais.



Figura 3.32 – Baixada aluvial e lacustrina, prolongadamente inundável, constituída por sedimentos holocênicos de textura argilo-arenosa ou argilosa que preenchem a bacia quaternária do Pantanal. Rede desorganizada de canais divagantes, pontilhada por lagos, coberta por formações graminosas e florestais do complexo do Pantanal, com uso restrito a pastagens naturais extensivas. Vista da cidade de Corumbá, situada no sopé de uma elevação isolada. Fotografia: Antônio Theodorovicz.

BIBLIOGRAFIA

AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia da área dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 1., 1963, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1963. p. 117-124.

_____. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas no Brasil. *Orientação*. São Paulo: USP-FFCHL, n. 3, p. 45-48, 1967.

_____. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. *Geomorfologia*. São Paulo: USP-FFCHL, n. 18, 1969. 23 p.

_____. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia*. São Paulo: USP-FFCHL, n. 20, 1970. 26 p.

_____. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. *Geomorfologia*. São Paulo: USP-FFCHL, n. 43, 1974. 39 p.

AB'SABER, A. N. The paleoclimate and paleoecology of Brazilian Amazonia. In: PRANCE, G. T. (Ed.). *Biological diversification in the tropics*. New York: Columbia University Press, 1982. p. 41-59.

_____. O pantanal mato-grossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, n. 50, Tomo Especial 2, p. 9-57, 1988.

_____. Megageomorfologia do território brasileiro. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Eds.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 71-106.

ALMEIDA, F. F. M. Contribuição à geomorfologia da região oriental de Santa Catarina. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 10, p. 3-32, 1952.

_____. The system of continental rifts bordering the Santos basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 48 (suplemento). p. 15-26, 1976.

_____.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

AMADOR, E. S. *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza*. Rio de Janeiro: Edição do Autor, 1997. 548p.

ANDRADE, M. C. O Cariri cearense. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, v. 26, n. 4, p. 549-592, 1964.

ASMUS, H. E.; FERRARI, A. L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. In: *Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil*. Rio de Janeiro: PETROBRAS - CENPES, 1978. p. 75-88. (Série Projeto REMAC, 4).

BIGARELLA, J. J.; FERREIRA, A. M. M. Amazonian geology and the pleistocene and the cenozoic environments and paleoclimates. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. E. (Eds.). *Amazonia*, Pergamon Press, p. 49-71, 1985.

BONFIM, L. F. C.; CAVEDON, A. D.; RAMALHO, R. *Projeto Chapada Diamantina*. Salvador: CPRM/IBAMA, 1994. 104 p.

COELHO NETTO, A. L. Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes. *Geografia Física e Dinâmica Quaternária*, Itália, v. 3, n. 3, p. 21-48, 1999.

_____. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): bases para um modelo de formação e crescimento da rede de canais sob controle estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 4, n. 2, p. 69-100, 2003.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.

CPRM. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Brasília: SGM-MME/CPRM, 2006. CD-ROM [legenda expandida].

DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: SILVA, C. R.; MEDINA, A. I. M. (Coords.). *Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2001, 63 p. CD-ROM. 5 mapas: color., escala 1:250.000.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Mapa de solos do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 1 mapa: color., 107 x 100 cm, escala 1: 5.000.000.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; COSTA, M. L.; SUGUIO, K. A laterização na gênese das superfícies de aplanamento da região de Presidente Figueiredo – Vila Balbina, nordeste do Amazonas. In: COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. (Orgs.). *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém: FINEP-SBG/NO, v. 2, cap. 5, p. 145-176, 1997.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon river, Brazil. *Geomorphology*, v. 44, p. 241-257, maio 2002.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, v. 2, art. 7, p. 63-157, 1947.

MAMEDE, L. O significado das coberturas terciárias nas chapadas da região centro-oeste. *Revista Sociedade & Natureza*, v. 3, n. 15, p. 26-30, 1996.

PENTEADO, M. M. Tipos de concreções ferruginosas nos compartimentos geomorfológicos do planalto de Brasília. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 16, n. 32, p. 39-53, 1976.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, M. A.; PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981, 2 vol.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para entender a Terra*. Tradução Rualdo Menegat. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p.

RÄSÄNEN, M.; SALO, J.; KALLIOLA, R. J. Fluvial perturbation in the Western Amazonian basin: regulation by long-term sub-Andean tectonics. *Science*, v. 238, p. 1398-1401, 1987.

ROSS, J. L. S. Os fundamentos da geografia da natureza. *Geografia do Brasil*, EDUSP, 1997, p. 1-65.

SELBY, M. J. *Earth's changing surface*. Oxford: Clarendon Press, 1985. 607 p.

SIOLI, H. Valores de pH de águas amazônicas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Geologia*, v. 1, p. 1-35, 1957.

SUERTEGARAY, D. M. A.; BERTÉ, A. M. A.; BELLANCA, E. T.; GUASSELLI, L. A.; BASSO, L. A.; VERDUM, R.; MEDEIROS, R. M. *Atlas da Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul*. UFRGS, 1999.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, p. 273-286, 1985.

SUMMERFIELD, M. A. *Global geomorphology: an introduction to the study of landforms*. London: Longman; New York: Wiley, 1991. 537 p.



MARCELO EDUARDO DANTAS

Graduado em Geografia (1992) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre em Geomorfologia e Geoecologia (1995) pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), atuando como geomorfólogo até o presente. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHEs de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Atua, desde 2002, como professor assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.



REGINA CELIA GIMENEZ ARMETO

Geógrafa graduada (1974) pela Universidade do Estado da Guanabara, atual Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Especialização em: Engenharia de Meio Ambiente (1991), pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO); Avaliação, Planejamento e Gerenciamento Ambiental (1992), pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Ciências Ambientais (1996), pela Universidade Estácio de Sá. Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) no início de 1976, no Departamento de Geologia (DEGEO), onde permaneceu até 1985, destacando-se no desenvolvimento de atividades de Cartografia Geológica. Entre 1985 e 1990, assumiu a chefia da Divisão de Cartografia (DICART). No período de 1992-1996, foi responsável pela Cartografia Geológica do DEGEO. Desde 1996, é chefe da Divisão de Gestão Territorial, participando da concepção do Programa de Gestão Territorial da CPRM/SGB e exercendo atividades de coordenação/supervisão de mais de uma centena de projetos em todo o território nacional de Geologia Ambiental, visando a subsidiar a Gestão Territorial.



AMÍLCAR ADAMY

Geólogo formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Fotointerpretação Geológica pelo Centro Interamericano de Fotointerpretacion, Bogotá (Colômbia). Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, pela Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Experiência em Mapeamento Geológico; Prospecção Geoquímica; Metalogenia; Pesquisa Mineral para Ouro no Vale do Tapajós (Pará); Gestão Territorial em Municípios da Amazônia; Zoneamento Ecológico-Econômico na Região Fronteiriça Brasil-Bolívia; Seleção de Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos e Cemitério; Participação no Projeto Geodiversidade. Chefia da Unidade Regional da CPRM em Porto Velho (1990-1992). Delegado do Ministério de Minas e Energia (MME) em Rondônia (1992-1996). Gerente Regional de Hidrologia e Gestão Territorial em Rondônia (1996-2008).

4

ÁGUA É VIDA

Frederico Cláudio Peixinho (*peixinho@rj.cprm.gov.br*)

Fernando A. C. Feitosa (*ffeitosa@fo.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

A Ciência Hidrológica	58
Ciclo Hidrológico	58
Recursos Hídricos	59
Hidrologia e Clima	59
Recursos Hídricos Superficiais	60
Recursos Hídricos Subterrâneos	60
Desafios da Água no Brasil	62
Bibliografia	63

A CIÊNCIA HIDROLÓGICA

A água é um recurso natural essencial à vida de todas as espécies existentes na face da Terra. Por se tratar de um componente importante na bioquímica dos seres vivos, exerce enorme influência sobre os valores socioculturais dos povos, integrando a cadeia produtiva de vários bens de consumo e intermediários. Com respeito ao homem, o corpo humano contém 70% de água, a qual exerce um papel fundamental em seu metabolismo.

A utilização da água pelo homem remonta a muitos séculos e sua importância para a humanidade se encontra registrada nas culturas de nossos antepassados. Na mitologia egípcia, Osíris era a personificação da fecundidade, a fonte total e criadora das águas. Os gregos consideravam os rios e as fontes filhos do deus Oceano e os divinizavam, dedicando-lhes oferendas.

Essa visão mitológica dos povos antigos começou a ser abalada com as primeiras concepções científicas e filosóficas da cultura ocidental, elaboradas pela Escola de Mileto. Dentre os fundadores, destaca-se o pensador Tales de Mileto, que afirmava ser a água a origem de todas as coisas. Mais adiante, o filósofo Aristóteles (384-322 a.C.), refletindo sobre o surgimento da água, especulou acerca das correlações entre a água proveniente da chuva e os lençóis subterrâneos, postulando que os rios se originaram, em parte, de água de chuva, bem como a umidade do ar do interior das cavernas nas montanhas, que, ao se condensar no solo, dava origem aos mananciais. Essa concepção filosófica se aproximou do conceito preconizado pela ciência hidrológica.

A hidrologia, em seu conceito etimológico, é a ciência que estuda a ocorrência, a distribuição, o movimento e as propriedades da água na atmosfera, na superfície e no subsolo terrestre.

Observar a água fluindo nos rios, ou apreciá-la nos lagos e oceanos é atividade acessível a qualquer pessoa. Entretanto, não nos é possível observar a água armazenada na atmosfera e/ou no subsolo nem os mecanismos que orientam sua entrada nesses locais de armazenamento e sua saída. Quando a água evapora, ela desaparece na atmosfera como vapor; quando se infiltra no subsolo, torna-se invisível aos nossos olhos.

A complexidade dos processos que envolvem o ciclo da água torna a hidrologia uma ciência de atuação interdisciplinar, envolvendo a participação de profissionais de várias áreas, como engenheiros, geólogos, agrônomos, matemáticos, estatísticos, geógrafos, biólogos, dentre outros.

CICLO HIDROLÓGICO

Na natureza, a água é a única substância a ser encontrada nos três estados da matéria

(sólido, líquido e gasoso), estando distribuída em todos os ambientes do planeta Terra: atmosfera, oceanos e continentes.

Essa ocorrência, entretanto, não é estática. A água está em um processo dinâmico e contínuo de movimento. O conjunto formado por precipitação, escoamento, infiltração e evaporação forma um sistema fechado denominado “ciclo hidrológico” (Figura 4.1).

Esse ciclo é governado, no solo e subsolo, pela ação da gravidade, bem como pelo tipo e densidade da cobertura vegetal; na atmosfera e superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceanos), por elementos e fatores climáticos, como, por exemplo, temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar e insolação (função da radiação solar), que são os responsáveis pelos processos de evaporação que transportam grandes volumes de água, na forma de vapor, para a atmosfera.

Em determinadas condições de temperatura e umidade, o vapor de água da atmosfera se condensa em minúsculas gotas que formam as nuvens e se precipita, na forma de chuva ou neve, sobre os oceanos e continentes.

Uma parte da precipitação escoar pela superfície da Terra, em direção ao mar, formando a rede de drenagem e as massas de água superficial, sujeitas diretamente aos processos de evaporação.

A outra parte da água que se precipita sobre os continentes se infiltra, através do solo, pelos espaços abertos (juntas e fraturas) ou pelos poros (espaços entre grãos) existentes nas rochas. A água infiltrada pode ficar retida como umidade no solo ou chegar até a zona saturada (aqüíferos), incorporando-se ao fluxo subterrâneo. A água retida nos solos pode ser absorvida pelas raízes das plantas, retornando à atmosfera através do processo de transpiração da vegetação. A água incorporada ao fluxo subterrâneo pode ressurgir na superfície, nas zonas de descarga dos aqüíferos, na forma de nascentes ou como fluxo de base de rios ou lagos ou, ainda, fluir diretamente para os oceanos.

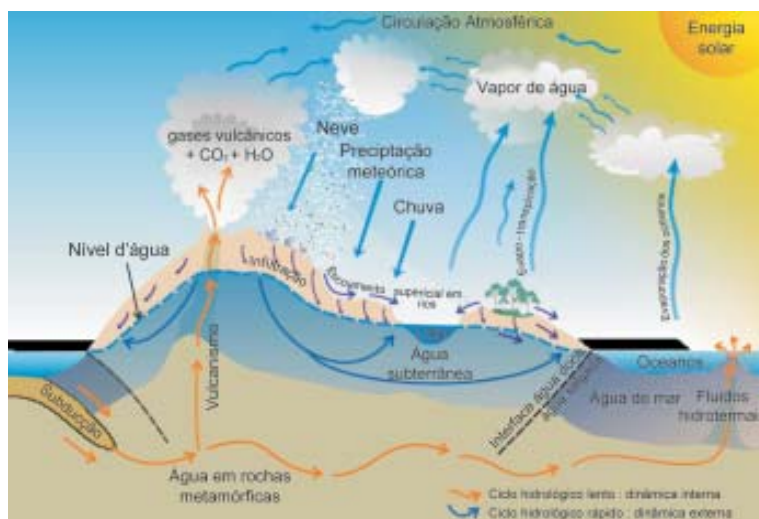


Figura 4.1 – Ilustração esquemática do ciclo hidrológico (TEIXEIRA et al., 2000).

RECURSOS HÍDRICOS

A quantidade total de água disponível no mundo é de cerca de 1,37 bilhão de km³. Se cobrirmos com esse volume o território dos Estados Unidos da América, seus estados ficariam submersos por uma lâmina de água de aproximadamente 145 km de profundidade.

Esse volume é constante, embora o fluxo de um reservatório para outro possa variar diariamente: ou ano a ano, ou até, secularmente. Durante esses intervalos de tempo, geologicamente curtos, não há ganho ou perda de água para fora ou para o interior da Terra nem qualquer perda da água da atmosfera para o espaço exterior (Figura 4.2).

Embora esse volume de água possa impressionar à primeira vista, na verdade, verifica-se que do total de água existente, apenas 2,8% constituem a água doce, principal fonte de utilização da humanidade. Se considerarmos o total de água no planeta expresso por 1 litro, a água doce existente seria apenas de 28 ml, o que seria relativamente pouco, embora sendo um valor que ultrapassa 38 milhões de km³. Indo um pouco além, verifica-se que, desse total, cerca de 21,7 ml (quase 30 milhões de km³) estão indisponíveis ao homem, retidos nas geleiras, na atmosfera e/ou na forma de umidade do solo. Assim, utilizando a analogia proposta, de mil ml de água existentes no planeta, a humanidade dispõe apenas de 6,27 ml de água doce para a sua sobrevivência. Vale ressaltar, ainda, que desses 6,27 ml, a água visível ao homem, representada por rios, lagos, lagoas, não ultrapassa 0,1 ml (algo em torno de 120 mil km³), que poderia ser subterrânea.

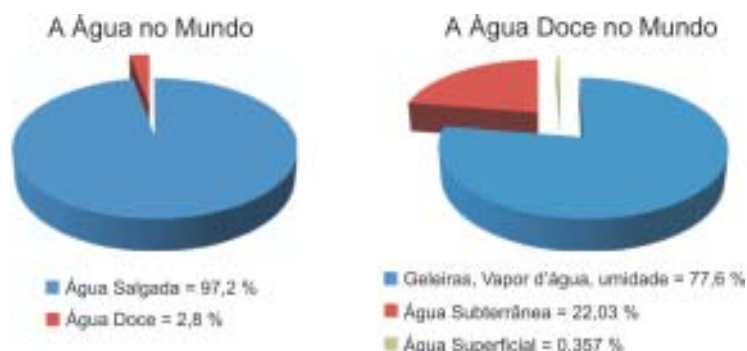


Figura 4.2 – Total de água no planeta Terra.

O crescimento populacional, o processo de mudanças climáticas e a diminuição das águas disponíveis decorrente da degradação ambiental são fatores que têm contribuído para o déficit hídrico em escala mundial, obrigando a que o uso da água entre na arena do debate das políticas públicas. O Brasil possui grande disponibilidade hídrica, distribuída de forma desigual em relação à densidade populacional (Tabela 4.1).

HIDROLOGIA E CLIMA

Em muitos aspectos, a hidrologia local (quantidade de água existente em uma região e a forma como ela flui de um reservatório para outro) é mais importante que a hidrologia global. O fator que mais exerce influência sobre a hidrologia local é o clima, o qual inclui a precipitação e temperatura. Onde quer que se viva, o clima e a geologia da região influenciam fortemente a quantidade de água que se desloca de um reservatório a outro. Os especialistas em hidrologia estão interessados em saber

Tabela 4.1 – Balanço hídrico das principais bacias hidrográficas do Brasil

Bacia hidrográfica	Área (km ²)	Média da precipitação	Média de descarga (m ³ /s)	Evapo-transpiração (m ³ /s)	Descarga/precipitação (%)
Amazônica	6.112.000	491.191	202.000	291.491	41
Tocantins	757.000	42.387	11.300	31.087	27
Atlântico Norte	242.000	16.388	6.000	10.388	37
Atlântico Nordeste	787.000	27.981	3.130	24.851	11
São Francisco	634.000	19.829	3.040	16.789	15
Atlântico Leste-Norte	242.000	7.784	670	7.114	9
Atlântico Leste-Sul	303.000	11.791	3.710	8.081	31
Paraná	877.000	39.935	11.200	28.735	28
Paraguai	368.000	16.326	1.340	14.986	8
Uruguai	178.000	9.589	4.040	5.549	42
Atlântico Sul	224.000	10.515	4.570	5.949	43
Brasil, incluindo a Amazônia	10.724.000	696.020	251.000	445.000	36

Fonte: BRAGA et al. (1998).

como as mudanças nas precipitações e evaporações afetam o abastecimento de água devido à alteração no fluxo das águas superficiais e subterrâneas. Se o nível do mar subir em decorrência de um aquecimento global, as águas subterrâneas nas terras baixas das regiões costeiras poderão se tornar salgadas, à medida que a água do mar for invadindo os aquíferos que eram inicialmente de água doce.

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

As precipitações afetam fortemente o escoamento dos rios, observando-se inundações rápidas depois de chuvas torrenciais.

Em áreas úmidas, uma proporção maior da precipitação esco superficialmente para os rios; os mananciais subterrâneos, em geral, recebem uma maior quantidade de recarga na época das chuvas e, no período de estiagem, retribuem essa água aos rios, que permanecem com escoamento durante todo o período seco. Nessa situação, os rios são denominados “perenes” (Figura 4.3a).

Já em climas áridos ou semi-áridos, com baixos índices de precipitação pluviométrica, somente uma pequena fração da água da chuva acaba como escoamento superficial. Nessas regiões, boa parte da precipitação ou infiltra ou evapora; nos períodos de estiagem, há uma tendência de os rios secarem, pois não há contribuição dos mananciais subterrâneos (descarga de base). Nesses casos, os rios são denominados “intermitentes” (Figura 4.3b).

Um grande rio pode carregar enorme quantidade de água de uma região úmida para uma região seca. A metade do escoamento superficial mundial provém de 70 grandes rios. Entre estes, destaca-se o Amazonas, contribuindo com praticamente um quarto do escoamento total. O Amazonas transporta cerca de 10 vezes mais águas que o Mississipi, maior rio da América do Norte.

No Brasil, país de dimensão continental, com grande diversidade fisiográfica, hidrológica, ambiental, econômica e social, foi instituída, em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos – um marco institucional –, a qual incorpora princípios, normas e padrões de gestão da água universalmente aceitos e praticados em muitos países.

O novo modelo de administração das águas considera a gestão descentralizada e participativa, envolvendo múltiplos usos e diferentes formas de compartilhamento das águas, representando uma verdadeira revolução não apenas na gestão hídrica, como ambiental.

Dentre os princípios instituídos, merece destaque aquele que define a bacia hidrográfica como unidade

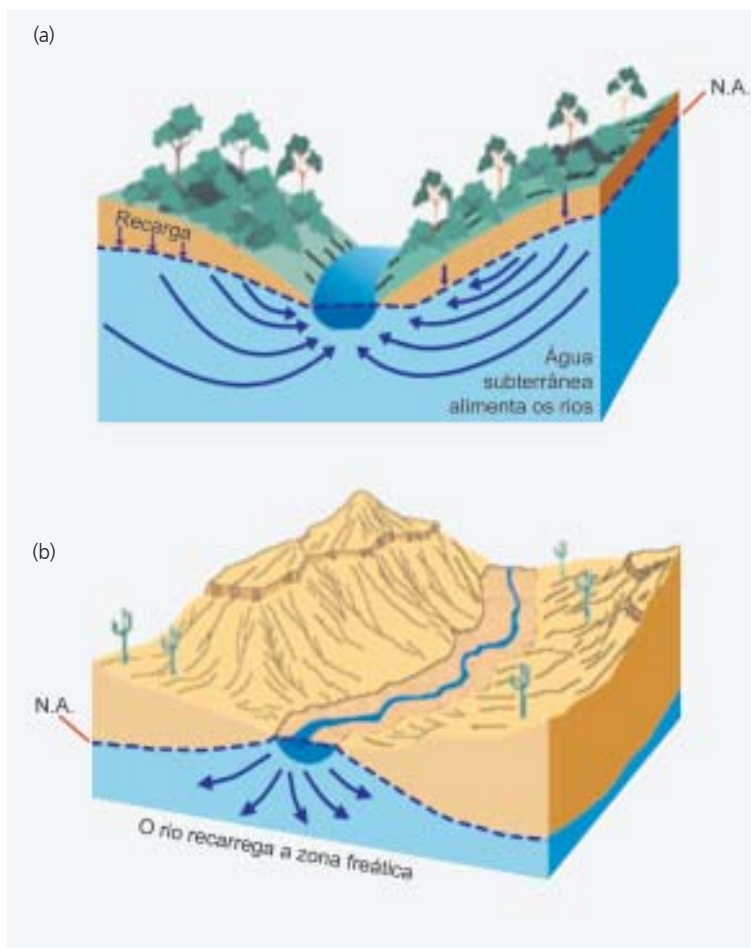


Figura 4.3 – (a) rios perenes em zonas úmidas; (b) rios intermitentes em zonas secas (adaptado de TEIXEIRA et al., 2000).

territorial de planejamento, permitindo, por meio dessa delimitação geográfica, realizar o cotejamento, de forma mais fácil, entre as disponibilidades e demandas, essenciais para o que se denomina balanço hídrico. Nessa direção foi criada a Divisão Hidrográfica Nacional, que embasa a aplicação dos instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos (Figura 4.4).

Os demais princípios tratam dos usos múltiplos das águas; do reconhecimento da água como bem finito e vulnerável; do valor econômico da água; da adoção do modelo de gestão da água de forma descentralizada e participativa.

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Certamente, pelo fato de a utilização das águas subterrâneas ser, relativamente, mais barata e as obras não serem tão fotogênicas quanto as barragens e estações de tratamento construídas para utilização das águas de superfície, o manancial subterrâneo tem sido, frequentemente, omitido nos planos de gerenciamento de recursos hídricos. Não obstante, o manancial subterrâneo cons-



Figura 4.4 – Divisão hidrográfica nacional (CONEJO et al., 2005).

titui o maior volume de água doce líquida que ocorre na Terra.

A distribuição da água em subsuperfície ocorre como ilustrado na figura 4.5. Há duas zonas distintas: não-saturada e saturada. Na primeira, os poros estão preenchidos por água e por ar, constituindo duas faixas distintas: (i) a faixa de água do solo, que se estende até a profundidade em que as raízes das plantas conseguem captar água; (ii) a faixa intermediária, que se estende desde o limite inferior da faixa de água do solo até o topo da zona saturada.

É considerada água subterrânea apenas aquela que ocorre abaixo da superfície, na zona de saturação, onde todos os poros estão preenchidos por água. A formação geológica que tem capacidade de armazenar e transmitir água é denominada “aquífero”. Em relação à geologia, existem dois domínios principais de ocorrência das águas subterrâneas: rochas cristalinas e cársticas e rochas sedimentares.

Nas rochas cristalinas e cársticas, onde não existe porosidade primária, a água se acumula nos espaços vazios gerados por quebraamentos, descontinuidades e dissolução do corpo rochoso, formando aquíferos que variam de baixa (cristalino) a alta (calcários) potencialidade, em função da limitação do tamanho e descontinuidade dos reservatórios. Nesse domínio, a qualidade da água está inti-

mamente associada ao clima, apresentando, em geral, água com alta salinidade nas regiões semi-áridas e, geralmente, água com teores elevados de carbonatos/bicarbonatos nos calcários (águas duras).

No domínio das rochas sedimentares, onde as formações geológicas apresentam porosidade primária intergranular, a água preenche os poros em toda a extensão de ocorrência da rocha, formando grandes aquíferos regionais. Nesses aquíferos, onde está armazenada a quase totalidade dos cerca de 10 milhões de km³ de água subterrânea existentes no planeta, em geral, a água apresenta uma boa qualidade físico-química, com baixos teores de sólidos totais dissolvidos.

A figura 4.6 ilustra claramente a diferença entre a forma de ocorrência da água nos domínios das rochas cristalinas – mostrando a descontinuidade e a heterogeneidade dos reservatórios com a existência de poços secos – e rochas sedimentares, apresentando, ao contrário, continuidade e homogeneidade.

No Brasil, existem três grandes bacias sedimentares, dentre outras de menor porte, que concentram a maior parte da ocorrência de água subterrânea: bacia sedimentar do Paraná, onde ocorre, dentre outros, o aquífero Guarani (anteriormente, denominado aquífero Botucatu); bacia sedimentar do Parnaíba, com os aquíferos Serra Grande e Cabeças; bacia sedimentar do Amazonas, com o aquífero Alter do Chão.

No mapa da figura 4.7 é apresentada a divisão do país em províncias hidrogeológicas, regiões que apresentam semelhanças no comportamento hidrogeológico com

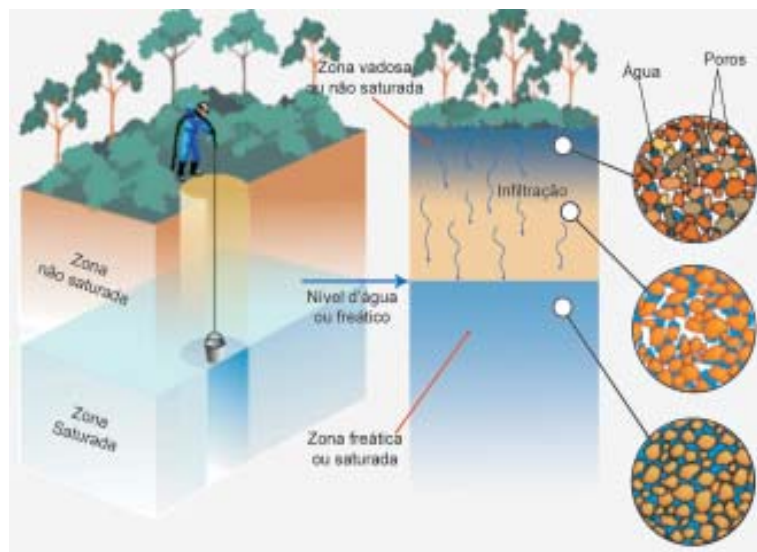


Figura 4.5 – Distribuição vertical da água em subsuperfície (TEIXEIRA et al., 2000).

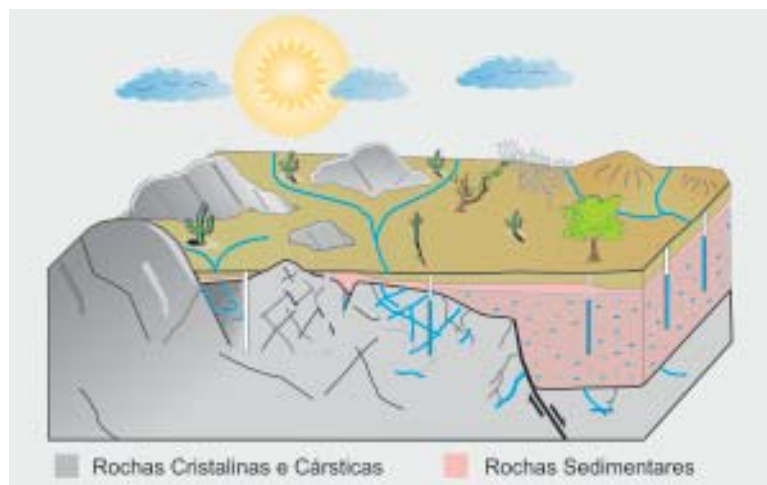


Figura 4.6 – Ocorrência da água subterrânea em rochas cristalinas e em rochas sedimentares (adaptado de RIBEIRO e FEITOSA, 2000).

base, principalmente, na geologia, mostrando as potencialidades de cada uma no que se refere ao armazenamento de água subterrânea.

Na tabela 4.2 são apresentadas as potencialidades e os intervalos médios das vazões mais frequentes dos poços produtores, para os principais aquíferos brasileiros.

DESAFIOS DA ÁGUA NO BRASIL

A produção total de água doce no Brasil representa 53% do continente sul-americano e 12% do total mundial (REBOUÇAS, 1996). Todavia, 80% da produção hídrica brasileira se concentram em três grandes unidades hidrográficas: Amazonas, São Francisco e Paraná.

Devem-se considerar, ainda, as grandes reservas de água subterrânea existentes no Brasil, fundamentais para o abastecimento e a irrigação em muitas regiões do país.

No que diz respeito à qualidade da água, a insuficiência de redes de monitoramento no país dificulta a realização de um diagnóstico mais preciso da qualidade da água. Estudos recentes apontam que as regiões mais



Figura 4.7 – Províncias hidrogeológicas do Brasil e seus potenciais em termos de ocorrência de água subterrânea (modificado de TEIXEIRA et al., 2000).

Tabela 4.2 – Reserva de água subterrânea no Brasil e intervalos mais frequentes das vazões dos poços (REBOUÇAS, 1996)

Domínio aquífero	Área (km ²)	Sistema aquífero principal	Reservas (km ³)	Intervalo vazão poço (m ³ /h)
Substrato aflorante	600.000	Zonas fraturadas (P€)	80	< 1-5
Substrato alterado	4.000.000	Manto rocha alterada e/ou fraturas (P€)	10.000	5-10
Bacia sedimentar Amazonas	1.300.000	Gr. Barreiras (TQb) Fm. Alter do Chão (K)	32.500	10-400
Bacia sedimentar São Luís-Barreirinhas	50.000	Fm. São Luís (TQ) Fm. Itapecuru (Ki)	250	10-150
Bacia sedimentar Maranhão	700.000	Fm. Itapecuru (Ki) Fm. Cordas-Grajaú (Jc) Fm. Motuca (PTRm) Fm. Poti-Piauí (Cpi) Fm. Cabeças (Dc) Fm. Serra Grande (Sdsg)	17.500	10-1000
Bacia sedimentar Potiguar-Recife	23.000	Gr. Barreiras (TQb) Fm. Calc. Jandaíra (Kj) Fm. Açú-Beberibe (Ka)	230	5-550
Bacia sedimentar Alagoas/Sergipe	10.000	Gr. Barreiras (TQb) Fm. Marituba (Km)	100	10-350
Bacia sedimentar Jatobá-Tucano-Recôncavo	56.000	Fm. Marizal (Kmz) Fm. São Sebastião (Kss) Fm. Tacaratu (SDt)	840	10-500
Bacia sedimentar Paraná (Brasil)	1.000.000	Gr. Bauru-Caiuá (Kb) Fm. Serra Geral (Jksg) Fm. Botucatu-Pirambóia-Rio do Rastro (Pr/TRp/Jb) Fm. Furnas-Aquidauana (D/PCa)	50.400	10-700
Depósitos diversos	773.000	Aluviões, dunas (Q)	411	2-40
Totais	8.512.000		≈ 112.000	

críticas com relação ao Índice de Qualidade das Águas (categorias ruim e péssima) localizam-se nas proximidades das principais regiões metropolitanas e estão associadas, principalmente, ao lançamento de esgotos domésticos.

A disponibilidade hídrica desigual nas diversas regiões do país, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, sobretudo em regiões densamente povoadas, a falta, ou mesmo a existência de deficientes instrumentos de gestão da água e o desperdício de água são os principais fatores que têm contribuído para o déficit hídrico em várias regiões do Brasil.

Diante desse cenário, para preservar e garantir às gerações atuais e futuras o acesso às reservas hídricas, nos diversos pontos de seu território, o Brasil deverá promover

uma gestão da água eficaz. Nesse contexto, é indispensável buscar-se uma equalização inter-regional e intertemporal, por meio de políticas públicas que privilegiem uma abordagem integrada do ciclo hidrológico e programem ações conseqüentes de geração de conhecimento de demanda e oferta da água, que ajudarão a definir marcos regulatórios, bem como a capacidade de suporte (retirada) de cada bacia hidrográfica.

BIBLIOGRAFIA

BRAGA, B.; ROCHA, O.; TUNDISI, J. G. Dams and the environment: the Brazilian experience. *Water Resources Development*, v. 14, p. 127-140, 1998.

CONEJO, G. L. J.; COSTA, P. M.; SILVA, C. A.; BURNETT, B. A. J.; ACSELRAD, V. M. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. *Caderno Técnico*, Brasília: Agência Nacional de Águas, n. 1, 2005.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM; LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para entender a Terra*. 4. ed. Tradução Rualdo Menegat. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p. il.

REBOUÇAS, A. C. *Diagnóstico do setor hidrogeologia*. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1996. 46 p.

RIBEIRO, J. A.; FEITOSA, F. A. C. *Ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas: região de Irauçuba*, CE. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. Relatório (no prelo).

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

TUNDIZI, G. J. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: Rima, 2003. 247 p.



FREDERICO CLÁUDIO PEIXINHO

Engenheiro Civil (1972) pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Especialista em Hidrologia Aplicada (1973) pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). MBA de Qualidade Total (2002) pela Fundação Getúlio Vargas (FGV-RJ), MBA em Gestão Estratégica da Informação (2003) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Avaliação Ambiental (2004) pela Pontifícia Universidade Católica (PUC). Mestrando em Tecnologia da Informação (2008) pela UFRJ. Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 1974. Desde 1975 exerce a coordenação do Programa de Hidrologia da CPRM, desenvolvendo atividades relacionadas a levantamento, estudos e pesquisas na área de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos. Responsável técnico pela implementação, operação e integração do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) em estados brasileiros e países da América Latina. Linhas de atuação atuais: Hidrologia, Gestão Estratégica, Sistemas de Informação.



FERNANDO A. C. FEITOSA

Geólogo (1982) e mestre em Hidrogeologia (1990) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutorando em Hidrogeologia pela UFPE. Atuou na CONESP, ATEPE, ACQUAPLAN, EMATER-PE e FUNCEME. Foi chefe da Divisão de Hidrogeologia da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) no período de 2001 a 2007. Atualmente, é coordenador executivo do Departamento de Hidrologia (DEHID). Coordenador da Rede de Pesquisa de Estudos Hidrogeológicos do Semi-Árido Brasileiro – FINEP/CPRM-UFBA-UFC-UFCG-UFRN-UFPE (2005-2008). Linhas de atuação: Avaliação e Gestão de Aquíferos; Estudos Hidrogeológicos; Construção e Avaliação de Poços.

5

RECURSOS MINERAIS DO MAR

Luiz Roberto Silva Martins¹ (luiz.martins@ufrgs.br)
Kaiser Gonçalves de Souza² (kaiser@df.cprm.gov.br)

¹UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

²CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Minerais do Fundo Marinho	66
Ocorrências Superficiais	66
Granulados siliciclásticos (areia e cascalho)	66
Granulados bioclásticos	69
Depósitos de pláceres	69
Fosforitas	75
Nódulos polimetálicos	76
Crostras cobaltíferas	79
Sulfetos polimetálicos e outros depósitos hidrotermais	79
Outras ocorrências	81
Glauconita	81
Barita	82
Lamas orgânicas	82
Vasas organogênicas	82
Ocorrências de Subsuperfície	82
Evaporitos	82
Enxofre	82
Carvão	83
Hidratos de gás	83
Zona Costeira como um Recurso	85
Considerações Finais	86
Bibliografia	87

MINERAIS DO FUNDO MARINHO

A distribuição mundial desigual de recursos minerais no continente, a sensibilidade política que tal fato causa e um atento crescimento da importância na proteção e conservação dos ambientes aumentaram o significado futuro dos minerais marinhos, além do óleo e gás. O conhecimento sobre sua distribuição, categoria, gênese e abundância, embora ainda imperfeito, cresce rapidamente, particularmente para aqueles minerais economicamente significativos em um futuro próximo.

Atualmente, a mais importante mercadoria (excluindo óleo e gás) minerada em mar aberto, tanto em quantidade como em valor, é composta de agregados (areia e cascalho) para a indústria da construção, seguida pelos plácemes submersos de estanho, os carbonatos bioclásticos para corretivo de solo e cimento, as acumulações fosfáticas para uso em fertilizantes. As lamas ricamente mineralizadas do mar Vermelho serão brevemente exploradas. As grandes quantidades de nódulos de manganês (polimetálicos) também devem ser consideradas como contribuição valiosa para o suprimento mundial de níquel, cobre, cobalto e manganês. Acumulações de sulfetos mapeados no Pacífico leste representam novas ocorrências a serem pesquisadas com profundidade, embora requerendo o desenvolvimento de novas tecnologias, antes de serem minerados economicamente.

A exploração de minerais marinhos depende, em essência, do custo competitivo de outros recursos que, por sua vez, estão vinculados ao desenvolvimento de uma tecnologia disponível de baixo custo, bem como de seu valor e quantidade disponível.

Entre os muitos fatores que determinam a distribuição dos recursos minerais marinhos, a evolução dos oceanos é de influência básica. Dessa maneira, a localização dos minerais foi determinada durante os diferentes estágios de evolução oceânica.

Essas etapas são: estágios essenciais da deriva das massas continentais, quando a expansão oceânica iniciou e o fundo do rifte central foi construído de crosta oceânica como, por exemplo, no mar Vermelho; o estágio quando o rifte alargou-se e uma dorsal foi formada no oceano, onde mais crosta oceânica foi formada, expandindo a partir da dorsal, esfriando, como no oceano Atlântico; um terceiro estágio, quando a crosta oceânica colidiu com a crosta continental e submergiu abaixo dela, como, por exemplo, no leste do Pacífico.

Sulfetos polimetálicos e sedimentos metalíferos podem ser depositados ao longo dos maiores limites de fratura e placas, na crista das dorsais, durante todos esses estágios de evolução oceânica e durante períodos de vulcanismo de arco de ilhas. Os depósitos são formados por atividade hidrotermal, particularmente em áreas tectonicamente ativas, onde o grau de expansão é alto.

Nódulos de manganês são mais abundantes em áreas com taxas inexpressivas de sedimentação e condições oxidantes, característica das grandes e profundas bacias oceânicas, como, por exemplo, o Pacífico equatorial norte-leste.

Por sua vez, a distribuição dos plácemes e agregados é restrita à plataforma continental e está relacionada a fatores como proximidade de área-fonte no continente e mudanças recentes no nível do mar. Depósitos fosfáticos marinhos estão restritos às margens continentais e associados a fenômenos de ressurgências.

Depósitos minerais do piso marinho podem ser caracterizados como não-consolidados e, portanto, capazes de serem coletados diretamente por dragagem, ou consolidados, requerendo energia adicional para fragmentação do depósito antes da coleta. Cada um dos tipos pode ocorrer na superfície ou abaixo da interface sedimento/água.

Depósitos não-consolidados incluem materiais de construção, como cascalho e areia; material bioclástico (carbonatos); plácemes de minerais pesados contendo titânio, estanho e ouro; lamas metalíferas, como as encontradas no mar Vermelho; nódulos polimetálicos e vasas silicosas e carbonáticas.

Depósitos consolidados incluem seqüências estratificadas, tais como carvão e ferro; crostas, como as encontradas nos montes submarinos do oceano Pacífico, formadas por óxidos de manganês ricos em cobalto.

SANTANA (1999) sintetizou o conhecimento sobre a ocorrência de recursos minerais da margem continental brasileira e regiões adjacentes fornecendo um mapa na escala 1:5.592.000. Trabalhos adicionais realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) e por centros de pesquisa vinculados a universidades enriqueceram o trabalho inicial com novas informações sobre areia, minerais pesados, carbonatos e fosfatos.

OCORRÊNCIAS SUPERFICIAIS

Granulados siliciclásticos (areia e cascalho)

Praias, por seus aspectos estéticos e por muitas outras razões, despertam o interesse público. Elas são formadas por areia e cascalho, matéria-prima para obras e construções, e serviram durante muito tempo como fonte de material para tais aplicações.

Felizmente, o crescimento acentuado do turismo, apesar de os problemas associados que aportaram à zona costeira, serviu para o surgimento de medidas visando a sua preservação. O aumento gradativo da importância da manutenção de um campo de dunas, como elemento absorvente da energia de onda durante as ressacas, forneceu embasamento para medidas governamentais visando a sua preservação e manejo, bem como de todo o

perfil praias. Contudo, variações do nível do mar, provocadas por ação antrópica ou como causa natural, vêm causando sérios danos à linha de costa, por meio da erosão.

Essas razões são suficientes argumentos para o crescente interesse dos depósitos de areia e cascalho presentes na plataforma continental, os quais excedem em volume e potencial o valor de qualquer outro recurso não-vivo, exceto o óleo e gás. Sua utilização é dividida entre a indústria da construção e os programas de reconstrução praias, como os conduzidos pelo Minerals Management Service (MMS) na costa leste dos Estados Unidos da América, por exemplo. Por serem *commodities* de baixo custo, é importante que o material seja minerado de local próximo ao mercado consumidor.

Em certas ocorrências, contudo, como nas costas da Sibéria, norte do Canadá, Namíbia, norte e leste da Austrália, as suas explorações não perfazem as condições econômicas requeridas. Da mesma forma, os depósitos de areia e cascalho situados além do limite das 200 milhas ou fora dos contornos fisiográficos da plataforma continental não são tão atraentes.

A produção de areia e cascalho provavelmente prosseguirá em locais próximos a grandes cidades e centros turísticos para mitigar locais de severa erosão praias. Edisto Beach, Carolina do Sul, nos Estados Unidos, é um desses casos com registro do problema e plano de recuperação; já a praia do Hermenegildo, no Rio Grande do Sul, possui o problema, mas nenhum plano de *beach nourishment*.

Para se ter uma idéia do crescimento da importância de areia e cascalho, calcula-se que em 1980 somente 1,5% de material usado eram de origem de mar aberto. Para alguns países, contudo, a produção *offshore* é de grande significado, como no Reino Unido, que obtém 25% desse material em mar aberto. Entretanto, a produção maior (cerca de 50% da produção mundial de agregados) é realizada pelo Japão.

Como a mineração é desenvolvida próximo à linha de costa, uma série de cuidados deve ser seguida com vistas à preservação ambiental. Isso ocorre no Reino Unido, onde a dragagem é regulada, sendo confinada a específicas áreas de concessões. O mesmo sucede nos Estados Unidos, onde a realização de tais trabalhos é coordenada por agências como United States Geological Survey (USGS), Minerals Management Service (MMS) e Center for Environmental Research and Conservation (CERC).

A maior parte das dragagens é realizada a profundidades menores de 45 m, estando previsto um aumento para 50-60 m em um futuro próximo. O material pode ser minerado por meio de dragas ou bombas hidráulicas, ou ambos os métodos, sempre com regras sensíveis ao ambiente marinho. Medidas governamentais restringem a mineração muito próxima à linha de costa de duas maneiras: pela distância ou pela profundidade da lâmina de água.

Em Brunswick (Canadá), a distância é de 300 m, enquanto no Japão a dragagem é proibida em um limite de 4/5 km da costa. No Reino Unido, as licenças de mineração de mar aberto não são concedidas para águas mais rasas que 18 m.

Danos ao fundo marinho e ao ambiente pela extração de areia e cascalho podem ser causados de muitas formas. O aumento da turbidez na água do mar pode reduzir o desenvolvimento de plantas em águas rasas, o que prejudica o *habitat* de certas espécies de peixes e crustáceos e reduz a captura comercial e as oportunidades de pesca recreativa. O acúmulo expressivo de lama, que muitas vezes tem de ser removida quando depositada, pode asfixiar as vegetações e recifes. Deve ser considerado também que a remoção de areia e cascalho sob a espessura uniforme de grandes áreas irá destruir a fauna de fundo e locais de procriação, gerando áreas estéreis do piso marinho, que levarão muitos anos para serem recuperadas.

Sugestões existem para diminuir danos ao ambiente, como, por exemplo, a realização de corte de trincheiras no piso marinho rodeadas por áreas não perturbadas, onde é criada uma variação de relevo que poderá ser benéfica à população de peixes.

A extensa bibliografia específica sobre o tema (consultar, por exemplo, Earney, 1990) revela que os problemas decorrentes da mineração marinha têm sido intensamente estudados pelas nações mais desenvolvidas e algumas possíveis soluções estão atualmente bem documentadas. Ações governamentais apontam para a realização de estudos detalhados sobre o ambiente marinho e de seus processos naturais de sustentação, de forma que a legislação prevenirá danos irreversíveis ao ambiente ou a outras atividades que utilizam o meio marinho, particularmente aquelas baseadas na utilização sustentável dos recursos vivos.

Estudos sobre estoques arenosos presentes na plataforma continental interna e de conseqüente realimentação de praias erodidas são encontrados em trabalhos como o DE AMATO (1994) para a plataforma leste dos Estados Unidos. No sul do Brasil e Uruguai, estoques arenosos foram avaliados por MARTINS et al. (1999, 2005), MARTINS e Urien (2004) e MARTINS E TOLDO JR. (2006b).

Na figura 5.1 são mostradas as ocorrências de areia e cascalho na plataforma leste dos Estados Unidos. Na figura 5.2 são apresentadas as concessões de Reino Unido, Holanda, Bélgica e França para o mesmo tipo de exploração no mar do Norte, cujas licenças, fornecidas pelas respectivas agências nacionais pertinentes, para direito de dragagem, estão sujeitas a restrições relacionadas à pesca e à proteção costeira. Na figura 5.3 são representadas áreas de dragagens de areia no canal inglês e, nas figuras 5.4 e 5.5, detalhes relativos à extração e estocagem de areia e cascalho. Na figura 5.6 estão representadas áreas com potencial de areia, presentes na plataforma continental do Rio Grande do Sul.

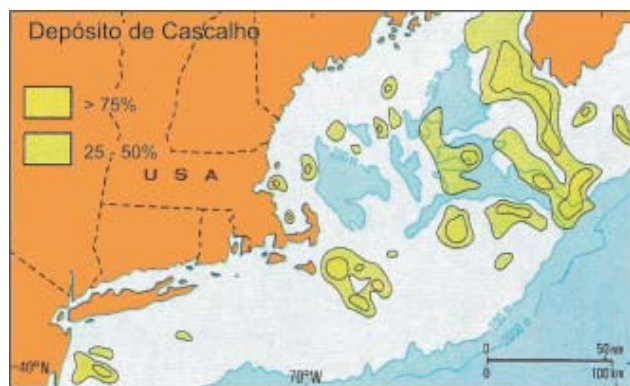


Figura 5.1 – Areia e cascalho representam, por seu volume, o potencial mineral econômico mais importante da plataforma continental dos Estados Unidos (COUPER, 1983).

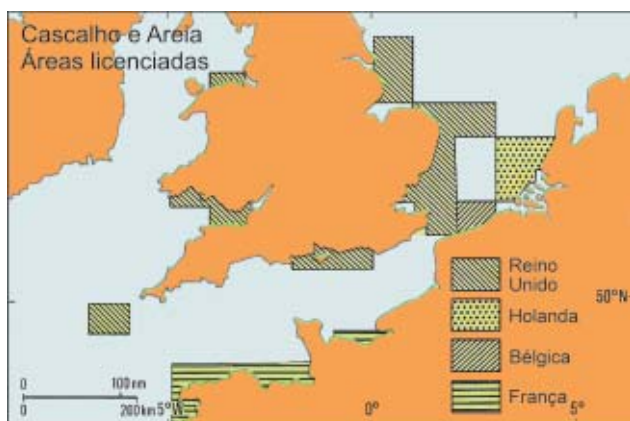


Figura 5.2 – O mar do Norte, uma das mais ricas áreas do mundo em areia e cascalho, foi dividido pelos países costeiros (Reino Unido, Holanda, Bélgica e França) em áreas de concessão para dragagem (COUPER, 1983).

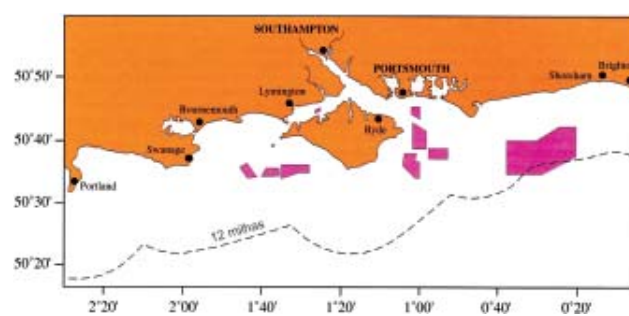


Figura 5.3 – Áreas de dragagem de areia no canal inglês (SUMMERHAYES, 1998).



Figura 5.4 – Cascalho sendo minerado com utilização de draga (SUMMERHAYES, 1998).



Figura 5.5 – Areia e cascalho de mar aberto estocado para distribuição (SUMMERHAYES, 1998).

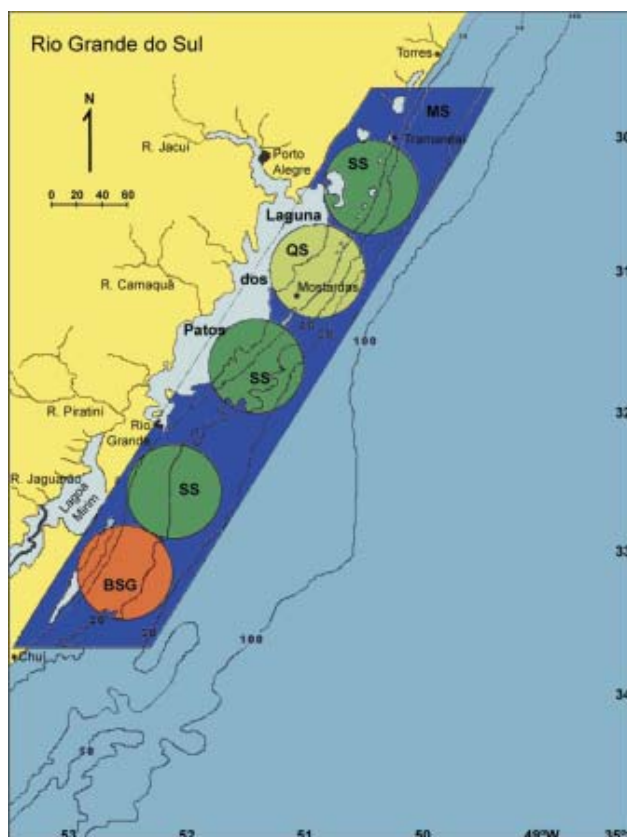


Figura 5.6 – Potencial de areia quartzosa, areia quartzosa com bioclastos e areia e cascalho bioclástico da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul (MARTINS et al., 1999).

Granulados bioclásticos

Carbonato de cálcio é minerado como material recifal consolidado ou como acumulações bioclásticas não-consolidadas recifais ou de conchas. A mineração de camadas de conchas é mais comum, enquanto recifes coralígenos representam fontes de carbonato de cálcio, mas a utilização de corais não-vivos ou mortos aumenta a vulnerabilidade a dano mediante a ação de ondas e tempestades.

No meio marinho, o esforço mais expressivo da pesquisa encontra-se dirigido a oólitos, corais, algas coralígenas e conchas. Nas ilhas tropicais com franjas de recifes coralígenos, as areias não são de quartzo, mas de fragmentos de corais de carbonato de cálcio, componente básico do cimento. Carbonato de cálcio sob a forma de conchas é também comum nas plataformas continentais.

A planta exploratória de areia aragonítica situada em Cat Cay, nas Bahamas, é uma das mais expressivas, com mais de 37.500 milhões de m³, abastecendo segmentos do mercado norte-americano com carbonato de cálcio para corretivos de solos e cimento.

Areias calcárias denominadas *marl* são também dragadas da plataforma continental francesa para aplica-

ção direta nos solos ácidos da Bretanha. Tais depósitos possuem composição similar às areias encontradas no nordeste do Brasil. A produção é bastante expressiva – entre 500 e 700 t/ano.

Estudo de COUTINHO (1992) na província carbonática da plataforma continental brasileira que se estende do rio Pará (0,5°S) até as vizinhanças de Cabo Frio (23,5°S), em uma provavelmente mais longa e contínua plataforma atapetada por sedimentos carbonáticos do mundo, revelou interessantes aspectos dessa sedimentação. Os sedimentos carbonáticos que ocupam as porções média e externa da plataforma estão representados por areias e cascalhos formados por algas coralígenas ramificadas e maciças, concreções, artículos de Halimeda, moluscos, briozoários e foraminíferos bentônicos.

MONT'ALVERNE E COUTINHO (1992) calcularam uma reserva de 1,96 x 10¹¹ t, considerando a isóbata entre 20 e 30 m na plataforma continental de Pernambuco, admitindo uma espessura média de 1,5 m.

Segundo SANTANA (1979, 1999), a margem continental do nordeste e leste do Brasil até a altura de Cabo Frio possui sedimentos ricos em carbonato, contendo mais de 75% de CaCO₃. O autor considerou uma espessura média para esses depósitos de 5 m, representando uma reserva de 2 x 10¹¹ t, correspondendo, na época, a mais de 50 vezes a reserva estimada do continente.

O conhecimento relativo aos depósitos de calcário bioclástico ocorrente na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul, vinculado a antigas linhas de praia de alta energia (MARTINS et al., 1972), foi sintetizado por CALLIARI et al. (1999), com especial ênfase nas áreas de Albardão e Carpinteiro, representando um potencial econômico de 1 bilhão de toneladas (Figura 5.7). Em Santa Catarina, estudos realizados na zona costeira foram divulgados por Caruso Jr. (1999).

Depósitos de pláceres

Depósitos de cassiterita, ilmenita, ouro e diamante, ocorrentes nas plataformas continentais, são formados do mesmo modo que as acumulações aluvionares fluviais. O mineral ou gema é erodido(a) das rochas nas cabeceiras dos rios e carregado(a) pelo curso fluvial se o fluxo é suficientemente vigoroso até sua diminuição, quando as partículas mais pesadas assentam em seu leito, preferencialmente em áreas de remanso. Inundações periódicas movem essas acumulações rio abaixo, onde assentam novamente e são cobertas por outros sedimentos. Praias do mundo inteiro têm sido mineradas para muitos minerais, incluindo diamante (Namíbia), ouro (Alasca e Nova Escócia) e cromita (Oregon).

As concentrações de minerais física e quimicamente resistentes são formadas a partir da erosão de corpos mineralizados liberados por meio do intemperismo e acumulados mecanicamente. Esses minerais podem permanecer *in situ* ou serem transportados e concentrados em

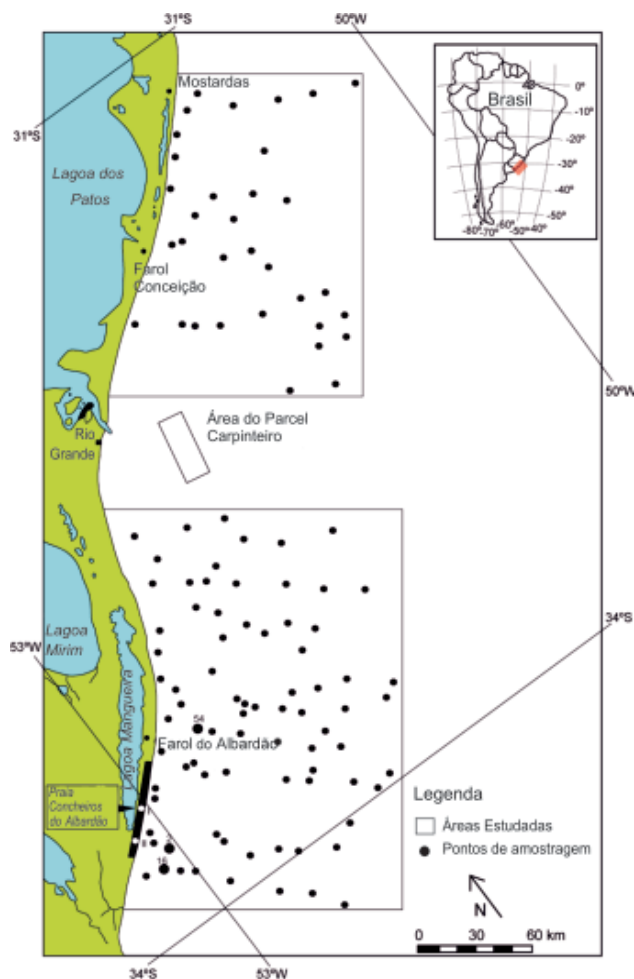


Figura 5.7 – Localização das acumulações do Albardão, Parcel do Carpinteiro e Mostardas na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul (CALLIARI et al., 1999).

areias e cascalhos ocorrentes em rios e praias, incluindo ouro nativo, platina, cassiterita (estanho), rutilo e ilmenita (titânio), magnetita (ferro), zircão (zircônio), volframita (tungstênio), cromita (cromo), monazita (cério e tório) e pedras preciosas.

Ainda que ocorram ao longo do tempo geológico (como ouro encontrado em rochas do Pré-Cambriano da África do Sul), a maioria se formou nos últimos 65 milhões de anos. Depósitos importantes podem ser indicados como ouro no Alasca; areia titanífera na Flórida, Sri Lanka, Índia, Austrália e Brasil; estanho na Malásia e Indonésia; magnetita nas praias do Japão.

Alguns dos pláceres encontrados nas plataformas continentais estão situados em camadas fluviais que foram afogadas pela elevação do nível do mar a partir de -130/-150 m durante os últimos 18 mil anos. Outros pláceres são formados por meio do retrabalhamento de alguns desses depósitos aluvionares por ondas e correntes na linha de praia durante os níveis de estabilização temporária da transgressão holocênica. Outras acumulações mais recentes representam o material erodido carregado para o mar por ação fluvial para depósitos praias (usualmente associados a deltas), ou pela erosão de areias costeiras que contenham concentrações de minerais pesados.

Zonas rasas da plataforma continental servem para a exploração de diamante (Namíbia), cassiterita (Malásia, Indonésia e Tailândia) (Tabela 5.1). Outros minerais, como cromita (cromo), rutilo (titânio), ilmenita (ferro e titânio), magnetita (ferro), zircão (zircônia), monazita (terras-raras) e sheelita (tungstênio), foram ou estão sendo dragados em vários locais do Sri Lanka e Austrália.

De maneira geral, os depósitos de pláceres não se estendem muito distante da linha de costa. Os problemas ambientais associados à mineração de pláceres são simila-

Tabela 5.1 – Relações entre profundidade e modo de ocorrência de minerais marinhos não-consolidados

Mineral	Profundidade		Modo de ocorrência			
	0-30 m	30-200 m	Praia	Praia submersa	Cursos submersos	Sedimentos superficiais
Ilmenita	X	X	X	X		
Rutilo	X	X	X	X		
Zircão	X	X	X	X		
Monazita	X	X	X	X		
Titânio	X	X		X		
Estanho	X	X		X		
Ouro		X	X	X	X	
Platina		X	X	X	X	
Diamante	X	X	X	X	X	
Ferro	X	X	X	X	X	
Areia	X	X	X	X	X	X
Cascalho	X	X	X	X	X	X

res aos ligados à exploração de areia e cascalho, exceto pela tendência seletiva e geograficamente mais limitada em área (Figura 5.8).

A possibilidade de mineração de pláceres de mar aberto será a mesma nas acumulações costeiras e dependente de fatores como custo da exploração, obtenção de permissão para a mineração, necessidade de satisfazer a regulamentos ambientais, tecnologia de beneficiamento e custos de transporte. Enquanto alguns pláceres contêm recursos como ilmenita e rutilo e são amplamente distribuídos, estanho aluvial é restrito a áreas como sudeste da Ásia, onde ocorrem a partir de granitos estaníferos. Pláceres comerciais de ouro são menos freqüentes e os de diamante, comparativamente raros.

O sul da costa da Namíbia é a principal fonte dos diamantes marinhos. Antes de 1961, esses diamantes eram obtidos pela mineração de terraços ao norte do rio Orange. Diamantes de kimberlitos intemperizados foram transportados pelo rio Orange e seus tributários do rio Vaal até a zona costeira, onde foram coletados (Figuras 5.9, 5.10 e 5.11) e, posteriormente, soterrados por sedimentos calcários. Muitos diamantes foram também levados em direção norte por fortes correntes e eventualmente acumulados em areias e lamas na plataforma continental. A mineração desses diamantes de mar aberto em águas de até 35 m de profundidade iniciou em 1961 e prosseguiu por uma década, quando as atividades se tornaram não-econômicas para a maioria das empresas mineradoras, sendo as operações de mar aberto deslocadas para a plataforma interna. A produção em zonas internas rasas continuou com operadoras independentes usando pequenos barcos ou bombeamento para a praia. A produção em 1996 foi de 90.000 quilates. Após 1971, grandes companhias começaram a explorar em águas profundas e nos 12 anos seguintes constataram a existência de cascalhos comerciais ricos em diamantes na plataforma média em águas de até 200 m. Esses depósitos foram explorados utilizando-se novas técnicas desenvolvidas em 1990.

Nesse ano, a De Beers Marine produziu 29.195 quilates na plataforma continental média e a produção subiu para 470.000 quilates em 1996, quando representou um terço da produção de diamantes na Namíbia. Em 1997, a exploração de diamante da Namíbia e África do Sul estendeu-se à isóbata de 500 m. Os estudos revelaram que as camadas produtivas de mar aberto da Namíbia e

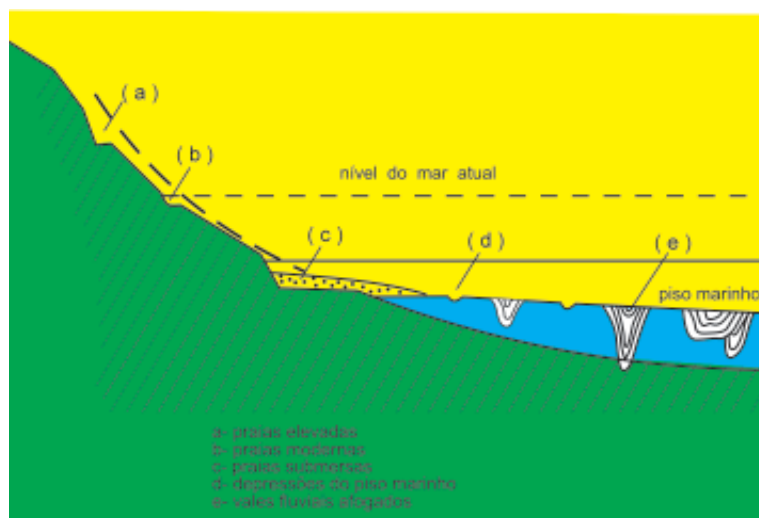


Figura 5.8 – Ocorrência de pláceres de minerais pesados na zona costeira e plataforma continental adjacente.

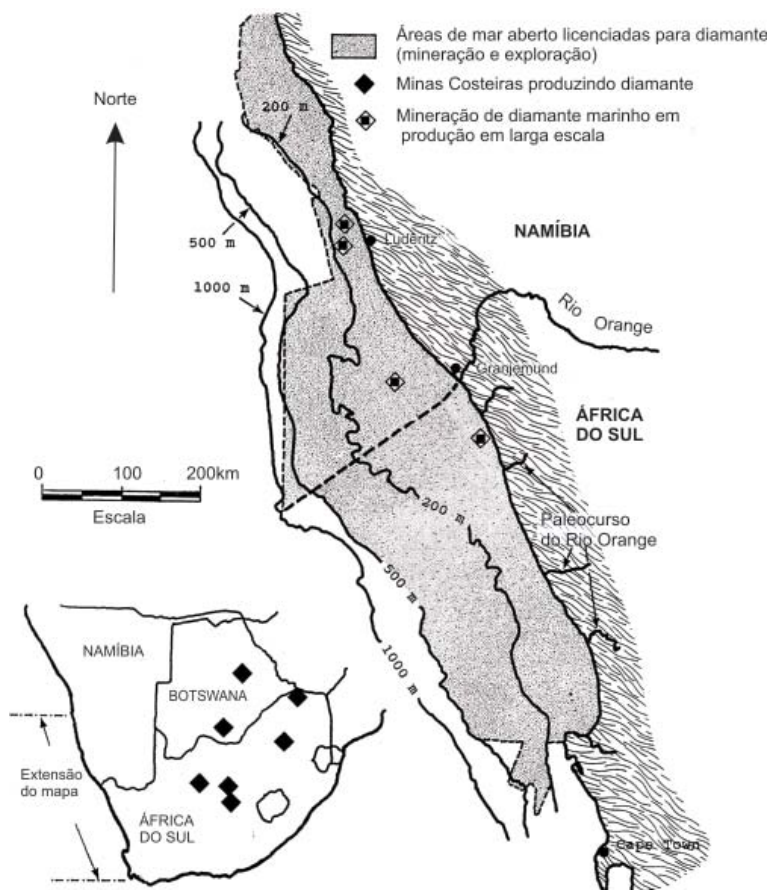


Figura 5.9 – Áreas licenciadas para exploração e mineração do sul da África apresentando batimetria e principais pontos operacionais (GARNETT, 1999b).

África do Sul devem sua origem a uma complexa interação de sistemas de alta energia fluvial, marinha e eólica que operaram no oeste da costa pelo menos desde o Oligoceno.

LOCALIZAÇÃO DAS PALEOFEIÇÕES

- A - Linha de costa
 B - Embaimento C - Depressão D - Rio
 E - Corredor F - Vale G - Alimentadores
 H - Área de mudança de energia I - Cascalho de cobertura

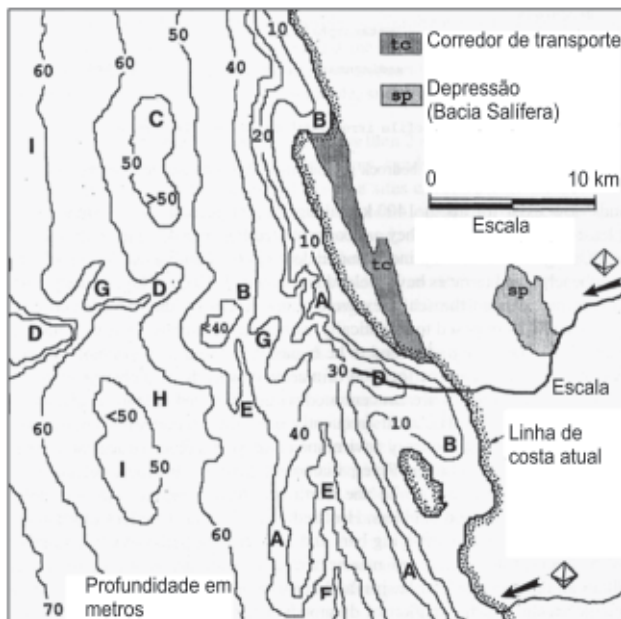


Figura 5.10 – Feições típicas de acumulação de diamante na plataforma interna (GARNETT, 1999b).

Explorações para amostragem de diamantes ocorreram nas margens continentais de Angola, Sierra Leoa, Indonésia, Austrália (golfs Bonaparte e Carpentaria), Rússia (mar Branco e mar Azov) e Canadá (golfo Coronation).

Os pláceres de diamante da costa da Namíbia e África do Sul foram transportados por cursos fluviais após sua erosão de kimberlitos situados a centenas de quilômetros no continente. Correntes litorâneas combinadas a fortes ventos e ação de ondas de elevada energia durante períodos de consideráveis mudanças no nível do mar concentraram os diamantes em paleolinhas da costa e outras feições geológicas litorâneas.

Os cascalhos existentes formam uma fixa camada sobre um embasamento irregular, ocorrendo em setores da plataforma interna e média ao longo das costas da Namíbia e África do Sul.

Pláceres contendo ouro são encontrados em zonas costeiras da África do Sul, Alasca, norte do Canadá, Sibéria e Filipinas. Tanto ouro como diamante são menos abundantes progressivamente, à medida que a distância da fonte aumenta. Assim, é improvável que quan-

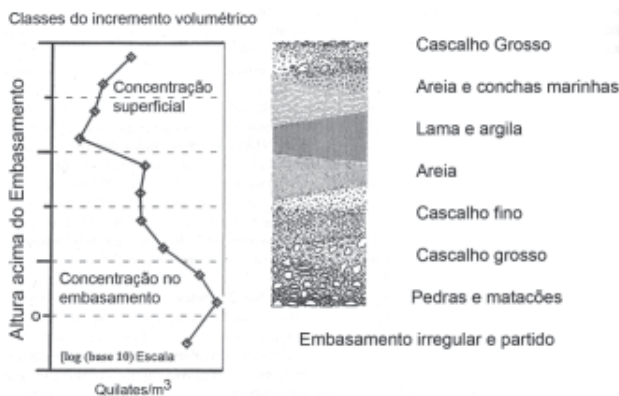


Figura 5.11 – Perfil litológico de feição da plataforma continental interna rica em diamantes (GARNETT, 1999b).

tidades comerciais sejam ocorrentes além da zona superior do declive continental.

Os depósitos de ouro do Alasca (Figura 5.12) devem sua origem a uma singular combinação de: (a) mineralização primária vizinha; (b) glaciação; (c) falhamento recorrente da linha de costa; (d) mudanças no nível do mar; (e) uma linha de costa totalmente exposta a condições marinhas de elevada energia. A existência das concentrações pode ser resumida como sendo integrada por uma combinação de fatores: os depósitos de ouro primário foram erodidos por glaciação e redepositados como morainas laterais e terminais. Os detritos glaciais e partículas de ouro foram submetidos a repetidos falhamentos ao longo de uma linha de costa climaticamente exposta e a variações de nível do mar (GARNETT, 1999a).

A mineração foi desenvolvida nas praias, estendendo-se mais tarde em direção ao continente, mais especi-



Figura 5.12 – As praias de Nome no Alasca são conhecidas por possuírem ouro desde o século XIX (COUPER, 1983).

ficamente em praias antigas. Na zona costeira, a maior concentração de ouro é encontrada onde finas camadas de cascalho relicto recobrem material de deriva glacial. Os depósitos de mar aberto foram amostrados por perfurações no gelo que cobrem o mar a maior parte do ano. As condições climáticas e a distância do Alasca adicionam fatores consideráveis no custo da mineração, mas, com o crescente desenvolvimento da tecnologia, o interesse comercial pode aumentar (COUPER, 1983).

Concentrações e ocorrências de minerais pesados estão presentes ao longo da zona costeira do Brasil, do Piauí ao Rio Grande do Sul, tanto sob a forma emersa, como submersa. Na parte emersa, são minerados na Paraíba, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro (ilmenita, rutilo, monazita e zircão), sobressaindo as concentrações de Cumuruxatiba (Bahia) e Itabapoana (Rio de Janeiro).

A reserva de Cumuruxatiba envolve 171.000 t de ilmenita, 4.000 t de monazita e 365.000 t de zircão e rutilo (SANTANA, 1999).

Os estudos realizados na zona costeira do Rio Grande do Sul foram iniciados por VILLWOCK et al. (1979), prosseguiram com MUNARO (1994) e foram sintetizados por CARUSO Jr. et al. (1999) (Tabela 5.2).

Boa parte das acumulações está relacionada à linha de costa moderna e representa usualmente depósitos alongados paralelos e subparalelos à praia, com 30 a 100 m de largura e 18 km de comprimento. Outros depósitos estão relacionados a campos de dunas holocênicas, recobrindo terrenos pleistocênicos.

Um dos exemplos de exploração econômica de pláceres é o de estanho do sudeste da Ásia, contendo cassiterita (SnO_2) liberada a partir de rochas duras (usualmente granitos) por processo intempérico durante tempos geológicos recentes (Figura 5.13).

A cassiterita migrou com auxílio da gravidade e água corrente para formar um depósito aluvial. As operações de extração situam-se preferencialmente em zonas abrigadas rasas estuarinas ou da plataforma interna. O sudeste da Ásia é uma das regiões de maior produção de

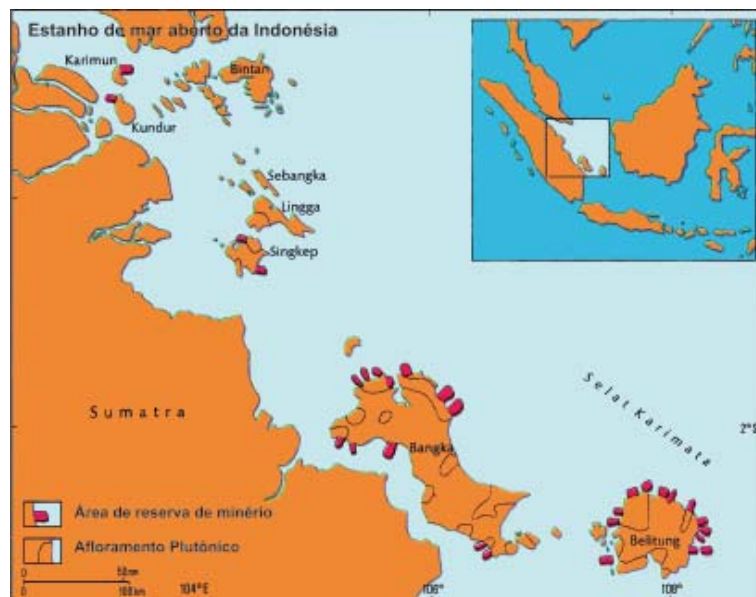


Figura 5.13 – A Indonésia é uma das principais regiões do mundo, onde pláceres de mar aberto são minerados.

estanho, com os recursos ocorrendo por uma distância apreciável de 2.900 km, do norte de Burma, península da Tailândia, oeste da Malásia, até as ilhas Bangka, Belitung e Sengkep da Indonésia. Cerca de 7% da produção mundial de estanho provém de mar aberto.

Na Indonésia, depósitos primários de estanho ocorrem em rochas graníticas do continente e os minerais pesados (incluindo cassiterita) foram transportados, depositados e concentrados durante o Quaternário em vales fluviais como trapas naturais que se estenderam em mar aberto. A exploração atual está limitada a profundidades de 50 m, mas os depósitos encontrados em profundidades maiores podem ser minerados no futuro. O potencial desse recurso na Indonésia é estimado em 1,6 milhões de toneladas, dos quais 40% são de mar aberto.

As atividades de mineração na zona costeira e em mar aberto, países envolvidos e *status* atual da exploração/exploração em termos de minerais industriais e do tipo plácere encontram-se resumidos no Quadro 5.1.

Outros projetos de extração da cassiterita foram estabelecidos na baía Saint Ives, em Cornwall, Inglaterra, e na península Seward, no Alasca.

Tabela 5.2 – Reservas de minerais pesados da região de Bujurú (RS) (segundo MUNARO, 1994)

Local	Espessura (m)	Volume	Toneladas	%	Conteúdo
Estreito	2,92	46.790.000	74.864.000	3,22	2.412.040
Bujurú	3,62	35.638.000	72.060.000	4,59	3.309.062
Bujurú norte	3,34	49.219.000	78.750.400	4,74	3.729.000
Total	3,29	131.647.000	225.675.200	4,19	9.450.240
Reserva	1,32	22.847.000	40.280.000	3,52	1.419.358

Quadro 5.1 – Atividades de mineração na zona costeira e mar aberto, relativas a minerais industriais e do tipo plácer (HALE e McLAREN, 1984)

Bem mineral	País	Estado atual
Minerais industriais A. Textualmente dependentes: areia e cascalho (agregados)	Canadá; Cuba; Dinamarca; França; Holanda; Japão; Nigéria; Suécia; EUA; Reino Unido	Mineração e exploração em mar aberto
B. Dependentes da composição: carbonato de cálcio (cimento, agricultura)	Bahamas; Brasil; Cuba; Dinamarca; Fiji; França; Kenya; República da China; Reino Unido; EUA; Mauritânia	Mineração atual em mar aberto
Areia (sílica de alto grau)	Finlândia; Canadá; Nova Zelândia	Mineração praial Mineração de mar aberto Exploração/avaliação em mar aberto
Pláceres minerais Cassiterita (estanho)	Indonésia; Tailândia; URSS; Reino Unido; Nova Zelândia; Austrália	Mineração em mar aberto Mineração escala piloto em mar aberto Exploração em mar aberto
Cromita (cromo)	EUA; Moçambique	Exploração em praia e mar aberto Exploração em mar aberto
Diamantes	Namíbia	Exploração em mar aberto
Ouro	Canadá; Nova Zelândia; Filipinas; EUA; URSS; Fiji; Índia	Mineração em praia e mar aberto
Areias feríferas	Brasil; Fiji; África do Sul; Japão; Austrália; Nova Zelândia; Flórida, EUA; Filipinas; Moçambique; S.W, Índia; Sri Lanka	Mineração em praia, exploração em mar aberto Anteriormente exploração em mar aberto Anteriormente praia, exploração e mineração em mar aberto Exploração em mar aberto
Monazita (terras-raras e tório)	Austrália; Brasil; S.W, Índia; Sri Lanka	
Fosforita (fósforo)	Austrália; México; Nova Zelândia; EUA	Exploração em mar aberto Mineração em praia Mineração em praia
Platina	EUA	Mineração em praia e mar aberto Mineração em praia
Rutilo	Austrália; Brasil; S.W, Índia; Sri Lanka; Canadá	Mineração em praia Exploração em mar aberto
Zircão	Sri Lanka; Canadá; Austrália; Moçambique	Mineração em praia Exploração em mar aberto Anteriormente mineração em praia Mineração em praia, exploração em mar aberto Exploração em mar aberto

Fosforitas

Acumulações de fosforitas são conhecidas como ocorrentes especialmente nas plataformas continentais e parte superior do declive em muitas partes do mundo, mas a maior quantidade dos depósitos é de teor baixo e pouco espessos (BURNETT e RIGGS, 1990). Estudos detalhados de sísmica realizados na plataforma continental da Carolina do Norte e no platô Blake ao largo da Flórida revelaram a ocorrência de concentrações comerciais com espessuras de 10 m. Igualmente, foram desenvolvidas plantas de mineração de nódulos de fosforita ao sul da Califórnia. Os depósitos de fosforita de Chatham Rise, no leste da Nova Zelândia, foram cuidadosamente examinados e dimensionados com 30-100 milhões de toneladas de rocha fosfática delineada com um potencial adicional de glauconita rica em potássio, associada à fosforita. Estudos relativos ao impacto ambiental de mineração de fosforita a profundidades superiores a 700 m não foram ainda estabelecidos.

O termo “fosforita” é normalmente aplicado ao depósito sedimentar composto principalmente por minerais fosfáticos (Figura 5.14). Uma combinação de fatores, entre eles preço de mercado e custo da extração, tem inibido a extração de fosforita em muitos casos. Os depósitos de mar aberto oferecem uma alternativa interessante em regiões pobres em fosfato.

Fosforitas compostas por cálcio-fluorapatita ocorrem em variados tamanhos desde areia até matacões e são descritos na bibliografia como ocorrentes nas margens continentais do México, Peru, Chile, Austrália, Estados Unidos e oeste da África, tendo algumas delas recebido atenção comercial.

No Brasil, SANTANA (1979) indicou a ocorrência de rochas fosfatadas no *guyot* do Ceará, com teores de até 18,4% de P_2O_5 . Mais tarde, KLEIN et al. (1992) descreveram preliminarmente a ocorrência de nódulos fosfáticos na margem continental do Rio Grande do Sul.

Fosforitas marinhas foram descobertas como nódulos, por meio de dragagens realizadas no Agulhas Bank (África do Sul) durante a missão Challenger (1872-76), sendo posteriormente identificadas e descritas em outros locais. Ocorrem normalmente nas margens continentais e partes superiores dos declives continentais a profundidades menores de 500 m e normalmente situadas com pequenas exceções entre as latitudes 40°N e 40°S. Podem igualmente ocorrer em altos topográficos, como montes submarinos, *guyots*, elevações, cristas e platôs, especialmente no Atlântico oeste.

Nódulos de fosforita em Chatham Rise encontram-se amplamente distribuídos, com a ocorrência sendo acompanhada por 480 km ao longo da crista dessa feição. A maior acumulação ocorre próximo ao meridiano 180° e a



Figura 5.14 – Carbonato fosfático com percentual de P_2O_5 ao redor de 15-18% dragado da plataforma continental do Marrocos (dimensão máxima 12 cm). É formado por um conglomerado de seixos de calcário fosfatizado imersos em uma matriz fosforítica, onde estão presentes grãos tamanho areia, verde-escuro a preto de glauconita (SUMMERHAYS, 1998).

uma profundidade de 350 a 450 m. Os nódulos possuem tamanho de 2-4 cm de diâmetro, constituídos de calcários de foraminíferos fosfatizados, datados como de idade do Mioceno Inferior e Médio. Ocorrem associados a lamais arenosas glauconíticas de coloração esverdeada que recobrem uma vasa branca de foraminíferos de idade oligocênica. Os nódulos possuem cor cinza-oliva, superfície lisa polida e um teor de 15 a 25% de P_2O_5 (Figura 15B).

Fosforitas são igualmente conhecidas como ocorrentes em larga escala no Agulhas Bank, tendo se tornado uma das áreas mais intensamente estudadas no mundo. Uma variedade bastante grande de fosforitas foi identificada, porém, a mais importante em termos de concentração e distribuição está representada por calcários orgânicos fosfatizados compostos principalmente por microfósseis, foraminíferos planctônicos e conglomerados fosfáticos que contêm fragmentos desses calcários em uma matriz de glauconita, microfósseis e areia quartzosa, todos cimentados por apatita. Os dois tipos de fosforitas podem ser correlacionados ao calcário de idade do Mioceno Inferior a Plioceno, que forma extensos afloramentos na plataforma média e externa ao nordeste da África do Sul. Uma terceira variedade, de composição mineralógica comparável, consiste de conglomerados fosfatizados caracterizados por uma mistura variável de nódulos com microfósseis e fragmentos de ossos, coincidente com o afloramento alongado de sedimentos do Paleoceno da região interna do Agulhas Bank paralelo à costa ao sul do Cabo. Amostras de fosforitas do Agulhas Bank revelaram um valor entre 15% de P_2O_5 (Figura 15C).

Nódulos de fosforita foram identificados na Califórnia em 1937, durante uma dragagem realizada pelo Scripps

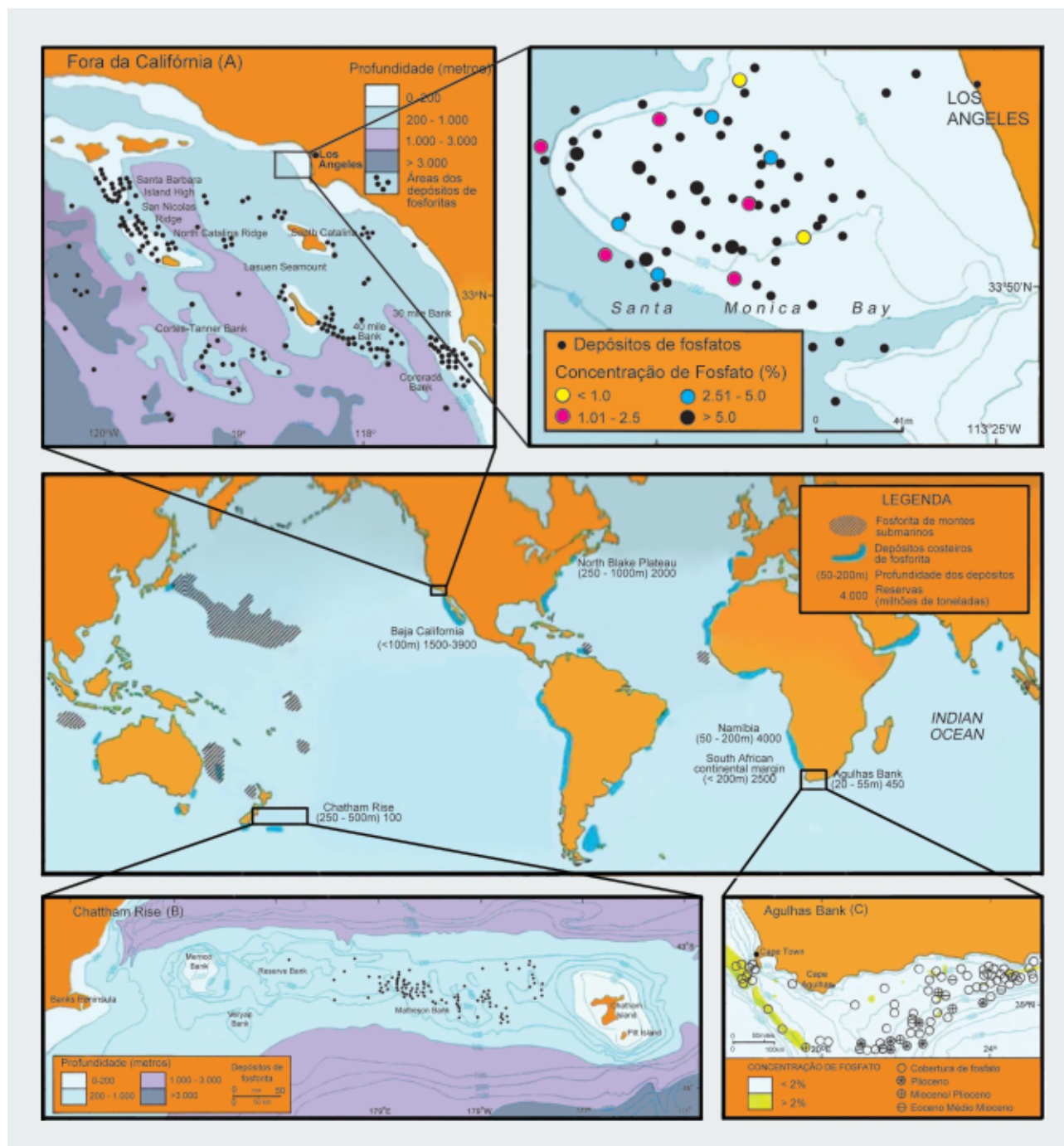


Figura 5.15 – Distribuição mundial das principais ocorrências de fosforita: (A) Califórnia; (B) Chatham Rise; (C) Agulhas Bank (COOPER, 1983).

Institution of Oceanography. Atualmente, é conhecida sua ampla distribuição estendendo-se de Point Reyes, ao norte de São Francisco, até o golfo da Califórnia, em profundidades variáveis de 60 a 180 m, distante poucos quilômetros da costa até o limite da plataforma. Um número elevado de mais de 30 depósitos individuais foram identificados ao sul da Califórnia, 10 dos quais foram selecionados para estudos de detalhe. Os recursos foram estimados em 50 Mt de nódulos e 12,5 Mt de areias fosfáticas com

um teor de P_2O_5 variável de menos de 1 a 31,4%. A ocorrência de areia fosfática da baía de Santa Mônica é de especial interesse por sua ocorrência em águas relativamente rasas de 55 m (Figura 15A).

Nódulos polimetálicos

Após atingir um pico em 1970, o interesse na exploração e exploração dos minerais associados ao oceano pro-

fundo declinou de forma acentuada. O interesse no aproveitamento desses depósitos, governado pela capacidade tecnológica, diminui em função da ausência de perspectivas econômicas.

Nos anos futuros, a economia será o fator principal e a tecnologia desempenhará o papel de elemento suporte. A demanda de níquel, por exemplo, em grande parte para produção de aço inoxidável, cresceu rapidamente na última década, face à crescente industrialização da China, Índia e outros países em desenvolvimento. Na Figura 5.16 é apresentada a crescente evolução da demanda por níquel na economia da China.

Cobalto igualmente favoreceu essa crescente demanda, face à sua utilização na obtenção de maior densidade de energia em baterias. Por sua vez, o cobre também respondeu à crescente industrialização automobilística.

Nódulos polimetálicos ocorrem normalmente a grandes profundidades (ao redor de 4.000 m) nas bacias oceânicas, não sendo significantes as ocorrências em águas rasas. Segundo SANTANA (1999), são abundantes no Pacífico norte, tornando essa região economicamente mais atraente para futura exploração (Figura 5.17). Recentemente, o Instituto Federal Alemão para Geociências e Recursos Naturais submeteu à International Seabed Authority (ISA) aplicação para um contrato de exploração de uma área com nódulos polimetálicos entre o sudeste do Havaí e o

sudoeste da Califórnia. A aplicação de tal natureza representa a primeira, segundo as regras de contrato: a da ISA indicou que a concentração média de níquel, cobre, cobalto é de 2,5 a 3,0% (BLISSENBACH, 1979).

Alguns fatores devem ser considerados pelas concentrações menores encontradas no Atlântico quando comparadas às do Pacífico. Com uma área três vezes menor, o Atlântico recebe um volume comparativamente mais alto de sedimentos terrígenos transportados através de corren-

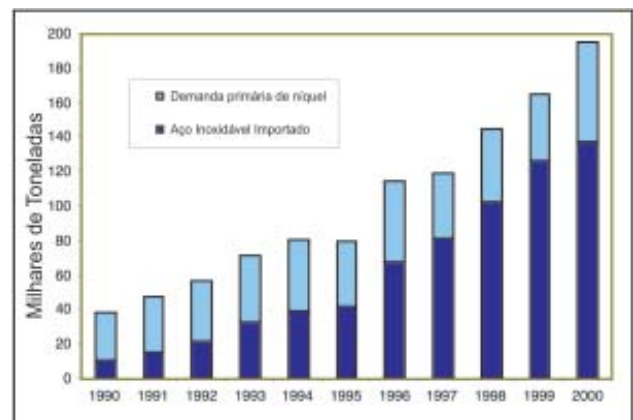


Figura 5.16 – Consumo primário e indireto de níquel na China no período 1990-2000 (ANTRIM, 2005).

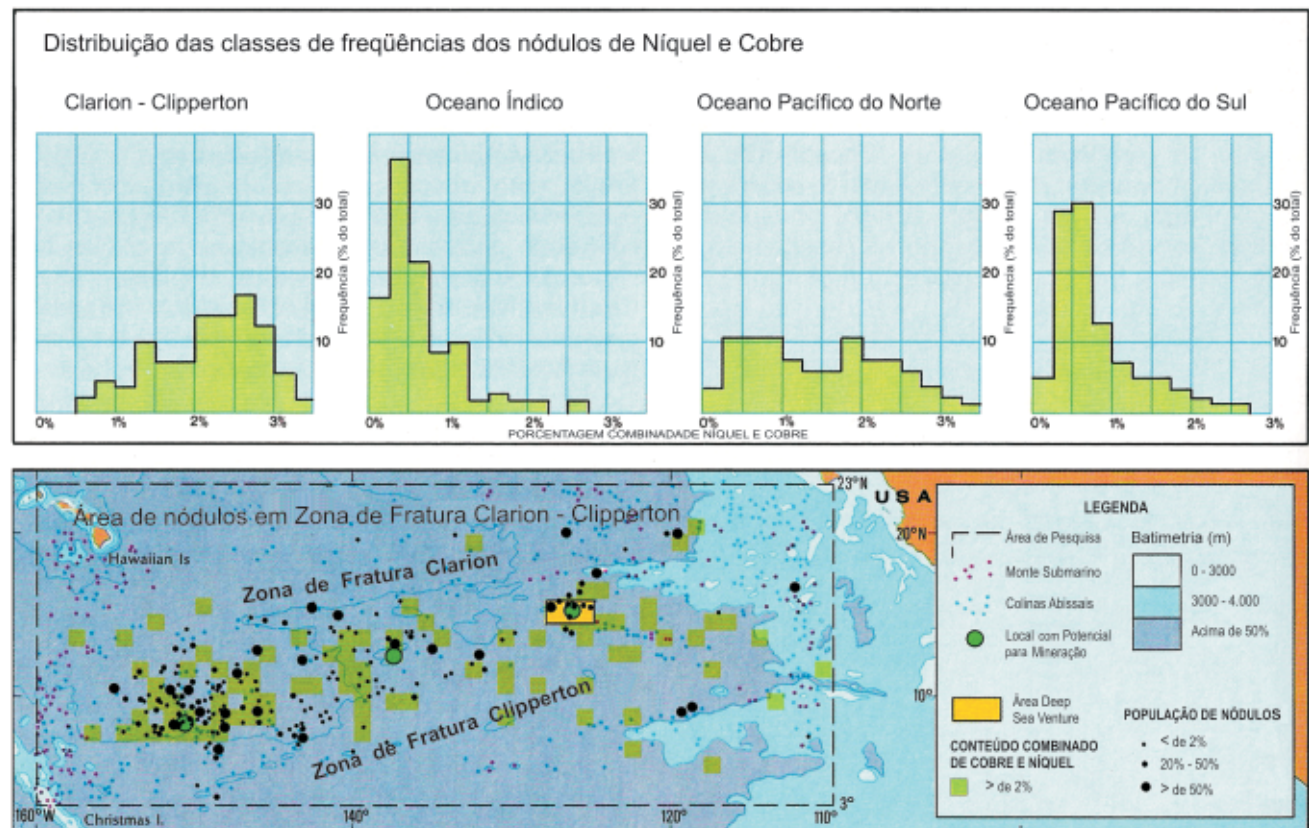


Figura 5.17 – Zona de fratura Clarion-Clipperton e área de ocorrência dos nódulos, mostrando igualmente a distribuição de frequência de níquel e cobre comparada à dos oceanos Índico e Pacífico (norte e sul) (COOPER, 1983).

tes de turbidez e outros fluxos gravitacionais para a região abissal, apresentando uma taxa de sedimentação intensa e contínua, gerando um ambiente pouco favorável à ocorrência de reações diagênicas propícias ao desenvolvimento dos nódulos.

A diferença mais importante entre os nódulos encontrados no Atlântico em relação aos de outros oceanos é, principalmente, a alta taxa de Mn/Fe, provavelmente devido à contribuição terrígena mais intensa e ao alto conteúdo de ferro presente nos sedimentos.

No Brasil, SANTANA (1999) indica uma dragagem realizada no platô de Pernambuco a uma profundidade entre 1.750 e 2.200 m com recuperação de 150 kg de material, formado predominantemente por nódulos polimetálicos, de alta esfericidade, densa cobertura metálica e com diâmetro de 2 a 12 cm. Cerca de 90% dos nódulos recuperados possuíam um núcleo de rochas fosfáticas com lâminas concêntricas de 0,5-0,7 cm de espessura. A composição é variável, com 28% de P_2O_5 no núcleo, e 20-30% de manganês, 30% de ferro, 0,6 a 1,5 de cobalto, 0,04 a 0,23 de cobre, 0,08 a 0,53 de chumbo e 0,12% de zinco metálico nas lâminas concêntricas. O autor, em seu mapa, apresenta outras ocorrências situadas na Zona Costeira Econômica Exclusiva.

Na zona de fratura Clarion-Clipperton (CCZ) (entre o Havaí e a Baja Califórnia), depósitos de nódulos polimetálicos encontram-se situados a nordeste do oceano Pacífico tropical. Duas fontes são atribuídas aos metais presentes nos depósitos: fontes hidrotermais de vulcões submarinos e fontes continentais dos rios do norte e centro do continente americano. Os nódulos apresentam quantidades significantes de

manganês, níquel, cobre e cobalto (Figura 5.18). Por sua vez, as concentrações de níquel e cobalto nos nódulos do Pacífico norte são apresentadas na Figura 5.19.

MORGAN (1999) sintetizou o atual conhecimento sobre as potencialidades da região, estimando os recursos

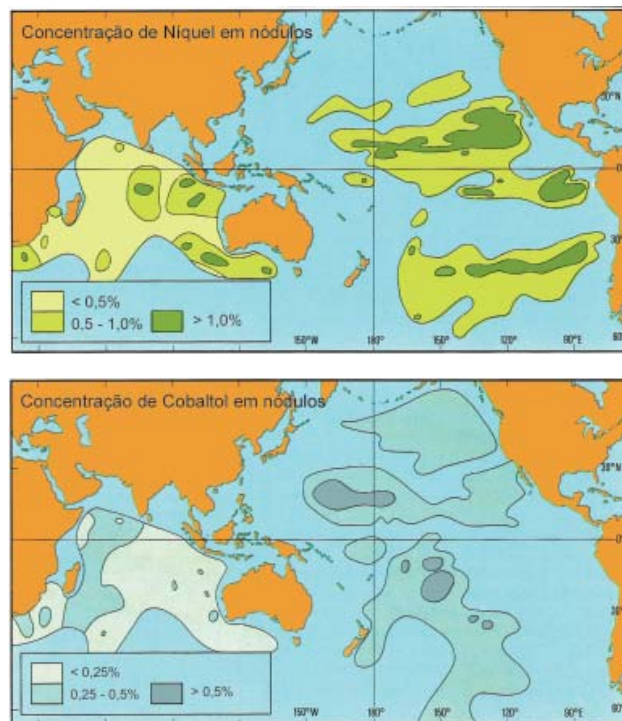


Figura 5.18 – Concentrações de níquel e cobalto em nódulos do Pacífico norte (COOPER, 1983).

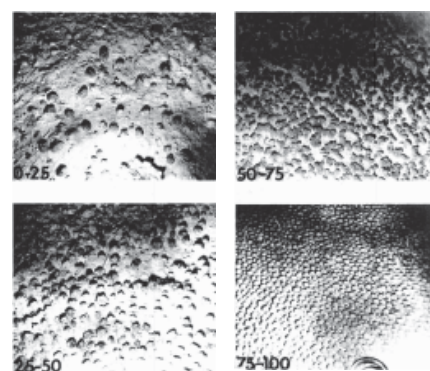
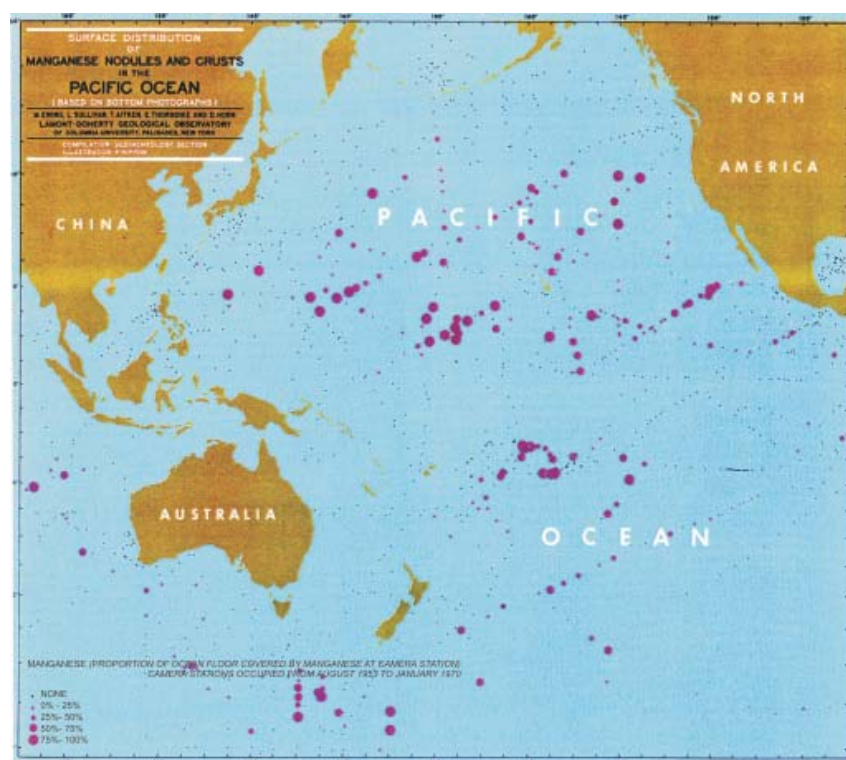


Figura 5.19 – Concentração de nódulos polimetálicos no Pacífico norte (HORN et al., 1972).

em milhões de toneladas para o manganês-7500, níquel-340, cobre-2,65 e cobalto-78%. Segundo o autor, a área de ocorrência atinge 9 bilhões de km², contendo cerca de 34 bilhões de toneladas de nódulos de manganês.

JAUHARI E PATTAN (1999) realizaram um detalhado estudo sobre a bacia central do oceano Índico (Figura 5.20). STACKELBERG (1999) efetuou o mesmo trabalho, com os nódulos de manganês da bacia do Peru.

Crostras cobaltíferas

Em realidade, trata-se de crostas de manganês enriquecidas por cobalto que costumam ocorrer como cobertura de substratos duros como basalto, em diversas regiões. Tipicamente encontrados em montes submarinos onde existe influxo modesto de sedimento, esses depósitos vêm sendo considerados como possível fonte de manganês e cobalto. Os melhores depósitos encontrados até agora em cadeias de montes submarinos a diferentes profundidades situam-se nas porções central e leste do oceano Pacífico e no oceano Índico.

Estão normalmente associados a crostas polimetálicas, formadas por óxidos de manganês e ferro, que incorporam outros metais em sua estrutura.

São associados a superfícies expostas do fundo oceânico e em declives de montes submarinos. Em algumas áreas, as crostas possuem níveis elevados de cobalto incorporando a designação de crostas cobaltíferas. Crostas de ferro-manganês ricas em cobalto foram objeto de estudo no oceano Pacífico por HEIN et al. (1999).

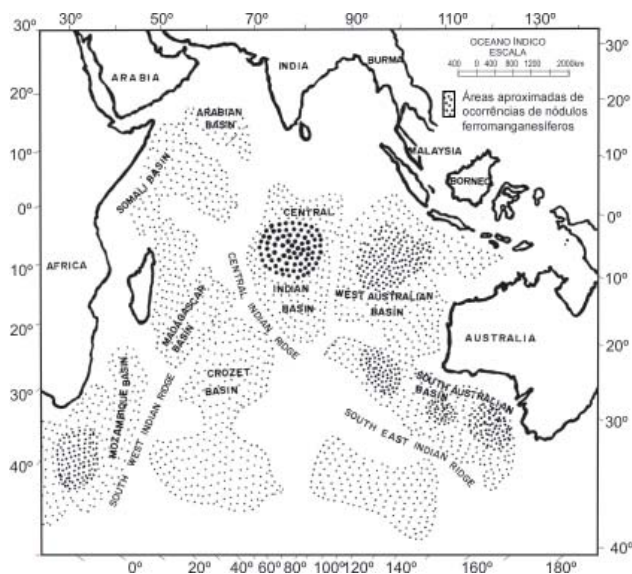


Figura 5.20 – Ocorrência de nódulos de ferro-manganês na bacia do oceano Índico (JAUHARI e PATTAN, 1999).

Sulfetos polimetálicos e outros depósitos hidrotermais

Os primeiros depósitos de sulfetos maciços (Figura 5.21) foram identificados no East Pacific Rise em 1978, em uma área de colinas vulcânicas apresentando fissuras e com incisiva atividade hidrotermal próxima ao eixo de expansão. Os depósitos são aproximadamente cilíndricos, apresentan-

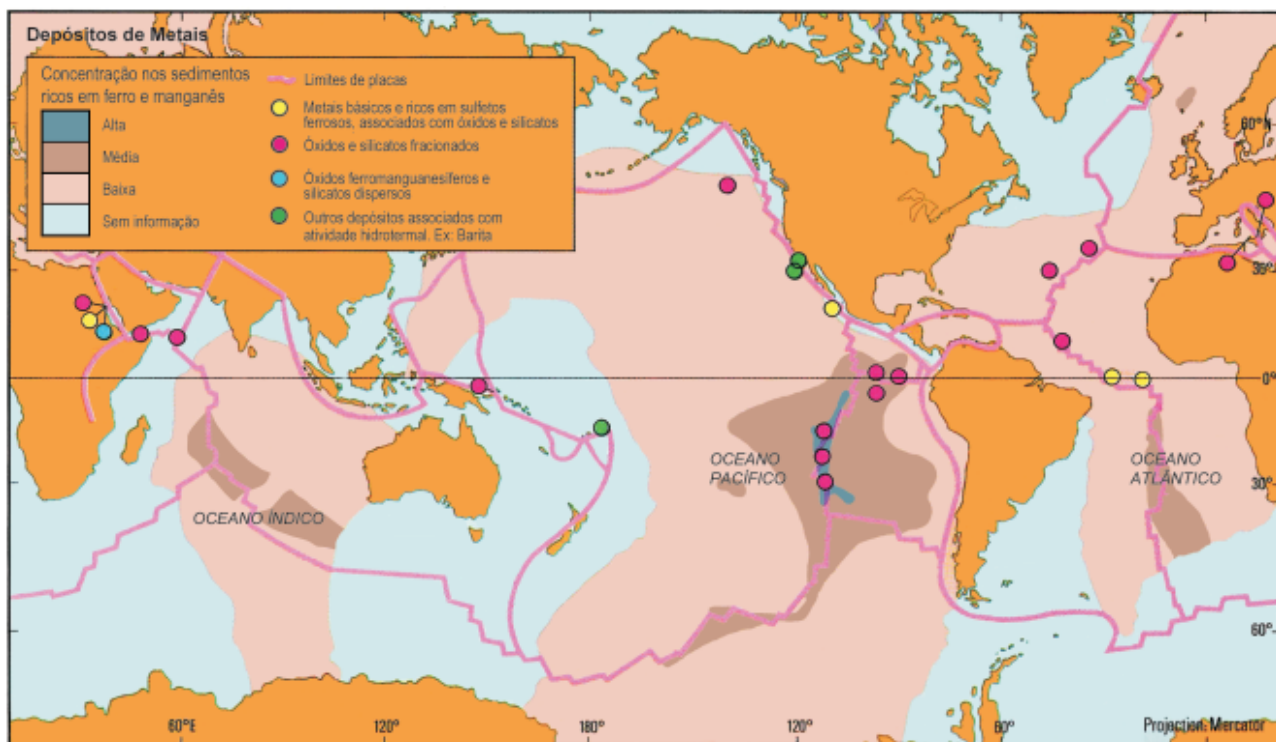


Figura 5.21 – Depósitos metalíferos de ferro, manganês e associados de sulfetos, óxidos, silicatos e barita (COOPER, 1983).

do de 3 a 10 m de altura com 5 m de diâmetro e cores variadas: ocre, cinza, marrom e vermelha. MARCHIG (1999) ampliou o conhecimento relativo à atividade hidrotermal no East Pacific Rise e às mineralizações associadas.

Amostras coletadas revelam a presença de sulfetos de ferro, zinco e cobre em acentuadas concentrações. Outras áreas mineralizadas têm sido descobertas, incluindo várias regiões entre as ilhas de Galápagos, Equador e Juan de Fuca Ridge, ao largo do estado de Oregon (USA).

As ocorrências necessitam de uma fase exploratória mais detalhada, antes da etapa de avaliação de sua importância econômica. Dados recentemente divulgados (2006) indicam os valores comerciais dos metais contidos em depósitos de sulfetos, crostas polimetálicas e nódulos polimetálicos (Tabela 5.3) e nas mais variadas regiões do oceano profundo (Figura 5.22).

A atividade hidrotermal no mar Vermelho (Figuras 5.23 e 5.24) acha-se ligada ao movimento divergente das placas Africana e Arábica e subsequente formação de nova crosta oceânica. A formação dos depósitos hidrotermais é facilitada por duas razões:

- desenvolvimento de nova crosta oceânica, focada em uma área relativamente pequena (depressão isolada);
- ocorrência de salmouras salinas que favorece a preservação dos depósitos hidrotermais; como resultado, ferro, manganês, sulfato e fácies de sedimentos sulfetados são encontrados.



Figura 5.22 – Valores dos metais contidos em depósitos de mar profundo, presentes em várias regiões.

Esses depósitos são únicos em comparação a outras mineralizações metalíferas em limites de placas divergentes por suas altas concentrações.

SHOLTEN et al. (1999) realizaram minuciosa investigação sobre as diferentes fácies sedimentares, caracterizando as denominadas fácies goetita, hematita, sulfeto e normal. O estudo fornece uma visão ampla do complexo conjunto de minerais ocorrentes na área.

As lamas metalíferas do mar Vermelho foram descobertas em 1963. Ainda que investigações subsequentes tenham mostrado que existem vários depósitos associados a salmouras quentes, somente a depressão Atlantis II

Tabela 5.3 – Valores dos metais comerciais contidos nos depósitos de sulfeto, crostas polimetálicas e nódulos polimetálicos (ANTRIM, 2005) (Agosto 2006, \$/Ton)

		Sulfetos Polimetálicos				Crostas Cobaltíferas				Nódulos Polimetálicos
	\$/Ton	Arcos Intraoceânicos	Arcos Intraoceânicos/Continentais	Chaminés ricas em Cobre	Dorsal meso-Atlântico	Ilhas Marshall	Crosta Pacífico	Pacífico Sul	Oceano Índico	Zona Clarion-Clipperton
Níquel	6,771	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$38,70	\$36,58	\$36,35	\$20,48	\$86,67
Cobre	1,652	\$84,25	\$33,04	\$522,02	\$67,73	\$1,75	\$1,78	\$1,77	\$2,51	\$16,85
Cobalto	15,198	\$0,00	\$0,00	\$2,43	\$0,00	\$119,88	\$96,84	\$114,50	\$50,85	\$36,48
Chumbo	969	\$11,63	\$111,45	\$0,00	\$1,94	\$1,74	\$1,72	\$0,72	\$1,00	\$0,44
Zinco	881	\$133,04	\$162,11	\$0,35	\$103,08	\$0,76	\$0,60	\$0,59	\$0,45	\$1,23
Titânio	7,770	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$85,47	\$59,83	\$77,70	\$69,93	\$41,18
Prata	145,189	\$28,31	\$401,59	\$0,00	\$20,33	\$0,00	\$0,10	\$0,00	\$0,58	\$0,00
Ouro	9,797,042	\$28,41	\$37,23	\$0,00	\$11,76	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Valor Total dos Metais Comerciais		\$285,64	\$745,42	\$524,80	\$204,83	\$248,30	\$197,45	\$231,62	\$145,80	\$182,84

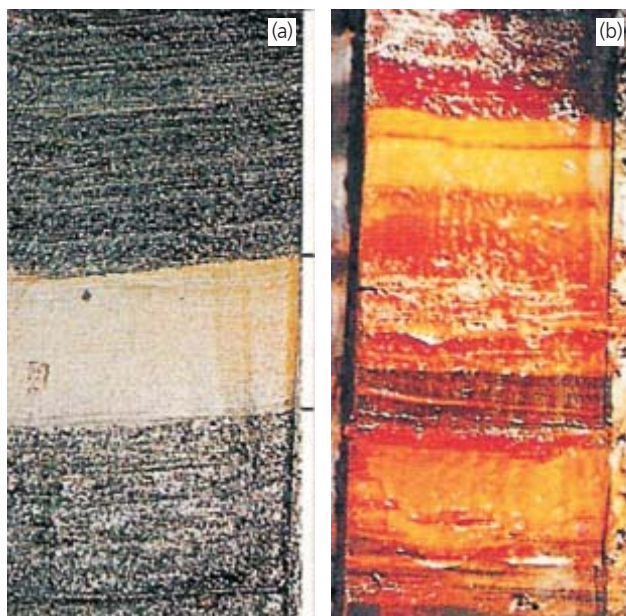


Figura 5.23 – Camadas multicoloridas representando diferentes minerais depositados a partir das salmouras ricas em metais do mar Vermelho: a) secção verde-cinza com 125 a 145 cm, formada por sedimentos biodetríticos (carapaças de foraminíferos formadas por sedimentos com sulfetos de ferro no topo e fundo; b) secção vermelho-marrom e amarela com 125 a 165 cm, integrada por uma mistura amarelo-laranja de goetita e limonita amorfa (SUMMERHAYES, 1998).

é de interesse comercial. Os depósitos estão todos localizados nas partes central e norte, formados por sedimentos de granulação fina, estratificados e multicoloridos com variação química considerável. Altas concentrações de 6% de zinco, 1% de cobre e 100 ppm de prata são encontradas em sulfetos, óxidos e silicatos. A depressão Atlantis II cobre uma área de aproximadamente 60 km². A lama metalífera está localizada a 2.000 m abaixo do nível do mar, variando em espessura de 2 a 25 m, sendo coberta por 200 m de densa salmoura, com temperaturas registradas de 62°C. Isso sugere que a atividade hidrotermal prossegue a depositar os metais. A depressão situa-se na ZEE do Sudão e Arábia Saudita. Uma comissão conjunta foi criada para administrar a exploração (COUPER, 1983).

Outras ocorrências

Glaucionita

Um silicato hidratado de potássio, ferro e alumínio que pode ser encontrado nas margens continentais. Segundo a maioria dos geoquímicos marinhos, trata-se de um produto autigênico produzido junto à interface sedimento-água. Alguns autores indicam ser a glauconita um produto de intemperismo marinho, o que não invalida sua condição de componente da fase denominada halmirólise ou diagênese inicial. Ocorre normalmente com sedimentos terrígenos e contém de 2 a 9% de KO₂, servindo como fonte de potássio para fertilizantes.

Tem sido descrita nas margens continentais dos Estados Unidos (Califórnia), África do Sul, Austrália, Portugal, Nova Zelândia, Filipinas, China, Japão e Escócia.

Os grãos individuais de glauconita encontrados em lamas marinhas raramente excedem a 1 mm de diâmetro, embora possam ser também encontrados, ocasionalmente, como aglomerados em nódulos de vários centímetros de diâmetro cimentados por material fosfático. Os grãos típicos de glauconita são arredondados, de coloração verde-escuro; freqüentemente, apresentam forma e aparência de carapaças de foraminíferos.

Sedimentos autígenos freqüentemente resultam de processos associados a alta produtividade orgânica e elevados níveis de matéria orgânica nos sedimentos marinhos. Esses minerais, tais como fosforitas e glauconitas, são conhecidos por se formarem dentro das áreas de grande produtividade vinculadas à ressurgência.

No Brasil, estudos sobre a ocorrência de glauconitas foram divulgados a partir da década de 1970, sendo descritos tanto em amostras superficiais como em testemunhos.

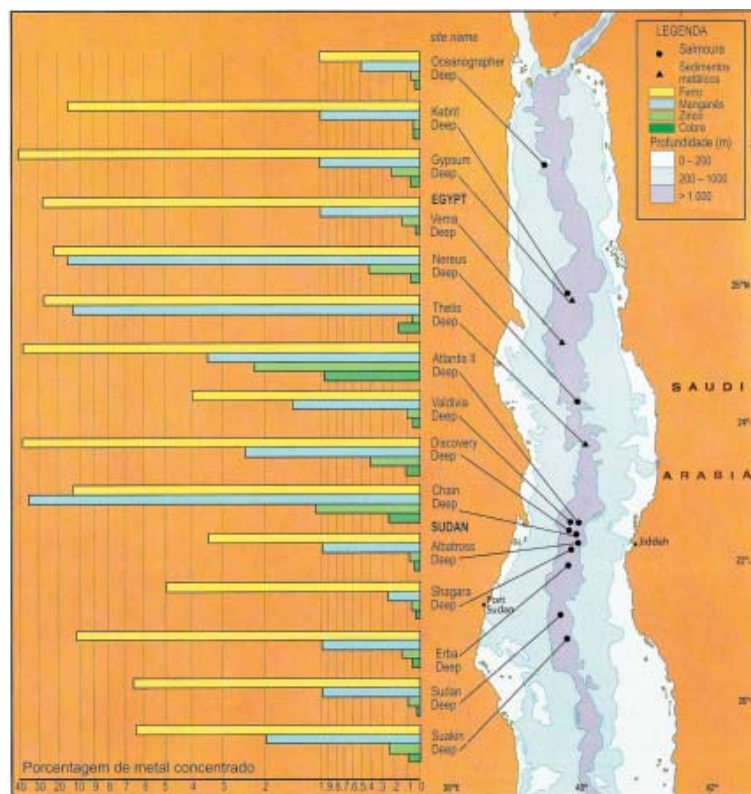


Figura 5.24 – Lamas metalíferas do mar Vermelho.

Barita

Foi encontrada sob a forma de concreções nas cercanias de Colombo, no oceano Índico. As concentrações apresentam cerca de 75% de sulfato de bário. Outras ocorrências foram descritas na Califórnia, a 304 m. De modo geral, ela se encontra bastante distribuída nos sedimentos marinhos, especialmente associada a sedimentos biogênicos, usualmente como grãos individuais. Sua origem é bastante controversa, incluindo fonte hidrotermal e atividade biogênica.

Lamas orgânicas

Podem estar associadas a várias regiões costeiras. Foram erodidas das áreas continentais adjacentes, em pequenas bacias. Face às condições redutoras e à falta de acumulação nessas bacias, esses sedimentos são preservados.

Alguns autores indicam que essas lamas podem ser usadas como fertilizantes.

Os sedimentos da bacia Santa Bárbara, ao sul da Califórnia, contêm uma média de 4% de matéria orgânica.

Freqüentemente, nessas condições redutoras, sulfetos metálicos podem ocorrer (pirita especialmente).

Vasas organogênicas

No piso oceânico profundo, ocorrem depósitos constituídos por material de origem biogênica, denominados “vasas organogênicas”. Algumas vasas têm potencial econômico, mas se encontram praticamente inexploradas, face à grande profundidade de ocorrência. Dois tipos predominam, com as respectivas áreas de ocorrência governadas pelo controle de latitude: calcárias (formadas usualmente do foraminífero globigerina) e silicosas (diatomáceas e radiolários).

As vasas de globigerina apresentam um teor de até 99% de carbonato de cálcio, ocupando uma área de 128 milhões de km² (36%) dos fundos dos oceanos, com espessura de até 400 m, estimando-se haver no fundo dos oceanos um volume da ordem de um trilhão de toneladas com 200 m de espessura.

As vasas calcárias ocupam o piso marinho nos trópicos e subtropicais, a batimétricas superiores à profundidade de compensação do carbonato de cálcio.

As vasas silicosas cobrem áreas profundas do piso marinho, abaixo da profundidade de compensação do carbonato de cálcio. Embora possuam composição bastante elevada em termos de sílica, a profundidade de ocorrência representa o maior empecilho a sua exploração econômica.

Areias compostas predominantemente por grãos de quartzo representam fonte potencial de sílica para vidro e possivelmente modelos de fundição. Várias gerações de retrabalhamento no material original são requeridas para produção de um material de alta qualidade e pureza.

Embora significativos depósitos ocorram na Finlândia e Canadá, as acumulações de alta qualidade parecem limitadas a extensões regionais.

OCORRÊNCIAS DE SUBSUPERFÍCIE

Evaporitos

As ocorrências de evaporitos na margem continental brasileira de idade aptiana são formadas por anidrita, gipsita, halita, potássio e sais de manganês. Os depósitos se estendem da bacia de Alagoas ao platô de São Paulo. Santana (1999) mostra o limite de mar aberto das bacias evaporíticas, baseado em perfis sísmicos de reflexão e refração, complementados por dados de perfuração. A maior largura das bacias salíferas ocorre na costa de Santos, estendendo-se por 650 km a partir do platô de São Paulo.

O sal ocorre tanto estratificado como formando estruturas dômicas ou do tipo almofada, com as primeiras ocorrendo nas porções norte e sul da bacia evaporítica. Nas bacias de Sergipe e Alagoas, onde os depósitos ocorrem estratificados ou formando almofadas, sais de potássio e magnésio (carnalita e silvita) foram identificados. A ocorrência apresentando espessura de 15 a 50 m acha-se localizada a 3.000 m de profundidade. No mesmo mapa, Santana (1999) apresenta as ocorrências de domos de sal, contendo halita de alta pureza, detectados no domo de Barra Nova (ES). Os domos identificados ao norte de Abrolhos e Mucuri (BA), juntamente com os de Barra Nova, podem ser economicamente interessantes, pois são relativamente rasos e não muito distantes da costa. Como os processos de extração são bem conhecidos e não dispendiosos, os sais podem ser economicamente significantes.

Barra Nova apresenta sete domos localizados a 30-50 km da linha de costa e a uma profundidade de 30-55 m. Um deles se apresenta em uma situação de quase aflorante e os outros se situam de 106 a 900 m. Mucuri mostra dois domos com o topo do sal quase aflorando e outro com o topo situado a 800 m. Todos eles localizados de 20 a 25 km da linha de costa e recobertos por uma lâmina de água de 20-25 m.

Enxofre

Todas as bacias que abrigam hidrocarbonetos tendem a ter depósitos de enxofre. Eles podem ocorrer estratificados ou presentes nas rochas capeadoras dos domos de sal. Dessa forma, é provável a existência de depósitos de enxofre bastante expressivos na margem continental brasileira, devido à presença de extensas bacias evaporíticas. Santana (1979) indica que, na época, dois projetos – “Enxofre na Plataforma Continental” e “Enxofre na Bacia Evaporítica do Espírito Santo: Partes Emersas” – foram preparados, mas, devido a dificuldades nas etapas de equipamento para perfuração e financiamento, eles foram abandonados. Também a Petrobras, pouco tempo antes, anun-

ciou a descoberta de enxofre nas bacias de Sergipe a Espírito Santo, através de camadas estratificadas boas geradoras desse recurso.

Baseadas em seções sísmicas, mapas gravimétricos e perfurações (ROCHA, 1975), foram selecionadas 21 estruturas como capazes de abrigar enxofre em suas rochas capeadoras. Localizadas na desembocadura do rio Doce e, conseqüentemente, nas porções submersas da bacia do Espírito Santo, onde enxofre foi identificado, é possível que esse elemento esteja presente em suas rochas capeadoras.

Enxofre pode ser formado através da redução do sulfato de anidrita para gás sulfídrico por meio da ação de bactérias na presença de hidrocarbonetos e subsequente oxidação do gás que libera enxofre na forma elementar.

Antigos trabalhos da CPRM/SGB na área dos domos de Janaína, Yemanjá e Mucuná, embora promissores, não prosseguiram em função de empecilhos técnicos e de financiamento.

Em Abrolhos norte, três domos estão situados de 60 a 70 km da costa, com o topo do sal localizado em 300 m, e uma profundidade de 20-30 m.

Na desembocadura do rio Doce, os domos estão a uma distância de 30 a 50 km da costa, cobertos por uma lâmina de água de 30 a 70 m; são denominados: Yemanjá, Janaína, Yara, Inaê, Mucuná, rio Doce norte e rio Doce sul. Os cinco primeiros apresentam topo do sal a 270 m, 300 m, 750 m e 800 m, respectivamente. Rio Doce norte possui seu topo recoberto por uma coluna de água de 15 m, enquanto o do rio Doce sul não foi determinado.

Carvão

Inglaterra, Japão, Canadá e Austrália são países que apresentam importante ocorrência de carvão em suas plataformas continentais, geralmente formando extensões de camadas sedimentares do continente adjacente. Para se ter uma idéia da importância desses depósitos, pode-se indicar que 30% da produção de carvão do Japão e 10% da Inglaterra provêm de camadas sedimentares submarinas. A região da Nova Escócia, no Canadá, contribuiu com 80% do carvão extraído dos depósitos submarinos de Sidney.

No Brasil, carvão é encontrado na formação Rio Bonito, Permiano Médio da bacia do Paraná. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), juntamente com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), desenvolveu vários projetos na zona costeira entre Araranguá (Santa Catarina) e Tramandaí (Rio Grande do Sul). Na área próxima à praia de Santa Terezinha, localizada entre Torres e Tramandaí (Rio Grande do Sul), a CPRM/SGB perfurou alguns poços, identificando, a 700-800 m de profundidade, camadas de carvão com espessura variável de 0,35 a 2,65 m. As extensões das camadas de carvão foram confirmadas, embora com dados ainda insuficientes para considerar a ocorrência economicamente viável. Perfis sísmicos obtidos na plataforma continental serão necessários para uma avaliação mais consistente.

A mineração de carvão da plataforma é desenvolvida há muitos anos. Normalmente, ela é realizada pela extensão de galerias a partir da terra, sob a plataforma continental, até atingir os estratos ricos no mineral. Segundo a literatura disponível, existe uma quantidade apreciável de carvão sob a plataforma continental em muitas partes do mundo, mas sua extensão ainda é desconhecida.

Perfurações nas províncias de gás do mar do Norte confirmaram a presença de grandes quantidades de carvão de boa qualidade nas camadas carboníferas do Permiano, a uma profundidade de 7.000 m abaixo do piso marinho. Tal situação é inacessível com a tecnologia atual de extração de carvão. As possibilidades residem no futuro, quando o carvão poderá ser extraído por uma tecnologia mais avançada.

Muitos desses depósitos de carvão podem ser explotados no futuro por meio da utilização de técnicas de gaseificação com plantas localizadas em ilhas artificiais. Na baía de Ariake (Japão), ilhas artificiais já foram construídas, mas destinadas a facilitar a extensão da mineração do carvão a partir do continente.

Hidratos de gás

A busca incessante de fontes alternativas de energia a partir dos oceanos estabeleceu, no decorrer dos anos, o desenvolvimento de muitos estudos e projetos com a finalidade de fornecer um melhor conhecimento de seu potencial, bem como alguns princípios básicos fundamentais para o seu aproveitamento (MARTINS, 2003).

Por mais de um século, cientistas de várias partes do mundo detêm conhecimento sobre hidratos de gás, ocorrentes naturalmente em certas áreas dos oceanos, vinculados especialmente ao declive e à elevação continental. A partir de 1964, vem crescendo o interesse científico com conotações econômicas sobre essas acumulações. DILLON (1997) sintetizou as principais situações de acumulação de hidratos de metano (Figura 5.25).

Estudos realizados pelo USGS indicam que esses depósitos, em nível mundial, atingem o dobro dos hidrocarbonetos fósseis. Nos Estados Unidos, as reservas até aqui

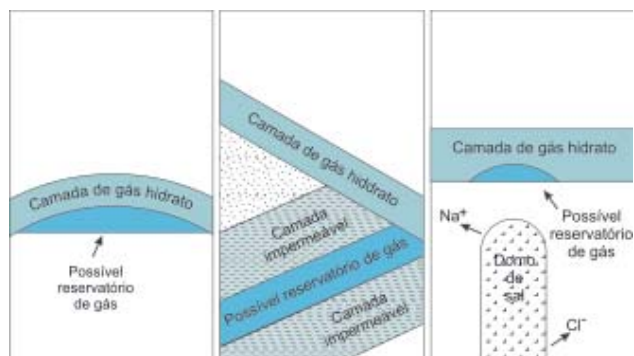


Figura 5.25 – Situações de acumulação de hidratos de metano (DILLON, 1997).

estudadas estão localizadas especialmente no platô Blake e no golfo do México (Figura 5.26).

Em oceano profundo, hidratos de metano foram identificados em testemunhos geológicos obtidos pelo Ocean Drilling Project (ODP), tendo surpreendido as equipes de pesquisadores a extensão e a espessura desses depósitos.

Hidratos de metano são substâncias sólidas semelhantes ao gelo, compostas por água e gás natural. Costumam ocorrer naturalmente em áreas onde o metano e a água podem se combinar em condições apropriadas de temperatura e pressão. Os estudos sobre o aproveitamento dos hidratos de metano encontram-se alicerçados em cinco componentes maiores: caracterização do recurso, produção, mudanças climáticas globais, segurança e estabilidade do piso marinho. É esperado que os hidratos de metano ingressem no panorama econômico como um recurso em cenário a partir de 2010.

Os hidratos de metano constituem o maior reservatório de carbono do ambiente global (Figura 5.27).

Com suficientes fontes de metano e água, os hidratos são estáveis em profundidades de 150 a 2.000 m abaixo do *permafrost*; no fundo oceânico, a profundidades maiores que 300 a 400 m e 1.100 m abaixo do piso marinho.

A maior parte dos depósitos oceânicos de hidratos do metano possui origem biogênica. Esses depósitos são



Figura 5.26 – Hidratos de gás do cânion Mississippi (LORENSON et al., 2002).

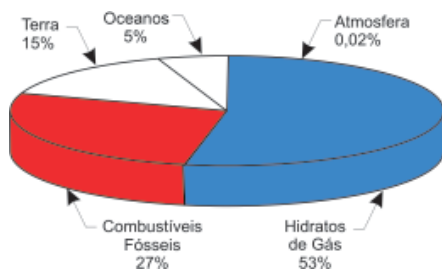


Figura 5.27 – Distribuição de carbono no ambiente (ANTRIM, 2005).

encontrados nos declives continentais de margens passivas, zonas de subducção, em dobramentos e vales entre a linha de costa e as cordilheiras, acima das placas de subducção e em bacias do tipo *back-arc*.

O processo básico de recuperação do gás natural envolve quebra no equilíbrio de manutenção do hidrato e o bombeamento do gás para a superfície. Um dos métodos consiste no aumento da temperatura do hidrato por injeção termal; outro é efetuar a redução da pressão, o que resulta na dissociação do gás a partir da água, ou injetar solvente que altera as características de pressão-temperatura, favorecendo a dissociação do gás.

Japão e Índia investem fortemente na pesquisa de hidratos de gás. Os resultados desse esforço são mostrados nas Figuras 5.28 e 5.29.

O pesqueiro Ocean Selector recuperou, em missão realizada em novembro de 2000, cerca de 1 t de fragmentos de hidratos de metano (Figura 5.30) com uma rede de arrasto, à profundidade de 800 m, nas cabeceiras do cânion Barclay, junto à ilha de Vancouver.

Os estudos do Brasil são ainda em pequeno número, tendo TANAKA et al. (2003) apresentado resultados obtidos no Cone do Amazonas.

A compreensão relativa à presença de hidratos no piso marinho vem crescendo rapidamente, visando a promover um melhor conhecimento sobre o fluxo do gás em subsuperfície, bem como de seus modelos de formação e dissociação. Além disso, a avaliação do possível impacto do gás contido nos hidratos, no clima global, só será atingida pela

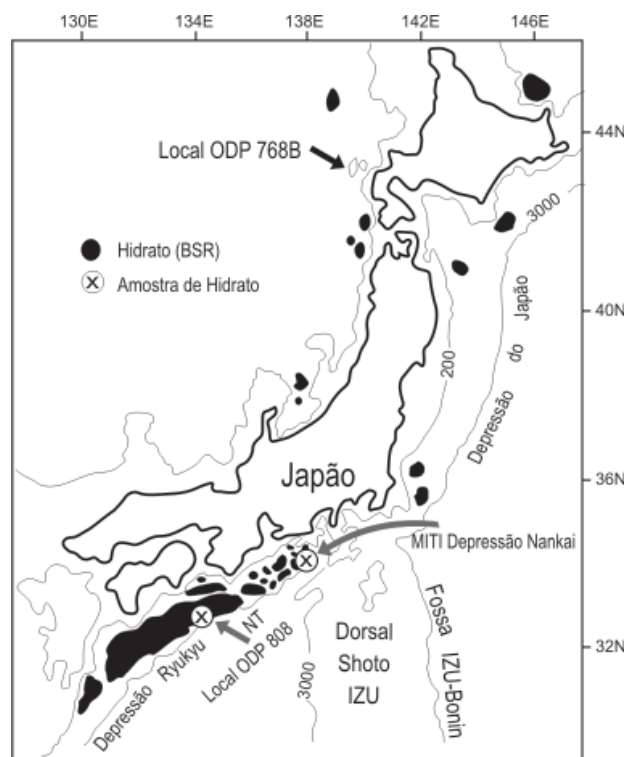


Figura 5.28 – Depósitos de hidrato na costa do Japão (ANTRIM, 2005).

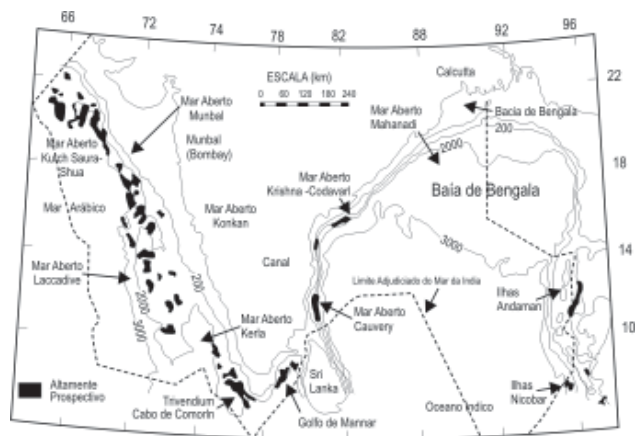


Figura 5.29 – Depósitos de hidrato de metano na Índia (ANTRIM, 2005).

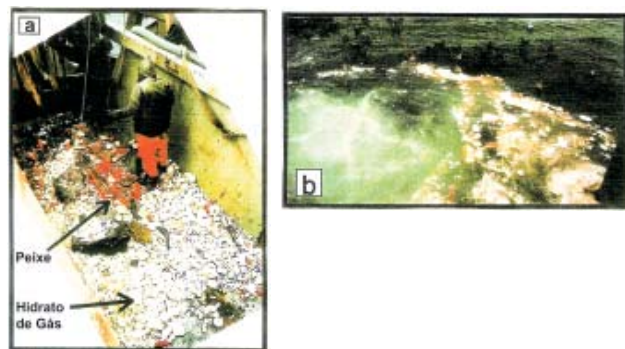


Figura 5.30 – (a) Lascas de hidratos de metano no porão do barco pesqueiro (branco), peixes (vermelho) e rochas carbonáticas (preto); (b) lascas de hidratos de metano descarregadas de retorno ao mar (SPENCE e CHAPMAN, 2001).

compreensão de como ele é liberado na coluna de água e se o gás pode eventualmente atingir a atmosfera.

Conhecidos durante algum tempo na indústria do petróleo como estorvo nas tubulações de óleo e gás, onde sob certas condições promoviam efeito similar ao do colesterol nas artérias humanas, os hidratos de gás passaram a constituir um atraente tema a partir da década de 1960, em função de suas conotações de caráter econômico-ambiental. A atual distribuição de depósitos de hidratos de metano, conhecidas e inferidas, é apresentada na Figura 5.31.

ZONA COSTEIRA COMO UM RECURSO

A adoção da zona costeira como um recurso não-vivo é decorrente de inúmeras discussões promovidas durante as reuniões do Grupo de Coordenação do programa Ocean Science in Relation to Non Living Resources (OSNLR) (COI/UNESCO).

Em realidade, a zona costeira representa um de nossos recursos mais preciosos, pois abriga grande parte da população mundial. Trata-se de uma zona frágil que responde de maneira adversa a mudanças em seu perfil de equilíbrio. Essas mudanças podem ser naturais ou induzidas

pelo homem. Os fenômenos naturais como, por exemplo, terremotos, inundações, tempestades, podem resultar em apreciáveis mudanças na linha de costa. Algumas dessas mudanças podem ser globais em extensão, como a elevação eustática do nível do mar, resultado do aquecimento global e que afetará enormemente a zona costeira, produzindo inundações marinhas, salinização e destruição dos sistemas aquíferos costeiros.

As mudanças induzidas pelo homem, como construção de portos, retirada de sedimentos do perfil praias, dragagens, podem conduzir a fenômenos de erosão costeira regional ou local. A construção de barragens pode afetar o aporte de sedimentos ou nutrientes conduzindo a drásticas mudanças tanto em recursos vivos como não-vivos da zona costeira.

O interesse despertado pela zona costeira em organismos como a UNESCO e a OEA, Comunidade Européia, entre outras, conduziu à realização de inúmeras conferências, seminários, *workshops* e outras reuniões científicas sobre o tema, como a Conferência Internacional Coastal Change, realizada em Bordeaux, França, com a participação de mais de 400 cientistas e administradores costeiros. Na oportunidade, ficou clara a importância das zonas costeiras, seriamente afetadas por ações naturais e antrópicas, como erosão, salinização de aquíferos e contaminação. Uma das metas do evento foi amplamente atingida, facilitando a comunicação efetiva entre cientistas, usuários e administradores da zona costeira, pela análise de diversas questões, tais como:

- Quais são os vários mecanismos e processos responsáveis pelas mudanças físicas ocorrentes na zona costeira?
- Como a ciência pode ser utilizada no desenvolvimento sustentável dessa região?
- Quais são as implicações socioeconômicas dessas mudanças?

Nesse verdadeiro cenário de estudo e preservação da zona costeira, pelo que ela representa como um recurso em si, alguns aspectos fundamentais devem ser levados em consideração:



Figura 5.31 – Ocorrência global de depósitos de hidratos de metano (KVENVOLDEN, 2001).

- gerenciamento integrado dos ambientes costeiros, incluindo biodiversidade;
- exploração sustentável dos recursos marinhos vivos;
- exploração dos recursos não-vivos, a um custo efetivo e de uma forma ambientalmente aceitável;
- avaliação e previsão de eventos episódicos costeiros geralmente catastróficos, com vistas a minimizar seus impactos na vida humana e na infra-estrutura existente;
- avaliação da capacidade da zona costeira em absorver as mudanças produzidas;
- formação e fortalecimento da capacidade científica dos países menos desenvolvidos, de forma a permitir participação em programas costeiros internacionais de relevância para suas prioridades e aspirações nacionais;
- comunicação mais efetiva dos resultados científicos aos usuários e administradores para uma melhor condução de suas ações na zona costeira;
- união mais efetiva entre ciências costeiras e a sociedade para assegurar o seu desenvolvimento e conscientização com relação à zona costeira.

A importância da zona costeira como um recurso em si é enfatizada nos trabalhos desenvolvidos pelo USGS, que, inclusive, estabeleceu uma série de publicações especiais procurando indicar a importância das linhas de praias e terras baixas adjacentes. Tais documentos enfatizam que o desconhecimento desses processos traz normalmente trágicas colisões entre o homem e a natureza. A geologia costeira e marinha, quando aplicada a essas situações, pode contribuir para a compreensão e o equacionamento de muitos desses problemas.

Em plano regional, a adoção da zona costeira como um recurso em si foi enfatizada quando da realização das 1^{as} Jornadas Ibero-Americanas de Ciência e Tecnologia Marinha (Cartagena, 1995) e a criação de um grupo de trabalho denominado "A Zona Costeira como um Recurso: Aspectos Científicos e Tecnológicos". O grupo estabeleceu sua pauta de trabalho versando sobre:

- a) estabilidade e vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros e a exploração sustentável de seus recursos, incluindo os aspectos socioeconômicos;
- b) efeitos em longo prazo do contínuo enriquecimento das águas costeiras por nutrientes e matéria orgânica (eutroficação e floração de algas nocivas);
- c) efeitos na zona costeira de mudanças climáticas globais (incluindo processos de erosão) e sua adequada identificação.

No Brasil, vários estudos foram desenvolvidos nos últimos anos, considerando a zona costeira como um recurso em si. A contribuição do PGGM sobre erosão e progradação do litoral brasileiro foi feita por MUEHE (2006) e representa uma contribuição de valor apreciável.

No âmbito regional (Brasil, Uruguai e Argentina), o trabalho de MARTINS et al. (2002), abordando aspectos erosivos da linha de costa dos três países, constitui um estudo de igual valor.



Figura 5.32 – Elevação do nível do mar e erosão costeira: problemas do recurso zona costeira.

Pelas razões aqui discutidas, considera-se a zona costeira como recurso em si, merecendo, dessa forma, uma atenção compatível com sua importância na interface continente/oceano (MARTINS e TOLDO Jr., 2006b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De todos os recursos minerais discutidos no presente artigo, nosso país tem informações de sua ocorrência em sua ZEE e área oceânica adjacente.

Os depósitos não-combustíveis, relacionados ao piso marinho, são formados por aqueles que podem ser explorados de locais relativamente rasos em zonas costeiras (menos de 200 m de profundidade), incluindo agregados como areia e cascalho, conchas e outros tipos de depósitos de carbonato de cálcio, fosforitas, pláceres de minerais pesados ou gemas e depósitos de enxofre de subsuperfície. Os depósitos de mar profundo situam-se a profundidades expressivas (3.500 a 5.500 m), requerendo uma tecnologia bastante distinta para os estudos exploratórios.

Com relação ao Brasil, o volume de informação é apenas razoável, destacando-se a heterogeneidade na profundidade e fidelidade dos dados existentes. Alguns trabalhos possuem boa qualidade de informações e foram obtidos por meio de programas plurianuais sob a responsabilidade de uma rede, reunindo muitas instituições (OSNLR, REMAT, PGGM, por exemplo). No momento, encontram-se em desenvolvimento outros projetos similares (REMLAC, COMAR).

Não devem ser esquecidas as questões político-estratégicas a serem definidas pelo Brasil para os recursos minerais da área internacional dos oceanos (SOUZA et al., 2007), com a criação de uma rede regional de instituições

(Brasil, Argentina, Uruguai) para desenvolver atividades exploratórias na área da elevação do Rio Grande.

BIBLIOGRAFIA

- AMATO, R. V. *Sand and gravel maps of the Atlantic continental shelf with explanatory text. US Department of the Interior*. [USA], Minerals Management Service. Office of International Activities and Marine Minerals, 1994. (OCS Monograph MMS 93-0037).
- ANTRIM, C. L. *What was old is new again: economic potential of deep ocean minerals: the second time around*. Arlington, USA: Center for Leadership in Global Diplomacy, 2005. 8 p.
- BLISSENBACH, E. Prospective sedimentary mineral potentials in the South America Atlantic margin. In: SIMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTONICA Y SEDIMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÁNTICO SUR, 1979, Uruguai. *Memórias...* Montevideo: UNESCO: ROSTLAC. 1979. p. 383-403.
- BURNETT, W. C.; RIGGS, S. R. Phosphate deposits of the world. In: _____. *Neogene to modern phosphorites*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. v. 3.
- CALLIARI, L. J.; CÔRREA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and seashell resources in southern Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 39-49. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.
- CARUSO JR., F. Shell deposits in the Santa Catarina coastal area, southern region of Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 69-79. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.
- _____. et al. Heavy mineral sand deposits of the Rio Grande do Sul coastal plain southern Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 50-61. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.
- COUPER, A. *Times atlas of the oceans*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company, 1983. 272 p.
- COUTINHO, P. N. Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. In: OSNLR/COMEMIR WORKSHOP, 1992, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: [s.n.], 1992. 25 p.
- DILLON, W. *Gas (methane) hydrates: a new frontier*. Washington, USA: USGS Public Issues in Energy and Marine Geology, 1997. 2 p.
- EARNEY, F. C. E. *Marine mineral resources*. London: Routledge, 1990. 387 p.
- GARNETT, R. H. T. Marine placer gold, with particular reference to Nome, Alaska. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999a. Cap. 4, p. 67-102.
- GARNETT, R. H. T. Marine placer diamonds, with particular reference to South Africa. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999b. Cap. 5, p. 103-144.
- HALE, P. R.; MCLAREN, P. A preliminary assessment of unconsolidated mineral resources in the canadian offshore. *The Canadian Mining e Metallurgical Bulletin*, p. 1-12, 1984.
- HEIN, J. R. et al. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacifico. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 239-280.
- HORN, D. R.; HORN, B.; DELACH, M. N. Worldwide distribution and metal content of deep-sea manganese nodules. In: MANGANESE NODULE DEPOSITS WORKSHOP, 1972, Honolulu. *Proceedings...* Honolulu, USA: [s.n.], 1972.
- HOSANG, D.; ABREU, J. G. N. Concreções fosfáticas na plataforma externa e talude superior da margem continental sul brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 1997, João Pessoa. *Resumos* 97. João Pessoa: [s.n.], 2002.
- JAUHARI, P.; PATTAN, J. N. Ferromanganese nodules from central Indian ocean basin. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 171-198.
- KLEIN, A. H. et al. Concreções fosfáticas no terraço do Rio Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Resumos expandidos...* São Paulo: [s.n.], 1992. p. 202-203.
- KVENVOLDEN, K. The global occurrence of gas hydrates deposits. In: _____. *Natural gas hydrates: occurrence, distribution and detection*. Washington, USA: American Geophysical Union, 2001. (Geophysical Monograph, 124).
- LORENSON, T. D. et al. Gas hydrate occurrence in the northern gulf of México studied with giant piston cores. *EOS*, v. 83, n. 51, p. 601-607, 2002.
- MARCHIG, V. Hydrothermal activity on the southern ultrafast – spreading segment of the east pacific rise. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. Cap. 11, p. 309-328.
- MARTINS, L. R. Hidratos de metano: um interesse crescente. *Gravel*, Porto Alegre, n. 3, p. 131-135, 2003.
- _____; TOLDO JR., E. E. Estoque arenoso da plataforma continental: um recurso estratégico para a zona costeira. *Gravel*, Porto Alegre, n. 4, p. 37-46, 2006a.
- _____; _____. Dynamics and changes of beach erosion, accretion and nourishment in Rio Grande do Sul, Brazil. *LOICZ/Imprint*, n. 1, p. 14-15, 2006b.
- _____; URIEN, C. M. Areias da plataforma e a erosão costeira. *Gravel*, Porto Alegre, n. 2, p. 4-24, 2004.
- _____; MARTINS, L. R.; URIEN, C. M. Sand bodies of the Santa Catarina inner continental shelf, Brazil. *Gravel*, Porto Alegre, n. 3, p. 103-109, 2005.
- _____; TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R. *Erosão costeira: causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos marinhos*. Porto Alegre: [s.n.], 2002. CD-ROM.

MARTINS, L. R. et al. Distribuição faciológica da margem continental do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. *Anais...* Belém, 1972. p. 115-132.

_____. Sand deposits along Rio Grande do Sul (Brazil) inner continental shelf. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. L. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 26-38. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.

MONT'ALVERNE, A. A.; COUTINHO, P. N. Províncias sedimentares da plataforma continental de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1992, Salvador. *Anais...* Salvador: [s.n.], 1992. p. 1524-1530.

MORGAN, C. L. Resource estimates of the Clarion-Clipperton manganese nodule deposits. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 145-170.

MUEHE, D. (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 475 p. Programa de Geologia e Geofísica Marinha.

MUNARO, P. *Geologia e mineralogia dos depósitos de minerais pesados de Bujurú*. 1994. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

ROCHA, J. M. *Recursos minerais do mar*. Parte 2: recursos subsuperficiais. Projeto REMAC, relatório interno. [S.l.: s.n.]: 1975. 25 p.

SANTANA, C. I. Recursos minerales del mar. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. *Memorias...* Montevideo, Uruguay: UNESCO/ROSLAC, 1979. p. 361-382.

_____. Mineral resources of the brazilian continental margin and adjacent oceanic regions. In: MARTINS, L. R.;

SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 15-25. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.

SHOLTEN, J. S. et al. Hydrothermal mineralization in the Red sea. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 369-396.

SOUZA, K. G. de; ROCHA NETO, M. B. da; DINIZ, N.; BRITO, R. do S. C. de. Aspectos político-estratégicos dos recursos minerais da área internacional dos oceanos. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 24, p. 95-114, ago. 2007. 274 p. Edição Especial – Estudos do Mar.

SPENCE, G. D.; CHAPMAN, N. R. Fishing trawler nets massive "catch" of methane hydrates. *EOS*, v. 82, n. 50, p. 621-627, 2001.

STACKELBERG, U. Von. Manganese nodules in the Peru basin. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 197-238.

SUMMERHAYES, C. P. Ocean resources. In: SUMMERHAYES, C. P.; THORPE, S. A. (Ed.). *Oceanography*. London: Manson Publishing, 1998. p. 314-337.

TANAKA, M. D.; SILVA, C. G.; CLEANELL, M. B. Gas hydrates on the Amazonas submarine fan. In: ANNUAL MEETING [OF] FOZ OF AMAZONAS BASIN, BRAZIL AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS, 2003, USA. *Poster session...* Salt Lake City, USA: [s.n.], 2003.

VILLWOCK, J. A. et al. Concentraciones de minerales pesados a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. *Memorias...* Montevideo, Uruguay: UNESCO/ROSLAC, 1979. p. 405-414.



LUIZ ROBERTO SILVA MARTINS

Doutor, livre-docência e pós-doutorado em Geologia Marinha. Fundador do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO-UFRGS). Fundador e coordenador do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM) (1969-1979). Fundador e coordenador do Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (1971-1972). Coordenador técnico do CNPq no Projeto REMAC (1972-1978). Especialista em Ciências do Mar junto ao Escritório Regional da UNESCO para Ciência e Tecnologia (1982-1983). Coordenador Regional do Programa OSNLR/UNESCO (1984-2002). Perito em Ciências do Mar junto à Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar. Coordenador Científico da Rede COMAR (2003-2008). Membro Emérito da Society for Sedimentary Geology (USA). Publicou 250 títulos entre livros, capítulos de livro, artigos completos e resumos expandidos. Pesquisador sênior do CNPq. Professor emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).



KAISER GONÇALVES DE SOUZA

Geólogo formado (1983) pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS/RS). Doutor (1991) em Geologia Marinha pela Universidade de Paris. Pós-doutorado (1995) pelo Instituto de Geociências e Recursos Naturais em Hannover (Alemanha). Treinamento em Exploração de Recursos Minerais Marinhos patrocinado pela Comissão Preparatória da Autoridade Internacional do Leito Marinho e do Tribunal Internacional das Leis do Mar (Nações Unidas). Especialização em assuntos relativos à Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Atuou como especialista em recursos do mar no Ministério da Ciência e Tecnologia em colaboração com a Comissão Interministerial de Recursos do Mar. Trabalhou como geólogo marinho na Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (Nações Unidas) (Jamaica), quando contribuiu para o desenvolvimento de atividades visando ao aproveitamento sustentado de recursos minerais marinhos localizados em áreas oceânicas além das jurisdições nacionais. Atualmente, é chefe da Divisão de Geologia Marinha da Companhia de

Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), onde sua principal atuação tem sido a implementação do Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPAC).

6

REGIÕES COSTEIRAS

Ricardo de Lima Brandão (ricardo@fo.cprm.gov.br)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

As Regiões Costeiras	90
Variações do Nível Relativo do Mar no Litoral Brasileiro e Evolução das Planícies Costeiras	90
O Problema da Erosão Costeira	92
Mobilização Eólica de Sedimentos: Campos de Dunas Costeiras	94
Preservação e Gerenciamento das Áreas Costeiras	96
Bibliografia	97

AS REGIÕES COSTEIRAS

O litoral brasileiro possui uma extensão de aproximadamente 8.500 km, ao longo da qual ocorrem unidades fisiográficas variadas (Figura 6.1). De modo geral, observa-se uma sucessão de planícies costeiras alternando-se com falésias e costões rochosos. As planícies costeiras são constituídas por sedimentos quaternários, acumulados em ambientes continentais, transicionais (mistos) e marinhos. Exibem larguras mais expressivas no litoral norte, em grande parte sob influência da volumosa descarga sólida (principalmente de sedimentos lamosos) do rio Amazonas. Planícies mais largas também são observadas junto às desembocaduras de outros rios principais, como Parnaíba e São Francisco, na costa nordeste, e Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul, na costa leste. Falésias são formadas quando pacotes de sedimentos mais antigos, consolidados, são expostos à ação direta das ondas do mar. No litoral brasileiro são, predominantemente, esculpidas nos sedimentos terciário-quaternários do Grupo Barreiras

ou formações correlatas. Os sedimentos Barreiras ocorrem como uma faixa descontínua e de largura variável, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, sob a forma de tabuleiros costeiros, que, por vezes, projetam-se até a linha de praia. Os costões rochosos ocorrem quando a ação das ondas é exercida sobre rochas cristalinas, tanto ígneas quanto metamórficas, com maior destaque para o litoral sudeste, onde as encostas da serra do Mar atingem diretamente a linha de costa em vários setores.

Regiões costeiras são resultantes da interconexão entre componentes da geosfera (continente), hidrosfera (oceano) e atmosfera. Constituem as áreas de mais intensa troca de energia e matéria do sistema Terra. Devido ao frágil equilíbrio existente entre os diferentes processos físicos atuantes e à complexidade e diversidade de ecossistemas presentes (como praias, manguezais, recifes de corais, entre outros), caracterizam-se como áreas de elevada vulnerabilidade à degradação de seus recursos naturais, frente a atividades humanas inadequadas.

A geologia assume papel de destaque no planejamento e ordenamento territorial de regiões costeiras. O conhecimento da evolução ao longo do tempo geológico, envolvendo os processos passados e atuais, que resultam nas feições costeiras hoje observadas e na dinâmica que modifica constantemente a configuração morfológica dessas áreas, faz da informação geológica um instrumento fundamental para a gestão sustentável da zona costeira. Os processos geológicos ativos nessas regiões, fundamentalmente relacionados às variações do nível relativo do mar, aos padrões de circulação litorânea de sedimentos, que causam erosão ou progradação da linha de costa, e à mobilização eólica de grandes volumes de areia, estão sendo modificados pelo homem, o que torna imprescindível um adequado controle sobre o uso e ocupação dessas áreas, visando à manutenção de sua qualidade ambiental.

VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO LITORAL BRASILEIRO E EVOLUÇÃO DAS PLANÍCIES COSTEIRAS

As flutuações do nível relativo do mar, sobretudo no decorrer do Quaternário, são um dos principais fatores controladores dos padrões de sedimentação e erosão, responsáveis pela elaboração das planícies costeiras brasileiras. O episódio mais antigo de nível marinho acima do atual, reconhecido e datado no litoral brasileiro, ocorreu por volta de 123.000 anos AP (Antes do Presente), com o mar se estabilizando em torno de 8 a 10 m



Figura 6.1 – Classificação da costa brasileira proposta por Silveira (1964) e modificada por Cruz et al. (1985). Fonte: VILLWOCK et al. (2005).

acima do nível atual. Durante essa transgressão marinha, os cursos inferiores dos rios foram afogados e transformados em feições do tipo ilhas-barreira/lagunas. Após esse máximo transgressivo, teve início uma longa fase de regressão marinha, responsável pela progradação da linha de costa através da deposição de sucessivos cordões litorâneos, formando os terraços arenosos pleistocênicos, que ocorrem desde os estados da Paraíba até o Rio Grande do Sul, nas porções mais internas das planícies costeiras (Figura 6.2). Um dos mais bem preservados testemunhos desse ciclo transgressivo-regressivo é o sistema Laguna-Barreira III (VILLWOCK et al., 1986), amplamente distribuído na costa sul-rio-grandense e responsável pela individualização da lagoa dos Patos, maior sistema lagunar do Brasil. No litoral do estado do Rio de Janeiro, cordões arenosos pleistocênicos controlaram a formação de importantes lagunas, como o complexo Araruama-Saquarema-Maricá, lagoa Rodrigo de Freitas e lagoa de Jacarepaguá.

Em torno de 17.500 anos AP, segundo curva eustática apresentada para o litoral do Rio Grande do Sul (CORRÊA, 1990), o nível do mar se estabilizou entre 120 e 130 m abaixo do atual, expondo praticamente toda a plataforma continental. Verificou-se, em seguida, uma nova fase transgressiva, em períodos alternados de maior ou menor velocidade, com o nível marinho aproximando-se do atual entre 7.000 e 6.500 anos atrás.

Os registros das variações nos últimos 7.000 anos são mais bem conhecidos no litoral leste-nordeste do Brasil, onde foram realizadas mais de 700 datações de radiocarbono, permitindo construir curvas de flutuações do nível do mar para diversos setores costeiros. Segundo Suguio et al. (1985), Martin et al. (1987) e Dominguez et al. (1981, 1990), após passar pelo nível do mar atual, em torno de 7.000 anos AP, nosso litoral esteve em submersão até cerca de 5.150 anos AP, quando foi atingido um máximo transgressivo entre 4 e 5 m acima do nível atual. Durante essa fase, formaram-se novos sistemas de ilhas-barreira/lagunas, principalmente nas desembocaduras de grandes rios, como o Doce e o Paraíba do Sul. Desde então, o nível relativo do mar sofreu um abaixamento, irregular e descontínuo, até atingir a posição atual.

Durante esse episódio, que modelou as formas finais das planícies costeiras, foram construídos os terraços marinhos holocênicos (Figura 6.2), marcados por feixes de cordões arenosos, muitas vezes retrabalhados por processos eólicos que deram origem aos campos de dunas atuais. Grandes corpos lagunares, como, por exemplo, a lagoa de Marapendi, na Barra da Tijuca (cidade do Rio de Janeiro), desenvolveram-se entre esses cordões holocênicos e as barreiras arenosas mais internas (cordões pleistocênicos).

O estudo desses registros pretéritos reveste-se de especial interesse, hoje em dia, quando se discutem os impactos de uma possível elevação do nível do mar causada pelo aumento da temperatura global da Terra. De acordo

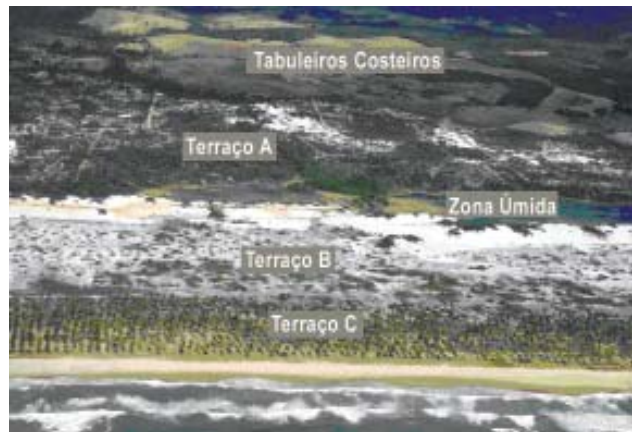


Figura 6.2 – Terraços arenosos na planície costeira do litoral norte do estado da Bahia (modificado de Dominguez, 2006):

Terraço A: terraços arenosos continentais (depósitos de leques aluviais), pleistocênicos, de idade anterior a 120.000 anos AP
Terraço B: terraços arenosos marinhos, pleistocênicos, associados ao nível de mar alto de 120.000 anos AP e à regressão subsequente.
Terraço C: terraços arenosos marinhos, holocênicos, associados ao nível de mar alto de 5.100 anos AP e à regressão subsequente.

com o relatório do IPCC/ONU (BINDOFF et al., 2007), de 1961 a 2003 o nível do mar global aumentou a uma taxa média de 1,8 mm por ano, sendo que de 1993 a 2003 o aumento foi de 3,1 mm por ano. O fato de uma taxa mais rápida refletir uma variação da década, ou um aumento na tendência de longo prazo, ainda não pode ser determinado. Antes de se fazer qualquer previsão sobre as consequências de uma eventual subida do nível do mar, para os próximos 50-100 anos, deve-se conhecer a evolução passada a fim de se determinar a tendência da região considerada. Enquanto na costa do Brasil o nível do mar desceu cerca de 5 m durante os últimos 5.000 anos, no mesmo período a costa atlântica dos Estados Unidos, por exemplo, experimentou contínua elevação do nível do mar, caracterizando-se como uma costa em submersão (Figura 6.3).

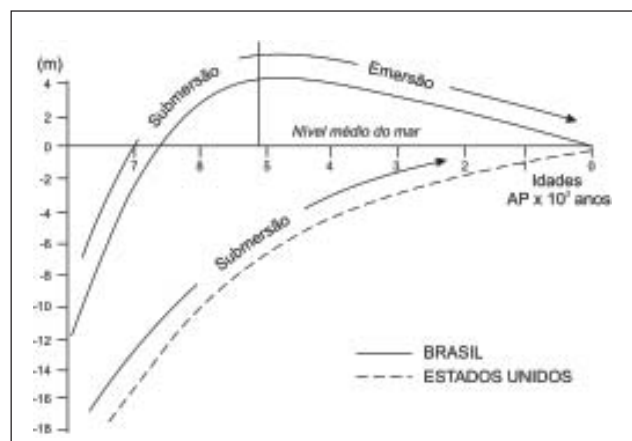


Figura 6.3 – Curvas esquemáticas médias de variações dos níveis relativos do mar ao longo da costa central brasileira e ao longo das costas Atlântica e do golfo do México dos Estados Unidos, durante os últimos sete mil anos (SUGUIO et al., 1985).

O PROBLEMA DA EROSÃO COSTEIRA

Segundo alguns autores, mais de 70% das linhas de costa do mundo têm sido afetadas pela erosão nas últimas décadas. Esse fenômeno, nos dias de hoje, tem sido discutido por numerosos pesquisadores e a maioria deles advoga que a subida acelerada do nível relativo do mar, atualmente em curso, seria a causa mais importante. Deve-se considerar, no entanto, que a maior parte da literatura sobre o tema é produzida em países do hemisfério Norte, onde, conforme já comentado, predominam zonas costeiras em submersão. A subida do nível do mar atual nessas regiões deve provocar efeitos adversos maiores que em zonas costeiras em emergência, podendo até ser a causa principal da erosão. Evidentemente, se as previsões de subida do nível do mar para as próximas décadas se confirmarem, setores do litoral brasileiro submetidos a processos erosivos serão bem mais impactados, pois as taxas de erosão serão fortemente aceleradas (DOMINGUEZ, 1995).

O balanço de sedimentos (contribuições x perdas sedimentares) parece ser o principal fator que condiciona a erosão ou a progradação ao longo da costa brasileira. Quando ocorre redução do volume de sedimentos que alimenta determinado setor costeiro, a linha de costa tende a recuar (erosão). Quando o suprimento sedimentar se mantém, permanece estabilizada. Se houver incremento do volume de areia no trecho considerado, a linha de costa avança em direção ao mar (progradação).

Inúmeros fatores, tanto naturais (intrinsecamente ligados à dinâmica costeira) quanto relacionados às intervenções humanas, atuam direta ou indiretamente no balanço de sedimentos, determinando as tendências para o comportamento da linha de costa. Quando o resultado do balanço de sedimentos é negativo (déficit sedimentar), provocando a erosão, os principais são:

- Retenção dos sedimentos transportados pelas correntes de deriva litorânea (*longshore currents*), causada por obstáculos localizados a montante da área de interesse. Essas correntes longitudinais são criadas quando as ondas incidem obliquamente à linha de costa, gerando um fluxo paralelo à faixa de praia (Figura 6.4). Na dinâmica costeira, constituem o principal agente de transporte e dispersão de sedimentos litorâneos. Os obstáculos podem ser naturais (pontais rochosos ou arenosos e algumas desembocaduras fluviais, que, em condições de descarga favoráveis, funcionam como “espigões hidráulicos” bloqueando o trânsito litorâneo de sedimentos) ou obras de engenharia costeira perpendiculares à linha de costa (molhes ou espigões). Esses obstáculos provocam acumulação de sedimentos a montante e erosão a jusante.

- Retenção de sedimentos transportados pelos rios devido à construção de barragens, impedindo que cheguem à linha de costa e sejam redistribuídos pelas correntes de deriva litorânea. A mineração de areia nas planícies



Figura 6.4 – Correntes de deriva litorânea (*longshore currents*) geradas por ondas que incidem obliquamente à praia (COASTAL PROCESSES AND SHORELINE EROSION).

fluviais, quando executada de forma inadequada, também pode contribuir para a erosão costeira, por meio da diminuição da carga de sedimentos que seria transportada e incorporada à linha de costa.

- Remoção de sedimentos, em direção à plataforma continental adjacente, por correntes de retorno (*rip currents*) geradas pela atuação de correntes longitudinais de sentidos opostos que convergem no mesmo setor praiial, formando células de circulação litorânea (Figura 6.5).

- Diminuição do aporte transversal de sedimentos arenosos da plataforma continental para a linha de costa.

- Remoção de sedimentos causada pelo avanço de frentes frias, com marés meteorológicas e ondas de tempestades associadas. Esses eventos são mais frequentes na costa sul-sudeste do Brasil. Nos últimos anos, tem-se observado uma intensificação dos fenômenos climáticos extremos, como o caso da passagem do furacão Catarina, entre os dias 27 e 28 de março de 2004, considerado o primeiro furacão extratropical registrado no Atlântico Sul (Figura 6.6).

- Remobilização eólica de areia das praias para a geração de campos de dunas.

Obras de engenharia costeira, como molhes/espigões, quebra-mares, muros de contenção (*sea wall*) etc., construídas com a finalidade de estabilizar a posição da linha de costa, têm se mostrado ineficientes, pois, apesar de protegerem patrimônios públicos e privados, não resolvem as causas da erosão e geralmente resultam na

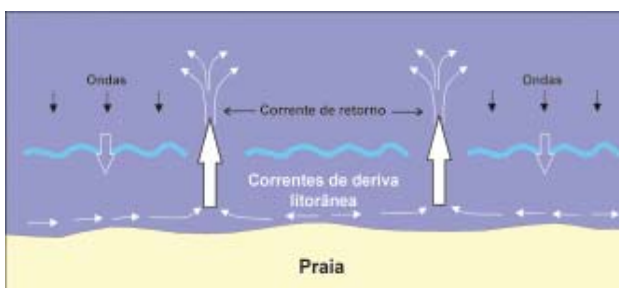


Figura 6.5 – Células de circulação litorânea, com correntes de retorno que podem transportar sedimentos transversalmente à linha de costa em direção à plataforma continental (COASTAL PROCESSES AND SHORELINE EROSION).

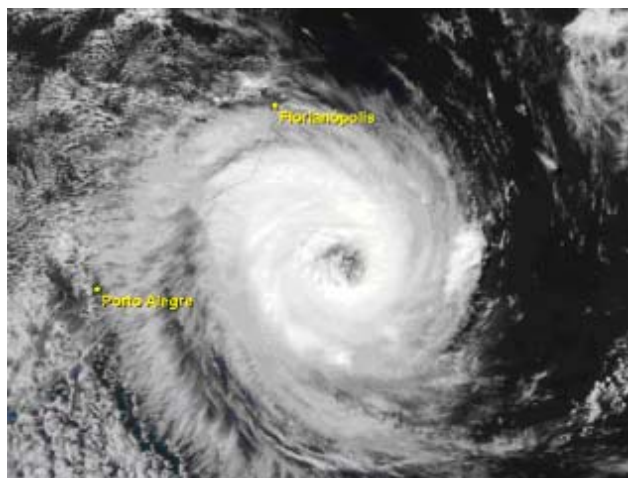


Figura 6.6 – Furacão Catarina, que atingiu o litoral sul entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em março de 2004 (disponível em: <http://www.inpe.br>).

destruição da praia recreativa, além de propagar o problema para setores adjacentes. Entretanto, em alguns casos, como em áreas já densamente ocupadas, essas intervenções tornam-se uma medida necessária e imediata. Exemplos desse tipo de obra podem ser encontrados ao longo de toda a costa brasileira. No litoral de Fortaleza (CE), a construção de uma série de estruturas rígidas, na tentativa de deter o processo erosivo estabelecido a partir da retenção de sedimentos pelo molhe principal do porto do Mucuripe, além de degradar grande trecho da orla urbana, provocou a transferência da erosão, em “efeito dominó”, no sentido da deriva litorânea, atingindo com mais intensidade as praias do setor oeste. O caso mais representativo é a praia de Iparana (município de Caucaia), caracterizada como uma área de recuo acelerado da linha de costa, onde o mar já avançou cerca de 200 m nos últimos 30 anos (Figura 6.7).



Figura 6.7 – Obras de engenharia costeira (espigões e quebra-mares) construídas ao longo do litoral de Fortaleza (CE).

Outro exemplo semelhante ocorre no setor litorâneo a norte do Recife (PE), submetido aos efeitos da erosão costeira desencadeada principalmente pela construção e ampliação do antigo porto da capital pernambucana. Uma bateria de molhes (35) foi instalada nas praias do município de Olinda, alterando o padrão de circulação de sedimentos na área e transferindo a ação erosiva para jusante, até o trecho da Ilha de Itamaracá. A praia de Boa Viagem, na cidade do Recife, sofre acelerado processo erosivo devido principalmente à urbanização desordenada da faixa de pós-praia, que impede a troca de sedimentos entre o mar e os depósitos costeiros. A construção do porto de Suape, no município de Ipojuca, também contribuiu para intensificar o fenômeno. Intervenções emergenciais foram implementadas com o objetivo de proteger vias públicas e outros equipamentos urbanos (Figura 6.8).

No litoral do estado do Rio de Janeiro, junto à desembocadura do rio Paraíba do Sul, a localidade de Atafona vem sendo severamente atingida pela erosão, cujas cau-



Figura 6.8 – Obra para contenção do avanço do mar na praia de Boa Viagem (Recife-PE).

sas (naturais e humanas) ainda não são totalmente conhecidas. Segundo COSTA (1994) citado por MUEHE et al. (2006), um dos fatores que intensificaram o fenômeno se relaciona à redução das descargas líquida e sólida do rio, em consequência da derivação das águas para o sistema Lajes-Guandu, na barragem de Santa Cecília, localizada a 382 km da foz. Essa intervenção refletiu-se na interação entre rio e oceano, modificando a direção e intensidade dos processos atuantes localmente (Figura 6.9).



Figura 6.9 – Aspecto da intensa erosão costeira na localidade de Atafona, município de São João da Barra (RJ) (MUEHE, 2007).

Problemas erosivos também ocorrem na planície costeira do rio São Francisco, sendo suas causas atribuídas à retenção de sedimentos fluviais pelas várias usinas hidrelétricas e reservatórios construídos no curso desse rio. Em 1998, o povoado de Cabeço, no município de Brejo Grande (SE), foi praticamente todo destruído pelo avanço do mar.

Ao longo do litoral brasileiro, existem ambientes e feições fisiográficas que funcionam como barreiras naturais, protegendo a costa contra a ação erosiva das ondas do mar, a exemplo das áreas de manguezais, associadas a planícies fluviomarinhas, que ocorrem desde o Amapá até Santa Catarina. A degradação causada pela expansão urbana, instalações portuárias e industriais, atividades de carcinicultura, dentre outras, têm comprometido importantes funções ambientais (físicas e biológicas) desses ecossistemas. Dunas frontais, recifes de coral e arenitos de praia (*beach-rocks*) são outras feições costeiras que ajudam a absorver parte da energia das ondas, diminuindo a remoção de sedimentos da face de praia.

O transporte eólico de sedimentos nas planícies costeiras contribui, em alguns setores específicos, para a manutenção do equilíbrio dinâmico da linha de costa, através do fluxo de areias provenientes de dunas móveis em direção à faixa de praia.

Um amplo trabalho sobre o comportamento da linha de costa brasileira (MUEHE, 2006) apresenta, para cada estado litorâneo, uma síntese dos estudos de identificação das áreas com características de erosão, estabilidade e progradação. O diagnóstico realizado mostra que a erosão ocorre por toda a costa, prevalecendo sobre os trechos de acreção e que não há clareza sobre as causas, se naturais ou induzidas por intervenções humanas, na maior parte das ocorrências. Ainda segundo o autor, não existem evidências conclusivas, até o momento, quanto ao comportamento do nível do mar atual. A baixa declividade de grande parte da plataforma continental interna favorece uma ampla resposta erosiva da linha de costa, no caso de uma elevação acelerada do nível do mar. Por outro lado, grande parte do relevo costeiro, como as falésias e os recifes, reduz esse impacto.

Em termos gerais, pode-se considerar que a erosão costeira resulta essencialmente do conflito entre um processo natural, o recuo da linha de costa, e as atividades humanas. O problema para o homem (risco natural) ocorre quando é construído algum tipo de referencial fixo (residências, estradas e outras obras permanentes) que se interpõe na trajetória de recuo da linha de costa (DOMINGUEZ, 1995). O controle do problema passa, necessariamente, pelo gerenciamento e ordenamento territorial das áreas costeiras, devendo ser consideradas a manutenção de faixas de não-edificação junto à orla e a necessidade de estudos adequados para a implantação de obras costeiras.

MOBILIZAÇÃO EÓLICA DE SEDIMENTOS: CAMPOS DE DUNAS COSTEIRAS

Ao longo do litoral brasileiro, os campos de dunas ocorrem, de maneira mais expressiva, nos seguintes trechos: costa norte-nordeste, principalmente entre a baía de São Marcos (Maranhão) e o cabo Calcanhar (Rio Grande do Norte), costa de Sergipe-Alagoas (planície costeira do rio São Francisco), costa do Rio de Janeiro (região de Cabo Frio) e costa meridional, entre a ilha de Santa Catarina e o extremo sul do Rio Grande do Sul. Atingem maior desenvolvimento no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, reconhecido como o maior registro de sedimentação eólica quaternária da América do Sul.

As dunas costeiras são formadas pela acumulação de sedimentos arenosos removidos da face de praia pela ação dos ventos. Para que se desenvolvam, são necessárias as seguintes condições essenciais: (i) existência de estoque abundante de sedimentos, com textura adequada; (ii) atuação de ventos soprando costa adentro e com velocidades suficientes para movimentar os grãos

de areia; (iii) existência de superfície adequada para a mobilização e deposição dos sedimentos; (iv) baixo teor de umidade, visto que areias mais úmidas necessitam de maior energia eólica para iniciar a movimentação dos grãos.

Migração de dunas ocorre quando o deslocamento contínuo dos grãos de areia provoca a movimentação de todo o corpo da duna. É um processo natural que depende, além do regime de ventos, de sua estruturação interna (baixa coesão dos grãos) e da ausência de vegetação fixadora ou estabilizadora. Essas dunas são classificadas como móveis, livres ou transgressivas. Quando as condições dos depósitos são mais estáveis, pela maior coesão dos grãos e pela presença de um revestimento vegetal que detém ou atenua os efeitos da ação dos ventos, as dunas são classificadas como fixas ou estacionárias. A migração ocorre predominantemente durante as estações secas, diminuindo bastante, ou mesmo cessando, nos períodos chuvosos. GONÇALVES (1998) estudou a movimentação eólica de sedimentos nos Lençóis Maranhenses, observando que a taxa de transporte ao longo do primeiro semestre do ano (maior pluviosidade) é significativamente menor que a do segundo semestre (menor pluviosidade). O regime de ventos é de baixa energia para os meses de fevereiro a julho e de alta energia para os meses de agosto a dezembro. O autor calculou uma taxa de migração das dunas de 10 a 15 m por ano, com um sentido de deslocamento entre 63° e 72°SW.

Dependendo da configuração da linha de costa, as dunas móveis podem exercer importante função no aporte de sedimentos para a faixa praial, através de áreas de *bypass*. No Ceará, essas áreas são, em grande parte, relacionadas a zonas de promontórios. Após migrarem sobre essas feições, as areias alimentam as correntes de deriva litorânea, ou diretamente a faixa de estirâncio, contribuindo para manter o aporte regulador e o equilíbrio das praias. Observa-se que a ocupação desses setores, na maioria das vezes por casas de veraneio, associada à utilização de técnicas para fixação das dunas e/ou para desviar a trajetória do fluxo eólico, têm alterado os padrões naturais de circulação dos sedimentos, potencializando a ação erosiva nos trechos situados a jusante.

O transpasse de sedimentos eólicos para o fluxo litorâneo se dá, também, através do avanço de dunas sobre canais estuarinos. Dependendo das condições hidrodinâmicas e do volume de sedimentos envolvidos, pode ocorrer o barramento da desembocadura, resultando na formação de lagoas costeiras, ou o transporte do material arenoso pelo canal e sua posterior redistribuição pela deriva litorânea ao longo da linha de costa. Deve-se, portanto, nesses casos, preservar as dunas para que conti-

nuem migrando e participando da dinâmica sedimentar costeira.

Em algumas áreas, a migração de dunas ocasiona o assoreamento de ecossistemas aquáticos, como lagoas, banhados e mangues. Da mesma forma, áreas urbanizadas ou agricultadas, estabelecidas nas zonas de migração, podem ser lentamente soterradas pelas areias. A retirada da cobertura vegetal fixadora das dunas, apesar de proibida pela legislação ambiental, é uma prática comum ao longo do litoral brasileiro, promovendo a transformação de dunas fixas em dunas móveis (Figura 6.10).

Construções de estradas, loteamentos e outros equipamentos públicos e privados, assim como as atividades de mineração de areia e minerais pesados em dunas, resultam na desestabilização e até mesmo no desmonte desses depósitos, alterando significativamente a dinâmica eólica dessas áreas, além de degradar um patrimônio paisagístico com elevado potencial para atividades de turismo e lazer (Figura 6.11).



Figura 6.10 – Migração de dunas, causando o assoreamento da lagoa do Portinho (Parnaíba, PI) (disponível em: Google Earth).



Figura 6.11 – Degradação ambiental causada pela mineração de areia em área de dunas (Sabiaguaba, Fortaleza, CE).

Os campos de dunas (recentes e paleodunas) são aquíferos superficiais livres, de elevado potencial, merecendo destaque na captação de água subterrânea de boa qualidade nas regiões litorâneas. Por outro lado, pelas mesmas características que os tornam um excelente armazenador, ou seja, os elevados índices de porosidade e permeabilidade, representam ambientes altamente vulneráveis à contaminação hídrica. Várias são as fontes potencialmente poluidoras, tais como: águas superficiais poluídas, lixões, fossas, cemitérios, postos de gasolina e poços construídos sem critérios técnicos. Além disso, a urbanização indiscriminada atinge as áreas de recarga, impermeabilizando os terrenos e comprometendo a potencialidade desses aquíferos.

Observa-se também, em algumas cidades litorâneas, a ocorrência de processos de favelização em dunas, ocasionando o aparecimento de áreas de risco associadas a movimentos de massa, principalmente em períodos de pluviosidade elevada. A constituição arenosa dos morros (favorecendo uma alta taxa de infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, um elevado nível de saturação do solo), a declividade acentuada, a distribuição e pressão das habitações nas encostas, o acúmulo de lixo e entulho nos taludes, o lançamento das águas servidas em superfície ou em fossas (contribuindo para aumentar a saturação do solo), a remoção da cobertura vegetal e a ação dos ventos que promovem a remobilização dos sedimentos, são os principais fatores que induzem as movimentações gravitacionais nessas áreas, quase sempre

com resultados desastrosos para seus habitantes (Figura 6.12).

PRESERVAÇÃO E GERENCIAMENTO DAS ÁREAS COSTEIRAS

A grande extensão do litoral brasileiro, a diversidade de formações físico-bióticas, os padrões de ocupação humana e as atividades econômicas em geral, como expansão urbana, atividades portuárias e industriais, exploração petrolífera, exploração turística em larga escala etc. constituem os principais desafios para a gestão ambiental das áreas costeiras. Muitos conflitos gerados em consequência dessas intervenções podem ser minimizados, ou mesmo evitados, se os processos naturais forem mais bem conhecidos e avaliados no planejamento e ordenamento territorial dessas áreas. Como exposto anteriormente, variações do nível relativo do mar, erosão ou recuo da linha de costa e migração de dunas são processos inter-relacionados que modelam a paisagem litorânea. Eles estão sendo modificados pelo homem e/ou desconsiderados na dinâmica de uso e ocupação desses espaços, o que tem causado o aparecimento de áreas de risco e a degradação do meio ambiente e da qualidade de vida das populações que lá residem, ou para lá fluem em busca de lazer e entretenimento.

Em áreas já densamente ocupadas, como as regiões metropolitanas, pouco pode ser feito em termos de zoneamento ou disciplinamento de uso do solo (medidas

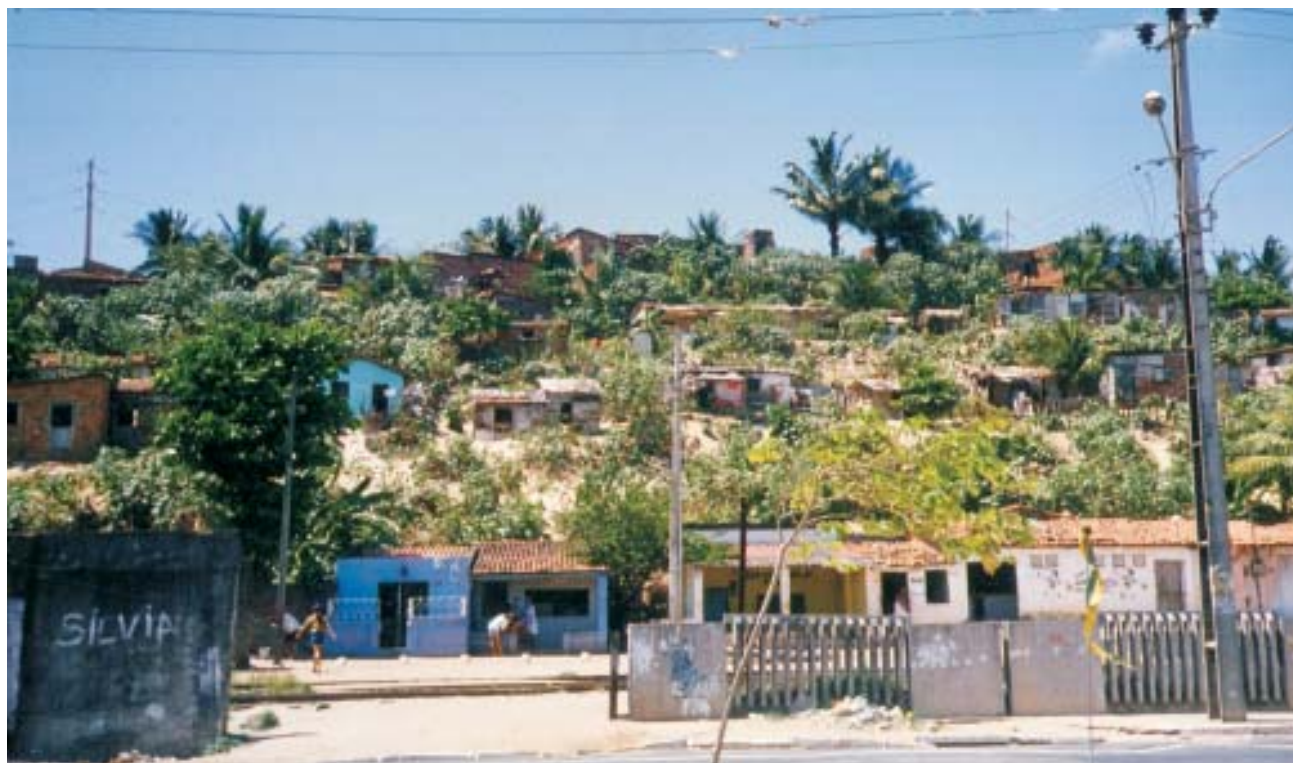


Figura 6.12 – Ocupação por favela em duna (Morro de Santa Terezinha, Fortaleza, CE).

preventivas), a fim de enfrentar os problemas observados, muitas vezes sendo possível apenas a implementação de algumas medidas corretivas ou mitigadoras, como, por exemplo, a implantação de obras de proteção de propriedades contra a erosão costeira, a regeneração artificial de praias (engordamentos/aterros) e técnicas para estabilização ou fixação de dunas móveis. Em áreas ainda pouco ocupadas, as medidas preventivas podem e devem ser efetivamente implementadas. Uma delas é o estabelecimento de faixas de recuo para a ocupação da linha de costa, que devem ser adotadas com larguras que levem em consideração os registros históricos de marés meteorológicas, as tendências locais de retrogradação da linha de costa e possíveis cenários de elevação do nível do mar.

As concessões de licenciamentos ambientais para projetos e empreendimentos diversos devem ser criteriosamente embasadas no conhecimento técnico das inúmeras variáveis (geológicas, geomorfológicas, oceanográficas, climáticas e hidrológicas) responsáveis pela dinâmica natural das regiões costeiras.

A legislação ambiental brasileira possui uma gama de leis e decretos que direta ou indiretamente protegem os ambientes costeiros. O grande desafio é criar os mecanismos necessários para que essa legislação seja efetivamente cumprida e, para isso, é fundamental a existência de uma estrutura fiscalizadora eficiente e integrada entre os diversos órgãos das esferas federal, estaduais e municipais. No que se refere a programas e projetos específicos para gestão integrada da zona costeira e marinha, o Brasil dispõe do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), criado pela Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988, e regulamentado pelo Decreto n. 5.300, de 7 de dezembro de 2004, coordenado em nível nacional pelo Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA). Esse programa vem realizando inúmeras ações voltadas para o ordenamento de usos e ocupação, com o apoio de zoneamentos, diagnósticos, monitoramentos e projetos intersetoriais de gestão em áreas costeiras.

BIBLIOGRAFIA

- BINDOFF, N. L.; WILLEBRAND, J.; ARTALE, V.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J.; GULEV, S.; HANAWA, K.; LE QUÉRÉ, C.; LEVITUS, S.; NOJIRI, Y.; SHUM, C.K.; TALLEY, L. D.; UNNIKRISSNAN, A. Observations: oceanic climate change and sea level. In: SOLOMON, S., D. QIN; M. MANNING; Z. CHEN; M. MARQUIS; K.B. AVERYT; M. TIGNOR; MILLER, H. L. (Eds.). *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- BRANDÃO, R. L.; CAVALCANTE, I. N.; SOUZA, M. J. N. *Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da região metropolitana de Fortaleza*: informações básicas para gestão territorial. Rio de Janeiro: CPRM/SGB/ Departamento de Gestão Territorial. 1995, 105 p.
- COASTAL PROCESSES AND SHORELINE EROSION. Disponível em: <<http://lighthouse.tamucc.edu/Waves/CoastalErosion>>. Acesso em: 13 fev. 2008.
- CORREA, I. C. S. *Analyse morphostructurale et évolution paléogéographique de la plate-forme continentale Atlantique Sud Brésilienne (Rio Grande do Sul, Brésil)*. 1990, 314 f. Thèse (Doctorat) – Universidade de Bordeaux, Bordeaux, 1990.
- COSTA, G. *Caracterização histórica, geomorfológica e hidráulica do estuário do rio Paraíba do Sul*. 1994. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.
- CRUZ, O.; COUTINHO, P. N.; DUARTE, G. M.; GOMES, A. M. B. Brazil. In: BIRD, E. C. F.; SCWARTZ, M. L. (Eds.). *The world's coastline*. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1985.
- DOMINGUEZ, J. M. L. A erosão da linha de costa na região nordeste do Brasil: uma abordagem do problema a partir da compreensão da evolução costeira. In: SIMPÓSIO SOBRE PROCESSOS SEDIMENTARES E PROBLEMAS AMBIENTAIS NA ZONA COSTEIRA NORDESTE DO BRASIL, 1., 1995, Recife. *Anais...* UFPE, 1995. p. 71-73.
- _____. *Sistema de informações geográficas para o suporte à gestão e ao monitoramento do litoral norte do estado da Bahia*. 2006. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/gerconovo/arquivos/Relat%C3%B3rio_CRA_marco2006.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2008.
- _____; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 11, p. 227-236, 1981.
- _____; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20, p. 208-215, 1990.
- GIANNINI, P. C. F.; ASSINE, M. L.; BARBOSA, L. M.; BARRETO, A. M. F.; CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; MARTINHO, C. T.; PEULVAST, J. P.; SAWAKUCHI, A. O.; TOMAZELLI, L. J. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 235-257.
- GONÇALVES, R. A. Sobre o transporte eólico de areia nos lençóis maranhenses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 262.
- MAIA, L. P. 1998. *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil)*: implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. 1998. 269 f. Tesis (Doctorado) – Universidad de Barcelona, Barcelona, 1998.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Quaternary evolution of the central part of the Brazilian coast: the role of the relative sea-level variation and of shoeline drift. In: *UNESCO Reports in Marine Science: Quaternary coastal geology of Western Africa and South America*, v. 43, p. 97-145, 1987.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; THIERS, P. R. L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. *GEOUSP*, v. 20, p. 101-119, 2006.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 253-308.

_____. (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, 2006.

_____. A erosão costeira no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2., 2007, Santos. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/2si-braden/apresentacoes/1112dietermuehe.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2008.

_____; LIMA, C. F.; BARROS, F. M. L. Rio de Janeiro. In: MUEHE, D. (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, 2006. p. 265-296.

SILVEIRA, J. D. 1964. Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (Ed.). *Brasil: a terra e o homem*. São Paulo: Nacional, 1964. v. 1, p. 253-305.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ESTEVES, L. S.; VITAL, H.; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 130-152.

SUGUIO, K. *Geologia do quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)*. São Paulo: Paulo's, 1999. 366 p.

_____; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, p. 273-286, 1985.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; HORN, N. O.; BACHI, F. A.; DEHNHARDT, B. A. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: RABASSA, J. (Ed.). *Quaternary of South America and antarctic peninsula*. Rotterdam: A.A. Balkema, v. 4, p. 79-97, 1986.

_____; LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R. J.; DILLENBURG, S. R. 2005. Geologia e geomorfologia em regiões costeiras. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 94-113.



RICARDO DE LIMA BRANDÃO

Graduado em Geologia (1978) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Trabalhou em projetos de Mapeamento Geológico na Região Amazônica nos períodos de 1978-1981 e 1986-1990, pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). Entre esses dois períodos, exerceu função de supervisão e acompanhamento de projetos na área de Metalogenia e Geologia Econômica, no Escritório Rio de Janeiro da CPRM/SGB (1981-1986). Desde 1990, está lotado na Residência de Fortaleza da CPRM/SGB, onde vem desenvolvendo trabalhos relativos aos temas Geologia Ambiental e Recursos Hídricos Subterrâneos, com ênfase em processos geológicos e problemas ambientais em regiões costeiras.

7

RIQUEZAS MINERAIS

PANORAMA GERAL

Vitório Orlandi Filho¹ (*vtorioorlandi@gmail.com*)

Valter José Marques¹ (*vmarques@be.cprm.gov.br*)

PETRÓLEO E GÁS

Magda M. R. Chambriard² (*magda@anp.gov.br*)

Kátia da Silva Duarte² (*kduarte@anp.gov.br*)

Glória M. dos S. Marins² (*gloria.marins@ogx.com.br*)

Cintia Itokazu Coutinho² (*ccoutinho@anp.gov.br*)

Luciene Ferreira Pedrosa² (*lpedrosa@anp.gov.br*)

Marianna Vieira Marques Vargas² (*mvargas.ciee@anp.gov.br*)

CARVÃO MINERAL

Aramis J. Pereira Gomes¹ (*arampergo@yahoo.com.br*)

Vitório Orlandi Filho¹ (*vtorioorlandi@gmail.com*)

URÂNIO

Paulo Roberto Cruz³ (*pcruz@cnem.gov.br*)

¹CPRM – Serviço Geológico do Brasil

²ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

³CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

SUMÁRIO

Panorama Geral	100
Petróleo e Gás	110
Carvão Mineral	115
Urânio	118
Bibliografia	119

■ PANORAMA GERAL

Por suas dimensões continentais e diversificada geologia, o Brasil se constitui em um país com enorme vocação mineral e um grande produtor de insumos básicos provenientes da mineração. Atualmente, figura no cenário internacional ao lado de países com tradicional vocação mineira, tais como Canadá, Austrália, África do Sul e Estados Unidos.

A produção mineral brasileira tem sido crescente nas últimas décadas, devendo-se esse fato, pelo menos parcialmente, a significativos investimentos realizados por empresas de mineração em prospecção mineral, aliado ao esforço realizado pelos governos federal e estaduais na execução de extensos programas de levantamentos geológicos sistemáticos levados a efeito, principalmente, nas décadas de 1960 e 1970, e retomados nas décadas de 1980, 1990 e 2000, pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), juntamente com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e universidades. Os programas mais recentes de levantamento geológico contam com o apoio de levantamentos geofísicos e geoquímicos, o que os tornam mais completos e efetivos no mapeamento e prospecção dos recursos minerais do território nacional.

Desse esforço conjunto – governo e iniciativa privada – resultaram as descobertas de jazidas de minérios metálicos e não-metálicos, gemas, minerais energéticos. Muitas dessas jazidas estão em pleno processo de exploração, gerando riqueza para o país.

Como consequência, a produção mineral do país tem crescido sistematicamente nos últimos anos, atingindo, em 2005, o total de R\$85 bilhões, o que corresponde a algo em torno de 5% do Produto Interno Bruto (PIB), demonstrando o crescimento alcançado pelo setor mineral brasileiro.

Os bens minerais se constituem em um dos grandes patrimônios não-renováveis da geodiversidade, sendo um importante fator no desenvolvimento sustentável e na melhoria da qualidade de vida dos brasileiros. A indústria extrativa é uma das mais importantes fontes de emprego e desenvolvimento regional, já que as jazidas, na maioria das vezes, situam-se em regiões isoladas, carentes de investimentos econômico-sociais. Assim, a ampla distribuição dos recursos minerais no território nacional ajuda a manter a mão-de-obra no interior do país, evitando sua emigração para os grandes centros urbanos, já altamente habitados e com sérios problemas socioambientais (Figura 7.1).

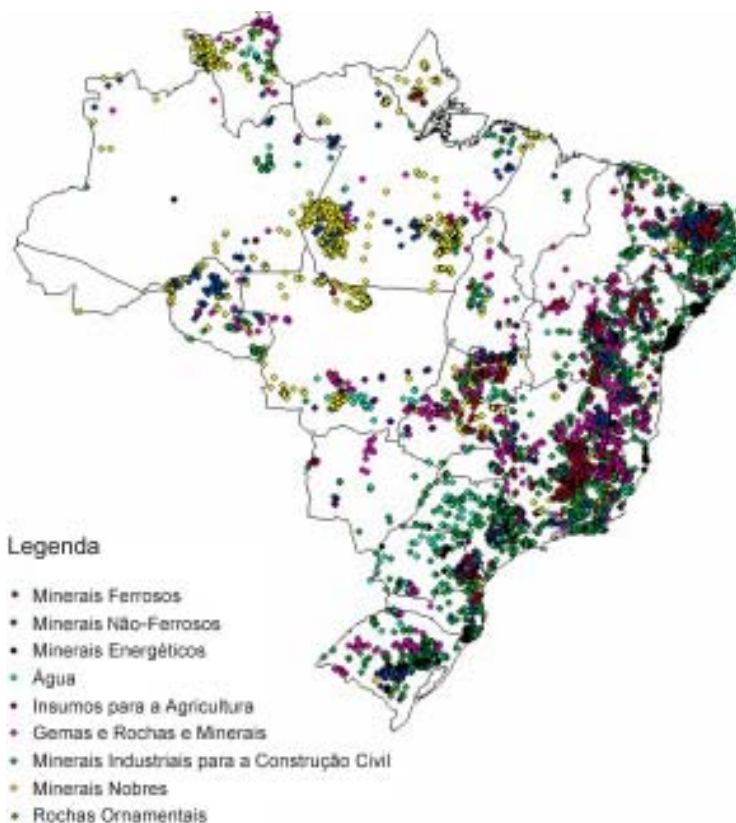


Figura 7.1 – Distribuição espacial dos recursos minerais.
Fonte: CPRM/GEOBANK.

A distribuição dos recursos minerais é função da vocação metalogenética dos elementos crustais que formam as províncias geológicas do Brasil, sendo responsável pela grande diversidade mineral desses recursos e por sua ampla distribuição geográfica (Figuras 7.2 a 7.9).

Dessa maneira, a atividade mineira se constitui em um importante fator de desenvolvimento em níveis nacional, regional e local, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país. A crescente produção mineral do Brasil, motivada pelo aumento de preço e da demanda de países emergentes como China e Índia, tem permitido um significativo crescimento do setor mineral, antevendo-se uma boa perspectiva para o setor no curto e médio prazo. A atual crise imobiliária e financeira nos Estados Unidos, com reflexos em outros setores da economia e sobre a própria economia mundial, vem modificando gradativamente esse cenário.

Entretanto, contrapondo-se a esse cenário otimista de demanda por insumos minerais, constata-se que, nos últimos anos, muitas áreas potencialmente favoráveis à existência de jazidas minerais foram ou estão sendo objeto de implantação de unidades de conservação, inibindo de maneira preocupante a atual e futura atividade mineira, tão necessária ao desenvolvimento do país. Esse conflito de uso e ocupação do solo é extremamente acentuado na região Norte do Brasil, onde concentrações minerais importantes estão situadas em unidades de conserva-



Figura 7.2 – Distribuição espacial: água mineral e potável (azul); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.



Figura 7.3 – Distribuição espacial: gemas e pedras preciosas (verde); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.



Figura 7.4 – Distribuição espacial: insumos para a agricultura (vermelho); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.

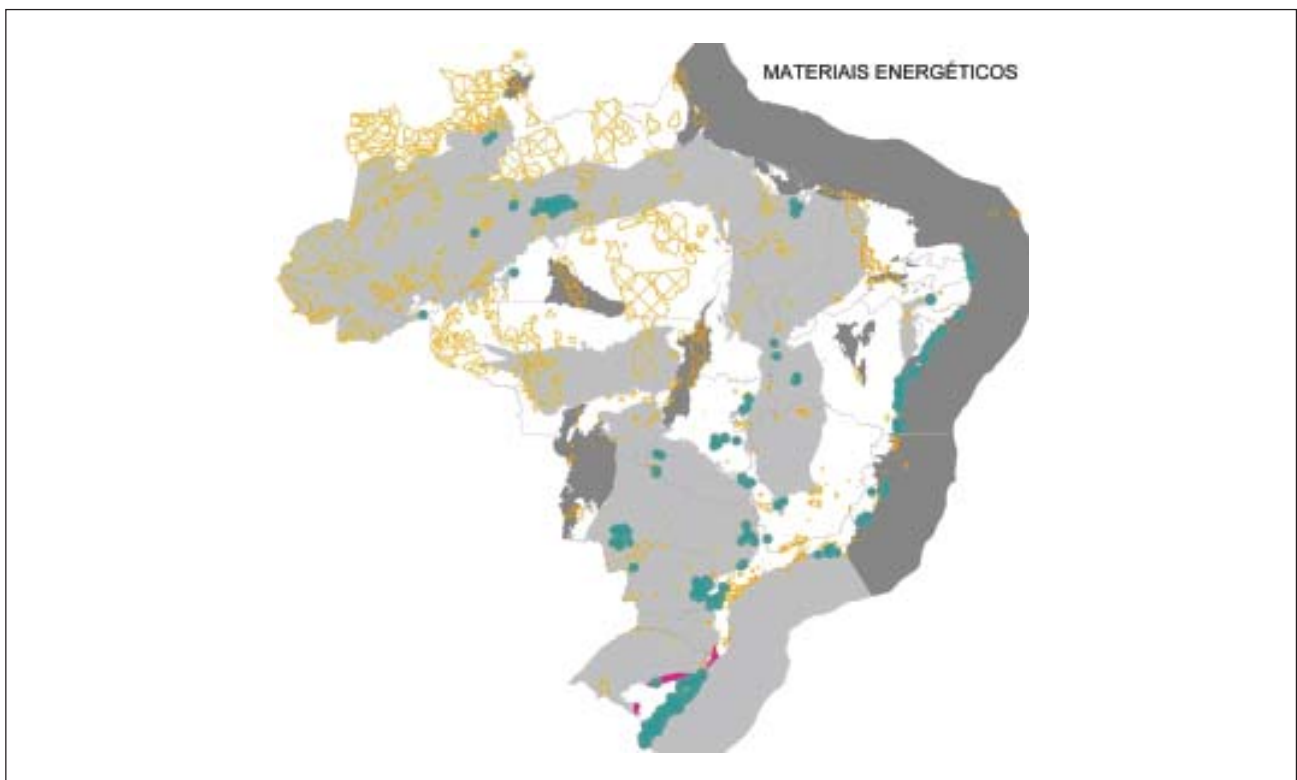


Figura 7.5 – Distribuição espacial: materiais energéticos (verde: turfa / rosa: carvão mineral / cinza-claro e escuro: áreas potenciais para petróleo e gás); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).

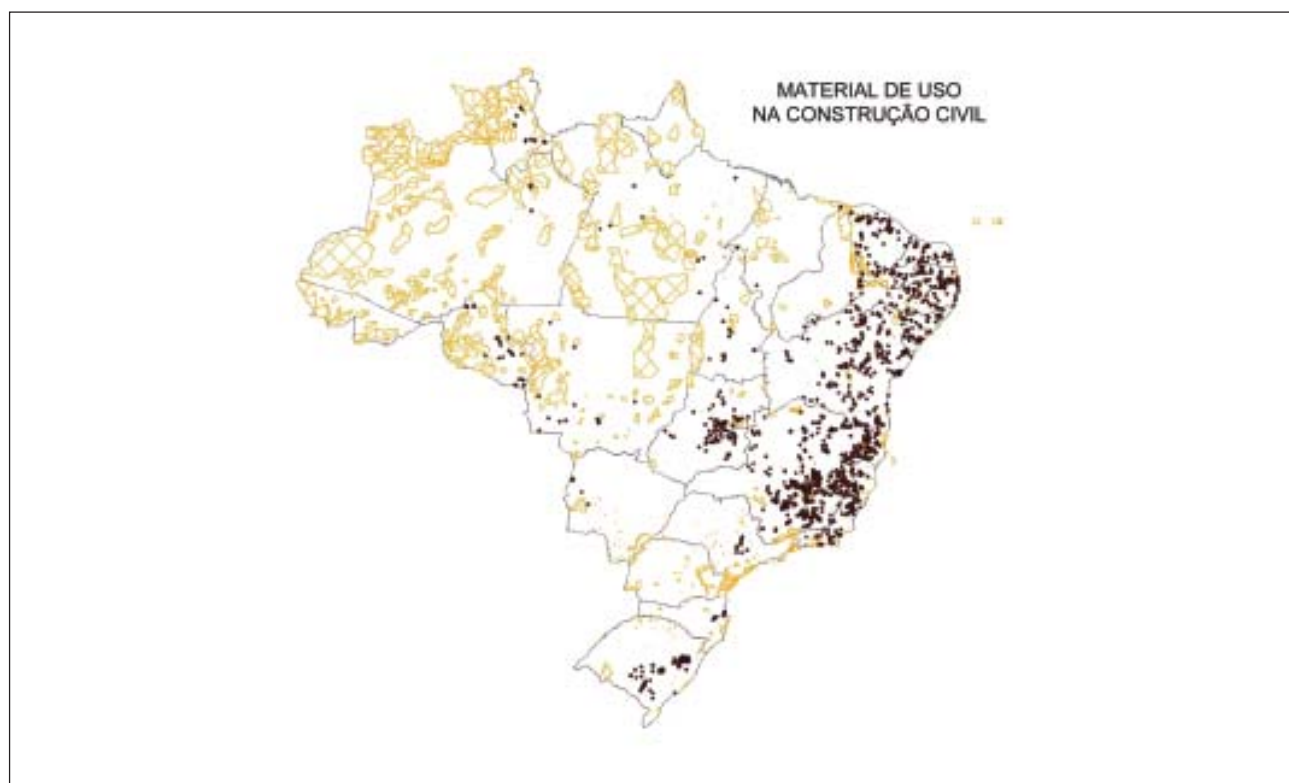


Figura 7.6 – Distribuição espacial: material de uso na construção civil (preto); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.



Figura 7.7 – Distribuição espacial: minerais industriais não-metálicos (azul); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.



Figura 7.8 – Distribuição espacial: minerais metálicos (verde); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.



Figura 7.9 – Distribuição espacial: rochas ornamentais (rosa); áreas protegidas e especiais (trama cor laranja).
Fonte: CPRM/GEOBANK.

ção e terras indígenas, em proporções cada vez maiores (Figura 7.10).

Assim, em nome da preservação da biodiversidade – que julgamos necessária –, importantes riquezas minerais tornar-se-ão intocáveis em grandes áreas do nosso território. Portanto, torna-se imperiosa uma melhor reflexão, se considerarmos que, atualmente, utilizando-se modernas técnicas, é perfeitamente possível a exploração mineral, sem degradação ambiental sensível, ou até mesmo, sem nenhuma degradação em diversos casos.

Muitas dessas unidades de conservação foram demarcadas sem mesmo serem avaliadas as potencialidades minerais da área. A realização de levantamentos geológicos, incluindo prospecção geofísica e geoquímica, poderia avaliar a existência ou não de depósitos minerais na área e estabelecer seu grau de importância estratégica para o país, evitando-se, dessa maneira, o estabelecimento de conflitos de interesses de uso e ocupação do solo, sem as devidas avaliações de custo/benefício.

Por outro lado, é importante que se ressalte que os bens minerais, quando extraídos da natureza com tecnologia adequada, transformam-se em riquezas sem degradar o meio físico. Normalmente, atribui-se à atividade mineral um papel poluidor de grandes dimensões, embo-

ra seja reconhecido que a degradação extrema (retirada da vegetação ou mudança da paisagem, por exemplo), quando inevitável, normalmente é pontual. Felizmente, nos últimos anos, com a crescente divulgação na mídia dos cuidados que as empresas de mineração estão tendo com o meio ambiente, essa imagem negativa da atividade mineira vem diminuindo.

Atualmente, no Brasil, cerca de 80% das empresas de mineração de grande porte e 37% das de médio porte possuem a ISO 14.000, relativa à certificação ambiental de seus processos de extração de minérios. Todas as mineradoras de grande porte têm implantado o Sistema de Gestão Ambiental (SGA); as de médio porte, cerca de 75% (IN MINE, 2007).

Além da grande potencialidade mineral do território continental do Brasil, recentemente, estudos geológicos realizados na plataforma marinha, também conhecida como Amazônia Azul, revelaram que, além das enormes reservas de petróleo ali existentes, a plataforma contém animadores indícios de depósitos de fosforitas, diamante, calcário e ouro, entre outros bens minerais já identificados pelas pesquisas. Os recursos minerais dessa parte do território brasileiro transformam, dessa forma, essa região de uso econômico exclusivo em uma nova fronteira mineral para o país.

A produção mineral brasileira, que contempla, atualmente, mais de uma centena de substâncias, permite a auto-suficiência do país na maioria dos produtos minerais e gera significativos excedentes. O Brasil destaca-se como o maior exportador de minério de ferro e ligas de nióbio, situando-se entre os grandes produtores de petróleo, caulim, tantalita, bauxita, grafita, amianto, cassiterita, magnesita, vermiculita, rochas ornamentais, talco, rocha fosfática e ouro. Como a maioria dos países, o Brasil ainda depende da importação de alguns produtos minerais, necessários a seu desenvolvimento socioeconômico. Essa dependência externa ainda existe no que se refere à importação de petróleo bruto leve, carvão metalúrgico, fosfato, potássio e matérias-primas para a metalurgia de metais não-ferrosos (especialmente zinco).

Segundo o “Anuário Mineral Brasileiro” (DNPM, 2006):

“As exportações de bens primários em 2005 totalizaram US\$ 13,1 bilhões (FOB), representando expressivo crescimento de 11% em relação a 2004. O minério de ferro, mais expressivo, representou 55% do total da pauta, alcançando US\$ 7,2 bilhões, com acréscimo de 55% no valor. A principal *commodity* na pauta do ferro foi minério de ferro não aglomerado e seus concentrados (NCM 2601 1100), com vendas de US\$ 4,43 bilhões

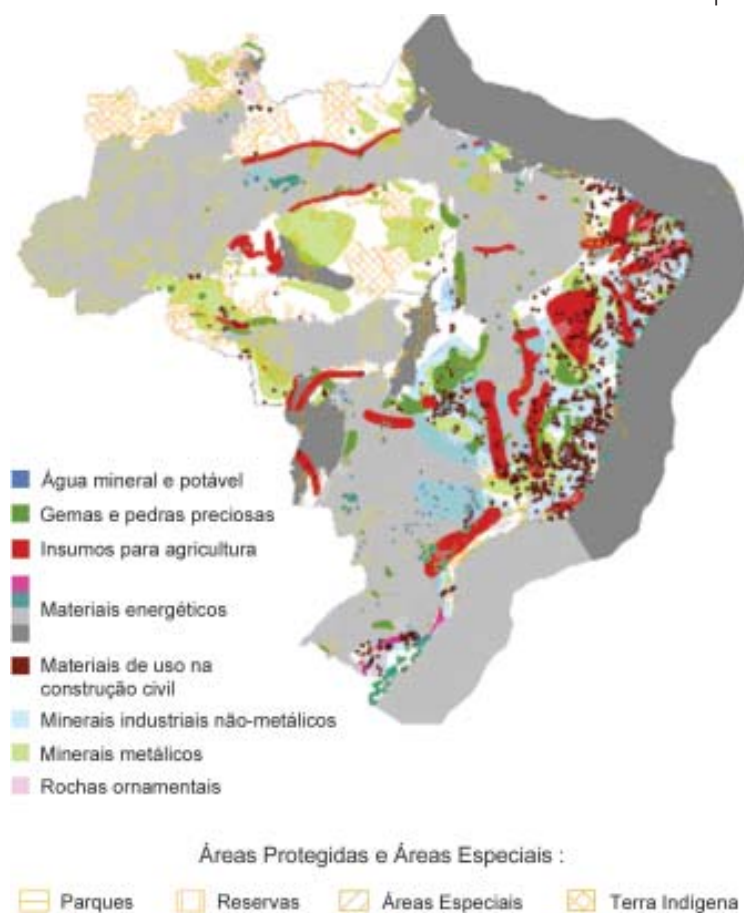


Figura 7.10 – Áreas de relevante interesse mineral, áreas protegidas e áreas especiais.

FOB, 45% superiores a 2004 (US\$ 3,04 bilhões FOB). Vale destacar as exportações de cobre (US\$ 303 milhões FOB) e alumínio (US\$ 229 milhões FOB), apontando acréscimos da ordem de 77% e 21%, respectivamente. Dentre as 4 (quatro) categorias que compõem a pauta de exportações do Setor Mineral Brasileiro, a de produtos primários foi a que apresentou crescimento mais expressivo em 2005, registrando US\$ 13,1 bilhões FOB, evoluindo 57% (US\$ 8,3 bilhões FOB) em 2004”.

A *commodity* minério de ferro não-aglomerados e seus concentrados (NCM 26011100) continua sendo o principal produto comercializado na pauta de exportações do setor mineral brasileiro, cujo fluxo prevalente de comércio em 2005 obedeceu à seguinte proporção: EUA (US\$6,709 bilhões), China (US\$3,132 bilhões), Japão (US\$1,545 bilhão), Argentina (US\$1,534 bilhão), Bahamas (US\$1,482 bilhão), Alemanha (US\$1,223 bilhão), Coreia do Sul (US\$1,157 bilhão) e Holanda (US\$873 milhões).

Por outro ângulo, a balança comercial do setor mineral brasileiro registrou saldos deficitários, em 2005, com: Argélia (US\$2,792 bilhões), Nigéria (US\$2,234 bilhões), Arábia Saudita (US\$1,104 bilhão), Bolívia (US\$876 milhões), Rússia (US\$642 milhões), Iraque (US\$522 milhões) e Chile (US\$461 milhões). Nesse ano, o somatório dos déficits comerciais do Brasil atingiu US\$11,22 bilhões.

A propósito, a principal *commodity* comercializada na pauta de importações brasileiras em 2005 foi o petróleo (NCM 27090010), originado da Nigéria (US\$4,4 bilhão; 41% do total), Argélia (US\$2,57 bilhões; 24%), Arábia Saudita (US\$1,82 bilhões; 17%), Iraque (US\$857 milhões; 8,0%) e Argentina (US\$214 milhões; 2%).

Os Estados Unidos (inclusive Porto Rico), principal parceiro comercial do Brasil em 2005, movimentaram um fluxo de transações comerciais de US\$8,774 bilhões.

As exportações do setor mineral brasileiro registraram US\$31,6 bilhões (FOB) em 2005, com acréscimo de 34,4% em relação a 2004. A composição da pauta de exportações do setor, em 2005, teve como principal categoria os bens primários, representando 42%, seguida pelos manufaturados, 31%, semimanufaturados, 25%, e compostos químicos, 2%.

Em recente entrevista realizada durante o III Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, ocorrido em maio de 2008, na cidade de Ouro Preto (MG), o ministro de Minas e Energia destacou a importância do setor mineral no desenvolvimento do país. Segundo o ministro, os dados do comércio internacional de 2007 mostram que a mineração – incluindo o petróleo e gás – e a primeira transformação mineral – siderurgia, metalurgia dos não-ferrosos e não-metálicos – responderam por 21% das exportações e 43% do saldo comercial brasileiro. A participação do setor mineral no PIB nacional, segundo a mesma fonte, ficou entre 4 a 5%. Na mesma ocasião, o ministro informou que em 2008 estão destinados R\$565 milhões para a realização de levantamentos geológico-geofísicos, em todo o país, com ênfase para a Amazônia (CPRM, 2008).

Por meio de análise ambiental estratégica, com base no encarte “Áreas de Relevante Interesse Mineral, Áreas Protegidas e Áreas Especiais”, contido no “Mapa Geodiversidade do Brasil” (CPRM, 2006), buscou-se apresentar, de forma sintética, um conjunto de informações capazes de traduzir a dimensão ecológico-econômica e social das atividades mineiras, bem como o potencial geológico do país.

Destarte, foram analisados os capitais econômico e humano envolvidos nas atividades setoriais, ao que se compararam os impactos ambientais, para, finalmente, sumariar-se uma visão estratégica que inclui as relações custo/benefício e a essencialidade dos recursos minerais para o desenvolvimento e a segurança nacional (Quadro 7.1).

Ressalta-se, por exemplo, que as atividades minerárias de uma série de insumos, sobretudo os materiais para a construção civil, são tanto mais abundantes quanto mais populosas forem as regiões do país. Destaca-se, também, a má distribuição de alguns recursos essenciais para o desenvolvimento econômico, como é o caso dos calcários para corretivos de solos, raros ou até mesmo inexistentes em algumas unidades da Federação, como é o caso do estado de Roraima, onde o preço dessa matéria-prima da agricultura exerce importante papel no desempenho do agronegócio.

No que respeita aos impactos ambientais decorrentes da mineração, devem-se pinçar algumas constatações provenientes da experiência adquirida ao longo de décadas. A primeira é que a mineração organizada causa menos impactos nocivos e é muito mais facilmente controlada pelo poder público. Por outro lado, o extrativismo mineral realizado de maneira informal, sem planejamento e controle, constitui-se em fonte de grandes passivos ambientais. Seu controle é muito problemático, sobretudo porque envolve parcelas da população que, privadas dessa fonte de sustento, vêem-se marginalizadas e excluídas de qualquer fonte de renda.

Uma outra questão candente diz respeito à mineração em áreas urbanas, que, sendo realizada, de modo geral, sem adequado planejamento e inserção em planos-diretores municipais, vem gerando imensos conflitos quanto ao uso da terra, além de múltiplos impactos ambientais. Tratando-se de uma atividade que, comumente, causa impactos nas áreas de preservação permanente, é imperioso que se promovam o aperfeiçoamento dos métodos de lavra e a reutilização dos espaços minerados.

Com vistas ao desenvolvimento social e econômico, faz-se necessário reservar (ordenamento geomineiro) áreas com potencial mineral no entorno das regiões urbanas, objetivando o barateamento da habitação, pois o transporte desses materiais é determinante no preço final dos principais insumos para a construção civil (areia, brita e argila).

A análise estratégica também aponta no sentido de que o país poderia melhor aproveitar seu potencial em pedras ornamentais e água mineral, propiciando expressivos recursos (divisas) decorrentes da exportação dessas

Quadro 7.1 – Avaliação estratégica

	Substância	Capital econômico (US\$ bilhões)	Capital humano	Impactos ambientais	Custo/benefício/essencialidade
Insumos para a agricultura	Calcários, dolomitos, margas, fosfatos, potássio, salitre e turfas	Importações: 2,3 Exportações: 0,48	17.000 empregos nas minas e usinas	Lavra normalmente a céu aberto, com impactos restritos às cavas. Desmatamento e patrimônio espeleológico são formas comuns de impacto.	Embora o país tenha grandes reservas globais, elas estão mal distribuídas e, em alguns casos, como em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, as reservas são críticas. Abundantes no Centro-Oeste e no Nordeste, são raros na Amazônia, comprometendo os custos das atividades agrícolas e dos materiais de construção. Em algumas situações, como no SW de Goiás, Rondônia, Piauí e Maranhão, os depósitos de calcários dolomíticos, embora pequenos, ocupam localização estratégica com relação aos pólos de grãos.
Materiais energéticos	Carvão turfa	Importações: 1,52 Exportações: 0,04	4.600 empregos nas minas e usinas	Os principais impactos são a contaminação das águas subterrâneas e superficiais provenientes de depósitos de rejeitos.	O carvão representa atividade tradicional no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, onde faz parte da paisagem social, além de constituir-se em fonte energética alternativa. A exploração de turfa é incipiente no país, embora exista um potencial geológico interessante na Amazônia. Atividades mineiras com tradição de alto impacto ambiental demandam investimentos em tecnologias para mineração, beneficiamento, transporte e queima.
	Gás e óleo leve	Participações Governamentais: 5,91	58.170 empregados na extração de petróleo e serviços relacionados, e fabricação de produtos derivados do petróleo	Importantes impactos sociais pelo aumento da riqueza. Riscos de acidentes, com grande impacto sobre as águas, fauna e flora associadas.	Reservas em franco crescimento. Alto valor estratégico para o desenvolvimento econômico e a segurança nacional. No caso do gás, importante como fonte de energia favorável ao meio ambiente urbano. Importante para a indústria naval, a indústria petrolífera alimenta uma grande cadeia de manufatura de componentes e serviços.
	Óleo				
Gemas e pedras preciosas	Diamante, esmeralda, ametista, cristal de rocha, turmalina, topázio, água marinha, ágata, alexandrita, opala, crisoberilo, heliodoro	Importações: 0,01 Exportações: 0,13	1.350 empregos nas minas e usinas	Impacto restrito às cavas e drenagens adjacentes. Outras formas de impacto dependem do processo utilizado na lavra.	Jazimentos raros, de altíssimo valor econômico agregado por unidade/volume e base de uma diversificada cadeia de produtos (jóias) e artesanatos. Base para APLs. A lavra, através de extrativismo, além de complementar a renda em regiões com economia deprimida, emprega mão-de-obra, que, de outra forma, viveria na marginalidade, ou depredando recursos da biodiversidade. É estratégico delimitar e preservar áreas potenciais para futuras explorações.

Quadro 7.1 – Avaliação estratégica (continuação)

	Substância	Capital econômico (US\$ bilhões)	Capital humano	Impactos ambientais	Custo/benefício/essencialidade
Minerais metálicos	Ouro, ferro, cobre, cromo, chumbo, zinco, níquel, manganês, estanho, titânio, nióbio, terras-raras, elementos do grupo da platina	Importações: 3,38 Exportações: 16,95	38.500 empregos nas minas e usinas	Impacto restrito às cavas e barragens de rejeitos. Outras formas de impacto dependem dos cuidados nos processos na lavra e beneficiamento e principalmente relacionados a rejeitos ricos em arsênio.	Jazimentos raros, de alto valor econômico e base de cadeia produtiva baseada em metalurgia e produtos industriais – base do parque industrial brasileiro. No caso do ouro, quando lavrado através do extrativismo (garimpagem), emprega grandes quantidades de mão-de-obra, que, de outra forma, viveriam na marginalidade, ou depredando recursos da biodiversidade. Os grandes distritos mineiros atraem enormes contingentes que vêm a constituir periferias com baixa qualidade de vida, em contraste com a área do empreendimento; esse efeito indesejável requer uma reflexão sobre as políticas empresariais, públicas e a destinação dos impostos.
Minerais industriais não-metálicos	Vermiculita, quartzo hialino (cristal de rocha), potássio, salgema, feldspato, talco, caulim, barita, argila	Importações: 3,44 Exportações: 2,65	7.000 empregos nas minas e usinas	Impacto reduzido sobretudo às cavas ou barragens de rejeitos. Outras formas de impacto dependem dos cuidados nos processos utilizados na lavra e beneficiamento.	Jazimentos irregularmente distribuídos pelo território nacional, servindo de base para diversificadas cadeias produtivas. A não produção, no país, traria severas consequências na balança de pagamentos e implicaria dependência de territórios e políticas estrangeiras. É estratégico delimitar e preservar áreas potenciais para futuras explorações.
Água mineral e potável	Água mineral, água potável de mesa	Mercado nacional: Águas potáveis: 0,25 Águas minerais: 0,2	11.400 empregos nas minas e usinas	Impactos reduzidos sobre todos os aspectos pela própria natureza do produto, que requer conservação ambiental.	O mercado interno para águas minerais e potáveis é pequeno e as exportações são insignificantes. A produção está muito aquém das potencialidades geológicas do território nacional; dado o crescimento da demanda, pode-se prognosticar um expressivo crescimento da produção nacional nos próximos anos.
Rochas ornamentais	Granitos, mármore, sienitos, quartzitos, gabros, quartzomonzonitos	Importações: 0,017 Exportações: 0,59	10.000 empregos nas minas e usinas	Impacto reduzido, restrito às cavas e seu entorno (poluição sonora e do ar). Nos casos em que a atividade se faz de maneira desordenada, o impacto sobre as paisagens pode ser grande.	É um setor que vem crescendo a taxas elevadas nas últimas décadas, capaz de gerar empregos, requerendo recursos moderados em termos de tecnologia de lavra e beneficiamento, infraestrutura e demanda de capital social. Esforços no sentido de aumentar o beneficiamento no país podem resultar em grande aumento do valor da produção exportada e na criação interna de milhares de empregos baseados em mão-de-obra facilmente qualificável.

Quadro 7.1 – Avaliação estratégica (continuação)

	Substância	Capital econômico (US\$ bilhões)	Capital humano	Impactos ambientais	Custo/benefício/essencialidade
Materiais de uso na construção civil	Caulim, feldspato, flúor, grafita, muscovita, vermiculita, talco, barita, areia industrial, quartzo, cianita, silimanita, bentonita, asbesto, calcita, salgema, granada, andaluzita, diatomito	Importações: 0,11 Exportações: 0,70	65.600 empregos nas minas e usinas	Destruição das matas ciliares, turbidez, contaminação do lençol freático, degradação da paisagem, conflitos com outros usos, poluição sonora, emissão de particulados e acidentes rodoviários devido ao transporte pesado.	Os materiais de construção são bens essenciais para o desenvolvimento econômico e social. Sua exploração econômica requer transporte a pequenas distâncias, de forma a baratear os custos das moradias e obras civis. Em muitos casos, as atividades se ressentem de estudos de alternativas e disciplinamento que devem estar incorporados aos planos-diretores municipais. É, portanto, essencial que se destinem áreas para mineração urbana e se planeje a reutilização do solo, no pós-lavra; entre outros cuidados, deve-se coibir o uso da madeira como combustível.

commodities, cada vez mais valorizadas pelos mercados nacionais e internacionais.

Um outro aspecto relaciona-se à necessidade de planejamento territorial integrado, por exemplo, com respeito à infra-estrutura, evitando-se custos desnecessários para viabilizar depósitos minerais que, às vezes, são marginalizados e se tornam antieconômicos, o que é sobremaneira grave, principalmente em regiões economicamente deprimidas, carentes de bases para arranjos produtivos.

Com respeito aos recursos minerais existentes na Amazônia, além dos já conhecidos “mamutes geológicos” e a grande probabilidade para que se encontrem outros, pode-se prognosticar o grau de importância dos insumos para agricultura, calcários dolomíticos e sal-gema, que, não somente são raros, como mal distribuídos, requerendo-se um cuidadoso planejamento de forma a evitar o engessamento de áreas de relevante interesse para esses minerais, tornando indisponíveis matérias-primas cruciais para a sustentabilidade social e econômica e, por consequência, ecológica, de toda a região.

Dentro dessa visão, os recursos minerais devem ser considerados como parte da infra-estrutura territorial, salien-

do-se, ainda mais, a sua rigidez locacional, diferentemente de infra-estrutura logística como estradas, redes de energia, oleodutos, gasodutos etc., essenciais para o desenvolvimento econômico-social.

Aliás, é justamente na Amazônia que despontam os principais conflitos de uso e ocupação, haja vista a construção de uma dualidade extremada entre conservação e exploração dos recursos naturais, fruto da falta de visão de que o desenvolvimento humano e ambiental (natural) são indissociáveis.

Um dos principais óbices à tomada de decisões, no momento, é a falta de conhecimento científico sobre o território, sobre a sua composição e funcionamento dos geossistemas, de sorte que se possam embasar decisões seguras, passíveis de serem consensuadas.

Finalmente, com respeito à exploração de petróleo e gás, salienta-se a importância desses recursos para a economia e a segurança nacional, não somente para a geração de energia, em diversas formas, como pelo papel que desempenham de impulsão de diversos setores industriais, com destaque para a petroquímica, naturalmente, para a indústria naval, além dos setores de apoio.

■ PETRÓLEO E GÁS

No Brasil, a exploração das bacias sedimentares iniciou-se em terra. A primeira bacia sedimentar onde se descobriu uma acumulação comercial de petróleo foi a do Recôncavo, na Bahia, após a descoberta do campo de Lobato, em 1939, ainda na gestão do Conselho Nacional do Petróleo (CNP).

A partir de 1953, esforços exploratórios foram realizados pela Petrobras em quase todas as bacias sedimentares brasileiras. Em terra, nas décadas de 1930 a 1960, havia grande dificuldade de acesso, o que orientou a distribuição do esforço exploratório ao longo do litoral e nas margens de rios como o Amazonas.

As descobertas realizadas no decorrer dos anos, de maior produtividade nas bacias marítimas, direcionaram os investimentos exploratórios para a plataforma continental, principalmente para a Bacia de Campos. A descoberta do campo de Garoupa, em 1974, favoreceu a opção pela exploração no mar, onde novas descobertas ocorriam à medida que se dominavam novas tecnologias: para a exploração e produção em águas cada vez mais profundas, para a produção de óleos mais pesados e para a perfuração de poços mais profundos.

Como resultado, atualmente a produção brasileira de petróleo e/ou gás natural é proveniente das bacias de Santos, Campos, Espírito Santo, Recôncavo, Tucano Sul, Sergipe-Alagoas, Ceará, Potiguar e Solimões, totalizando cerca de 1,8 milhões de barris/dia de óleo e 48,4 milhões de m³/dia de gás, sendo que a Bacia de Campos é responsável pela maior parte da produção de óleo. No entanto, a Bacia de Santos vem aumentando sua contribuição na produção brasileira de gás natural e óleo leve.

Em 1997, foi criada a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), para gerir os recursos petrolíferos da União e estudar as bacias petrolíferas brasileiras, inclusive sendo responsável por contratar a coleta de dados e informações de geologia e geofísica, visando a diminuir o risco nas áreas de fronteiras exploratórias e atrair o interesse privado para a exploração e produção de petróleo no Brasil. Dessa forma, ciente de que apenas o aumento do conhecimento aumentará a atratividade das nossas fronteiras exploratórias, o corpo técnico da ANP elaborou um plano plurianual voltado mais especificamente para o

estudo das bacias de nova fronteira, com atividades planejadas até o ano de 2012. Os estudos previstos obedecem, em geral, à seguinte seqüência de atividades: levantamentos geofísicos aéreos, levantamentos geoquímicos, levantamentos sísmicos 2D regionais, integração de dados e perfuração de poços estratigráficos.

As bacias sedimentares brasileiras, tanto em terra como em mar, apresentam relevante potencial para petróleo e gás considerando-se que condições geológicas similares no mundo proporcionam produção relevante. No entanto, a pesquisa e o conseqüente conhecimento dessas bacias se encontram em diferentes estágios, de forma que grandes extensões ainda permanecem pouco conhecidas quanto aos aspectos da geologia de petróleo (Figuras 7.11 e 7.12).

As principais bacias sedimentares brasileiras, com potencial para a prospecção de hidrocarbonetos, recobrem uma área de aproximadamente 7,5 milhões de km²; entretanto, somente nove dessas bacias são produtoras atualmente. Em termos de área, apenas cerca de 5% do total das bacias sedimentares brasileiras se encontram sob concessão para a pesquisa exploratória.

Bacias maduras, tais como Recôncavo, Sergipe-Alagoas, Espírito Santo (terra) e Potiguar, com produção e sistemas petrolíferos bem determinados, não apresentam descobertas de grande porte há mais de 10 anos. No entanto, uma vez que ainda atraem investimentos privados, não se configuram como prioridade para estudos com recursos públicos (Figura 7.13).

Bacias de elevado potencial, tais como Campos, Santos, Espírito Santo (mar) e Sergipe (águas profundas), apresentam importantes descobertas de petróleo e gás que despertam interesse e atraem investimentos privados para a pesquisa exploratória. Nessas áreas têm sido explorados horizontes cada vez mais profundos, em função do contínuo aprimoramento tecnológico (Figura 7.14).

As demais bacias são classificadas como "Novas Fronteiras", sendo que a maioria delas conta com investimentos previstos no Plano Plurianual de Geologia e Geofísica da ANP (Figuras 7.15 e 7.16).

Dados sobre as diferentes bacias sedimentares brasileiras, bem como as atividades previstas em nível de investimentos públicos e privados, foram agrupados no Quadro 7.2.

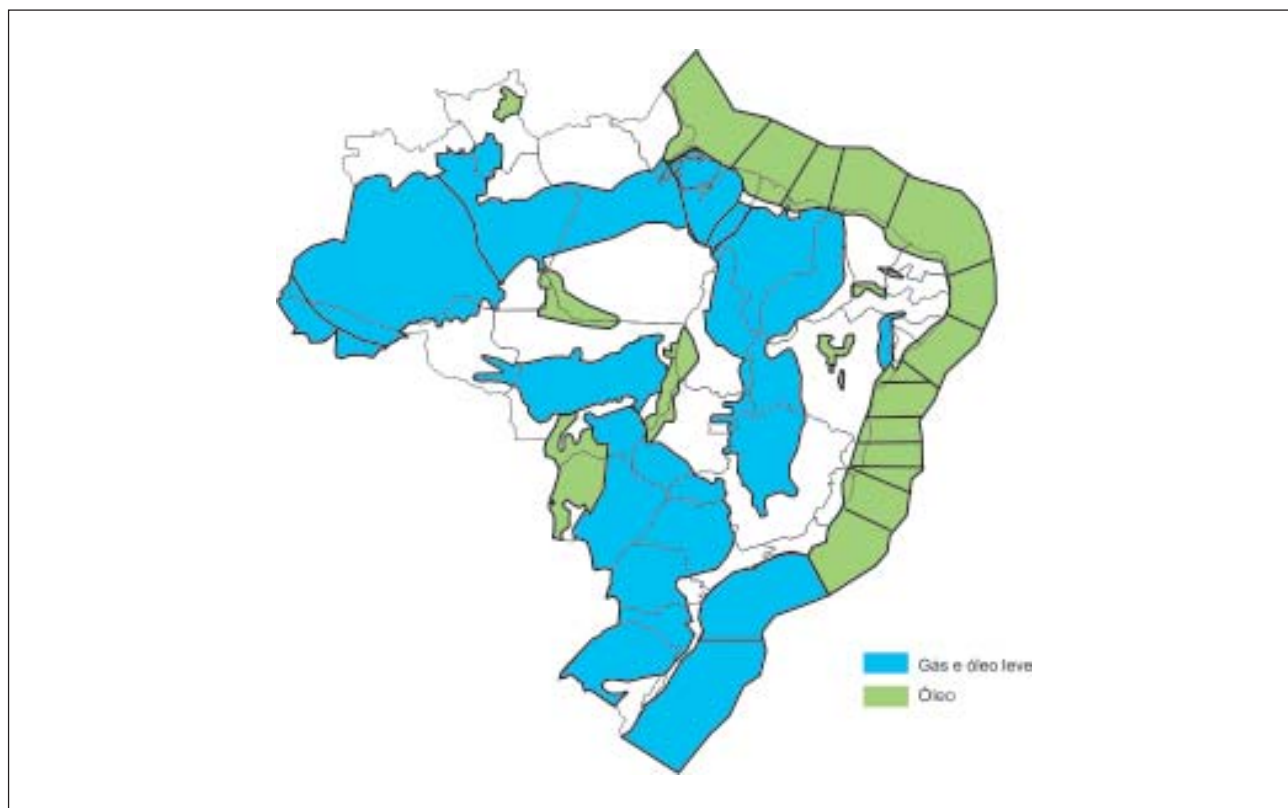


Figura 7.11 – Áreas de relevante interesse para petróleo (óleo e gás).



Figura 7.12 – Poços com indícios ou descobertas de óleo e/ou gás.

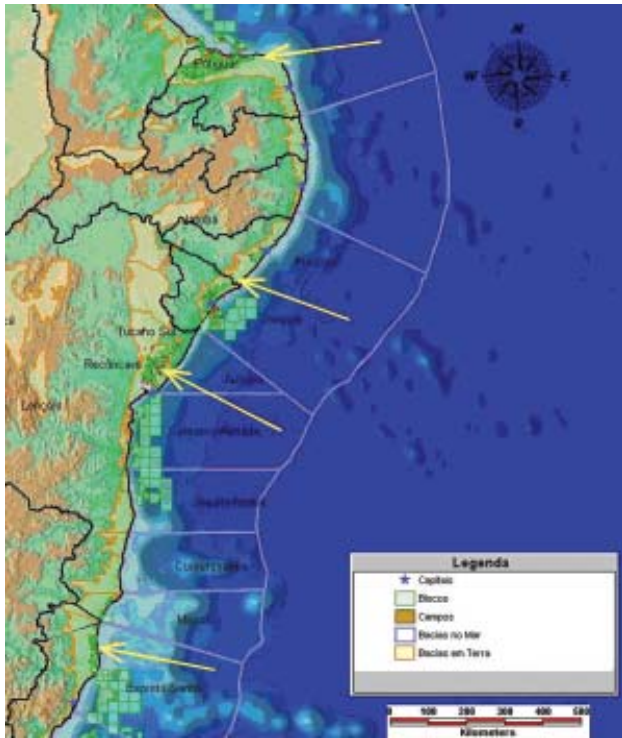


Figura 7.13 – Bacias maduras (setas amarelas).

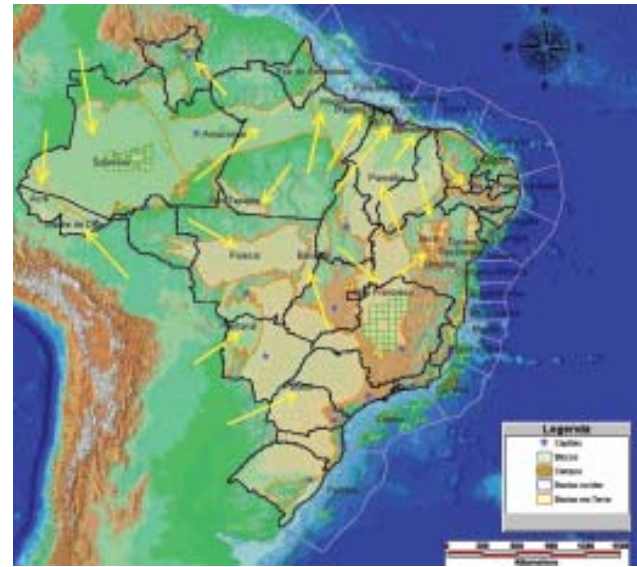


Figura 7.15 – Bacias de novas fronteiras (terra) (setas amarelas).



Figura 7.14 – Bacias de elevado potencial (setas amarelas).



Figura 7.16 – Bacias de novas fronteiras (mar) (setas amarelas).

Quadro 7.2 – Bacias sedimentares brasileiras: petróleo e gás¹

Bacia sedimentar	Classificação	Blocos em concessão	Campos	Atividade prevista
Campos	EP	33	59	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Santos	NF, EP	81	15	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Espírito Santo	NF, EP, M	44	48	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Recôncavo	M	49	81	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Sergipe-Alagoas	M	54	35	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Potiguar	M	106	70	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Pelotas	NF	6	0	Investimentos privados e públicos: conclusão de levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Jacuípe	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Mucuri e Cumuruxatiba	NF	12	0	Investimentos privados e públicos: Investigação da sensibilidade ambiental – Abrolhos.
Camamu-Almada	NF	16	4	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Jequitinhonha	NF	10	0	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Pernambuco-Paraíba	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos sísmicos 2D regionais.
Pará-Maranhão	NF	4	0	Investimentos privados e públicos: integração de dados.
Foz do Amazonas	NF	21	0	Investimentos privados e públicos: integração de dados.
Barreirinhas	NF	8	0	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.

Quadro 7.2 – Bacias sedimentares brasileiras: petróleo e gás¹

Ceará	NF	2	4	Investimentos privados inerentes às concessões e aos trabalhos das prestadoras de serviço.
Marajó	NF	0	0	Investimentos públicos: integração de dados.
Acre e Madre de Deus	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geofísicos aéreos, levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Solimões	NF	26	10	Investimentos privados e públicos: levantamentos geofísicos aéreos, levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Amazonas	NF	0	2	Investimentos públicos: conclusão de levantamentos geofísicos aéreos, levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Tacutu	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
São Luiz e Bragança-Vizeu	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Parnaíba	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Irecê e Lençóis	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geoquímicos e integração de dados.
Tucano e Jatobá	NF	0	6	Investimentos privados e públicos: levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Parecis	NF	0	0	Investimentos públicos: conclusão de levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Paraná	NF	0	1	Investimentos privados e públicos: levantamentos geofísicos aéreos, levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
Rio do Peixe	NF	0	0	Investimentos privados.
Araripe	NF	0	0	Investimentos públicos: levantamentos geoquímicos; levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.
São Francisco	NF	30	0	Investimentos privados e públicos: levantamentos sísmicos 2D regionais; integração de dados e perfuração de poço estratigráfico.

Notas: (1) Dados de 2007.

(2) NF = Nova Fronteira; EP = Elevado Potencial, M = Madura

Obs.: (i) Uma mesma bacia pode ter setores com diferentes classificações;

(ii) os campos com acumulações marginais não estão incluídos na tabela.

■ CARVÃO MINERAL

O carvão mineral já era conhecido desde os primórdios da história das civilizações. Os antigos romanos registraram que os povos da Gália já utilizavam o carvão como combustível antes de 80 a.C. e os saxões, em terras britânicas, utilizam-no juntamente com a turfa, no aquecimento e iluminação de suas habitações. Os chineses já mineravam o carvão muitos séculos antes de Cristo.

No final do século XVIII, a Revolução Industrial eclodiu na Europa e a energia proveniente do carvão permitiu a criação de inventos que impulsionaram a economia mundial. Graças a essa nova forma de energia, instalaram-se inúmeras ferrovias que alavancaram rapidamente o comércio entre os povos e permitiram o desenvolvimento econômico das nações.

No Brasil, a descoberta do carvão ocorreu em 1795 (CPRM, 2003), na localidade de Curral Alto, na Estância do Leão (município de Minas do Leão, RS), pelo soldado português Vicente Wenceslau Gomes. Já o carvão catarinense foi descoberto casualmente por tropeiros, na serra do 12 (atual serra do rio do Rastro), em 1822.

O consumo de carvão no Brasil cresceu consideravelmente durante a Primeira Guerra Mundial (1914), especialmente devido à viação férrea. No pós-guerra, o carvão foi utilizado na primeira usina térmica a carvão – Usina do Gasômetro –, que fornecia, em 1928, eletricidade para as ruas e moradias de Porto Alegre. Já a partir de 1931, decretos presidenciais obrigavam o consumo de 10 a 20% do carvão nacional nas indústrias instaladas no país. Esse fato, juntamente com a Segunda Guerra Mundial (1938-1945), proporcionou um incremento na produção nacional. Com o término do conflito, o Brasil entrou na era da siderurgia com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda (RJ), que começou a utilizar o carvão metalúrgico nacional na produção de aço.

Em 1954, foi implantado o Plano Nacional do Carvão, visando a incrementar o aproveitamento energético desse bem mineral. A partir daí, foram construídas diversas usinas termoeletricas que estão até hoje em funcionamento, tais como Candiota, Charqueadas e Butiá e São Jerônimo, todas no estado do Rio Grande do Sul.

Os chamados “choques” do petróleo ocorridos em 1973 e 1979 obrigaram o governo a voltar a implementar o uso de insumos energéticos nacionais, entre eles o carvão. Em 1980, foi criado o Programa de Mobilização Energética (PME), que mobilizou enormes recursos na pesquisa das jazidas de carvão, principalmente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Esse programa viabilizou a implantação de grandes minas mecanizadas e aumentou o consumo do carvão junto à indústria do setor de cimento.

Em 1990, com a desregulamentação da comercialização do carvão, terminou a obrigatoriedade do uso do carvão nacional pelo setor estatal e a liberação dos preços e da importação de carvão estrangeiro, o que obrigou as

indústrias a introduzirem grandes modificações em seus parques produtivos, visando a atender ao mercado e a se adaptar às novas regras do governo. O carvão metalúrgico nacional foi substituído, por meio da importação, por carvão de melhor qualidade. O carvão energético nacional continua abastecendo as usinas termoeletricas do país, que cada vez mais contribuem para a geração de energia elétrica, crescendo em participação, na matriz energética adotada pelo Brasil.

As maiores jazidas de carvão mineral situam-se no sul do Brasil. Os maiores jazimentos localizam-se no estado do Rio Grande do Sul, seguido de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Nove dessas jazidas concentram o maior volume de carvão: Sul-Catarinense (SC); Santa Terezinha, Morungava-Chico-Lomã, Charqueadas, Leão, Iruí, Capané e Candiota (RS); Figueira-Sapopema (PR) (Figura 7.17).

Em termos geológicos, o carvão encontra-se associado à Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, que ocorre na porção inferior da seqüência sedimentar da Bacia Sedimentar do Paraná. Esses depósitos de carvão foram formados há milhões de anos, no período denominado pelos geólogos de Permiano. Nesse período, desenvolveu-se na região da Bacia Sedimentar do Paraná uma extensa cobertura vegetal que, ao longo do tempo, foi perecendo e se acumulando no fundo das lagunas, pân-



Figura 7.17 – Localização das principais jazidas de carvão mineral na bacia sedimentar do Paraná (RS-SC-PR). Fonte: CPRM (2003).

tanos e nas planícies de inundação. Toda a matéria orgânica assim depositada fossilizou, formando extensos e espessos pacotes de turfa que, posteriormente, transformaram-se em carvão mineral.

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma extensa bacia (1,2 milhões de km²), formada no interior de uma placa geológica (intracratônica), o que propiciou a deposição lenta e contínua de camadas sedimentares, sem dobramentos importantes. Sua conformação atual se deve a falhamentos e erosão ao longo de milhões de anos. A lenta subsidência apresentada ao longo da evolução da bacia propiciou a deposição de carvão com alternância de outros materiais, como areia e lama, formando conjuntos sedimentares heterogêneos, tanto na vertical como na horizontal. O carvão assim formado é constituído por matéria orgânica vegetal e substâncias minerais (silte e argila). A matéria vegetal é decomposta e carbonificada sob ação de temperatura e pressão por milhares de anos, dando origem à matéria carbonosa. As reservas de carvão somam 32 bilhões de toneladas (CPRM, 2003) (Tabela 7.1).

Cerca de 90% das reservas do carvão nacional situa-se no estado do Rio Grande do Sul e é representado por carvão vapor, isto é, carvão que, por suas características energéticas, é utilizado na produção de energia térmica. Dos 32 bilhões de toneladas de carvão mineral, 12 bilhões encontram-se na região de Candiota (RS), perfazendo 37% das reservas nacionais. Essas reservas possuem uma situação estratégica em relação ao Bloco Mercosul, sendo garantia de energia abundante e barata para toda a região.

Os carvões brasileiros são diferenciados de acordo com sua história genética, com os eventos ocorridos durante a acumulação vegetal na turfeira e com sua evolução diagenética. Assim, cada depósito apresenta determinadas ca-

racterísticas do carvão que são bem específicas para aquela região.

Os carvões gondwânicos apresentam, geralmente, a inertinita como constituinte mais abundante do carvão mineral, totalizando cerca de 50%, seguida da vitrinita, que varia de 13 a 38%, e exinita, com variação de 2 a 13%.

O Brasil produz cerca de 6,0 Mt de carvão energético (MME-SGM, 2007), que é empregado principalmente na geração de termoelectricidade. O carvão metalúrgico utilizado nas siderúrgicas é totalmente importado, principalmente de Estados Unidos, Austrália, África do Sul e Canadá. A distinção entre carvão energético e carvão metalúrgico está ligada diretamente às características composicionais da rocha que compõe o pacote carbonoso, às características originais da flora (quantidade de carbono – hidrogênio, matérias voláteis, maturação da matéria orgânica, qualidade dos macerais), da história geológica da bacia sedimentar (velocidade de sedimentação, circulação dos sedimentos e águas na bacia sedimentar), além da temperatura e carbonificação (CPRM, 2003). Além do carvão mineral, o Brasil possui inúmeros depósitos de turfa, que, paulatinamente, estão sendo estudados e aproveitados como insumos para a agricultura ou na geração local de energia.

A exploração de carvão mineral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, nos séculos XIX e XX, deixou um grande passivo ambiental, principalmente nas regiões onde a lavra se processou a céu aberto. Grandes áreas foram ocupadas por rejeito do carvão, formando uma paisagem lunar, sem nenhum aproveitamento e totalmente degradada. As águas superficial e subterrânea tornaram-se ácidas, devido ao ferro contido na pirita, afetando enormemente o biosistema regional e danificando a flora e a fauna da região (Figura 7.18).

Tabela 7.1 – Reservas de carvão mineral *in situ* na bacia sedimentar do Paraná

Estado	Jazida	Recursos (10 ⁶ t)	% do Brasil
Rio Grande do Sul	Candiota	12.278	
	Santa Terezinha	4.283	
	Morungava/Chico Lomã	3.128	
	Charqueadas	2.993	
	Leão	2.439	
	Iruí	1.666	
	Capané	1.203	
	Outras	994	
	SOMA	28.804	89,25
Santa Catarina	Sul-Catarinense	3.363	10,41
Paraná	Diversas	104	0,32
São Paulo	Diversas	8	0,02
TOTAL		32.279	100,00

Nas últimas décadas, entretanto, projetos de recuperação ambiental, levados a efeito por empresários, sindicatos, governo e empresas estatais, têm revertido essa situação, recuperando gradativamente as áreas degradadas, tanto no Rio Grande do Sul como em Santa Catarina. As

atuais lavras são conduzidas utilizando-se técnicas adequadas que visam à não-poluição e não-degradação do meio físico. As áreas mineradas estão sendo recuperadas logo após a lavra, de maneira a minimizar o impacto da atividade sobre o meio ambiente.



Figura 7.18 – Mineração de carvão mineral a céu aberto: mina do Faxinal (RS). Fotografia: Luiz Fernando Pardi Zanini.

■ URÂNIO

Mineral nuclear é todo mineral que contém em sua composição um ou mais elementos nucleares (urânio e tório).

Os principais minerais de urânio são: uraninita, pechblenda, torbenita, autunita, carnotita, betafita, coffinita, euxenita, pirocloro e samarskita; de tório são: monazita, torita, torianita e euxenita.

A principal aplicação do urânio é na geração de energia, como combustível nuclear. Já o tório, é pouco usado como elemento gerador de energia. O urânio ainda é utilizado na indústria bélica sob a forma de explosivos; na indústria fotográfica, sob a forma de nitratos; na indústria química, sob a forma de acetatos; na produção de vidros, sob a forma de sal.

O tório é usado principalmente sob a forma de óxido, na fabricação de camisas para lâmpadas; na produção de ligas, principalmente com o magnésio; na indústria eletrônica; na fabricação de lâmpadas elétricas e na produção de vidros para lentes, na indústria óptica.

O Brasil possui uma reserva de urânio que totaliza 309.370 t de U_3O_8 contido. O Complexo Minerio-Industrial de Caetité, no centro-sul da Bahia, é atualmente a única área produtora de urânio do país. Por outro lado, o Complexo Minerio-Industrial de Poços de Caldas, no sul de Minas Gerais, até então a única área produtora do Brasil, está sendo descomissionado, tendo em vista o esgotamento do minério economicamente viável. Nesse complexo, teve início o desenvolvimento da tecnologia do ciclo do combustível nuclear para geração de energia elétrica, tratando-se quimicamente o minério de urânio e transformando-o em *yellowcake*. Atendeu, basicamente, às demandas de recargas do reator de Angra I e de programas de desenvolvimento tecnológico.

Em Poços de Caldas, o urânio ocorre essencialmente como uraninita associada a rochas do complexo alcalino gerado entre o Cretáceo e Paleógeno, destacando-se as jazidas do Cercado e do Agostinho. A primeira, com reserva de 21.800 t de U_3O_8 contido, foi explorada até 1998 na mina Osamu Utsumi. Na segunda, as reservas estimadas foram de 50.000 t de U_3O_8 contido. Três fases de mineralização foram distinguidas em Poços de Caldas: duas hidrotermais e uma de alteração supergênica.

Em Caetité, o minério de urânio, representado essencialmente por uraninita, está distribuído em cerca de 33 jazidas que compõem o Distrito Uranífero de Lagoa Real. O minério ocorre em uma série de corpos de albitos lenticulares associados a zonas de cisalhamento que cortam metamorfitos arqueanos e granitos paleoproterozóicos. A mine-

ralização foi possivelmente gerada no início do Neoproterozóico e sofreu remobilização no final do evento Brasiliiano. As reservas totais são da ordem de 100.000 t de U_3O_8 contido, suficientes para a operação dos reatores nucleares das usinas de Angra I, II e III.

As demais reservas uraníferas são representadas pelas áreas de Itataia, Figueira, Amarinópolis, Espinharas, Campos Belos, Rio Preto, Quadrilátero Ferrífero e Rio Cristalino (Figura 7.19).

Embora a jazida fósforo-uranífera de Itataia, no centro do Ceará, seja a maior reserva de urânio do país, com 142,5 mil t de U_3O_8 contido, sua viabilidade econômica é dependente da exploração do fosfato associado. As principais rochas regionais relacionadas ao depósito de Itataia são paragneisses pré-cambrianos com grandes lentes carbonáticas. O urânio ocorre em hidroxiapatita criptocristalina associada a massas de colofano e a vênulas e *stockwork* de colofano em mármore, gnaisses e epissienitos. A idade da mineralização é considerada neoproterozóica a cambro-ordoviciana.

As demais reservas de urânio são menores. Os depósitos de Figueira, no leste do Paraná, e Amarinópolis, no sul de Goiás, ocorrem em rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná, respectivamente do Permiano e Devoniano. Em Figueira, o urânio ocorre como uraninita em arenitos ou associado com matéria orgânica em argilas carbonosas e carvões. Em Amarinópolis, a rocha hospedeira da mineralização de urânio (autunita, sabugalita, uraninita e coffinita) é uma camada de arcóseo. Já o depósito de urâ-



Figura 7.19 – Localização dos principais depósitos de urânio. Fonte: CNEN.

nio de Espinharas, na Paraíba, ocorre em gnaisses e xistos pré-cambrianos associados a granitos intrusivos, que foram alterados por processos metassomáticos do final do ciclo Brasileiro, como albitização e hematitização, com lixiviação da sílica e enriquecimento em fosfato. Trata-se de um depósito do tipo epigenético, similar a outras várias ocorrências espalhadas no Nordeste brasileiro. Por sua vez, a mineralização de urânio de Campos Belos (autunita, torbenita e renardita) e Rio Preto (uraninita), ambas na parte central de Goiás, estão hospedadas essencialmente em xistos grafiticos paleoproterozóicos.

Metaconglomerados e quartzitos da Formação Moeda, base do Paleoproterozóico, no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, apresentam ocorrências de urânio (uraninita, brannerita e coffinita) associadas a ouro e pirita. Na área do Rio Cristalino, sul do Pará, ocorrências uraníferas (uraninita, kasolita e meta-autunita), relacionadas a psamitos paleoproterozóicos, estão em processo de avaliação. Por fim, podem ser referidas ocorrências uraníferas que acompanham mineralizações de cassiterita e outros

minerais em Pitinga, no nordeste do Amazonas, e em mineralizações de cobre e ouro, em Carajás, no sudeste do Pará. Essas ocorrências de urânio têm um potencial estimado em 150.000 t de U_3O_8 contido.

BIBLIOGRAFIA

CPRM. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2003.

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

_____. Informativo do Serviço Geológico do Brasil, n. 20. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2008.

DNPM. *Anuário Mineral Brasileiro*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 2006.

IN MINE. Meio ambiente: como a mineração atende seu compromisso com a sociedade. , São Paulo: Facto Editorial, ano II, n. 9, maio-jun. 2007.

MME/SGM. *Sinopse 2007*. Brasília: MME/SGM, 2007.



VITÓRIO ORLANDI FILHO

Geólogo (1967) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação no Panamá e Estados Unidos. De 1970 a 2007, exerceu suas atividades junto à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), onde desenvolveu projetos ligados a Mapeamento Geológico Regional, Prospecção Mineral e Gestão Territorial. Em 2006, participou da elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB).



VALTER JOSÉ MARQUES

Graduação (1966) em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Petrologia (1979), pela Universidade de São Paulo (USP), e em Engenharia do Meio Ambiente (1991), pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Nos primeiros 25 anos de carreira dedicou-se ao ensino universitário, na Universidade de Brasília (UnB), e ao mapeamento geológico na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), entremeando um período em empresas privadas (Mineração Morro Agudo e Camargo Correa), onde atuou na prospecção mineral por todo o país. De 1979 até o presente, desenvolve suas atividades na CPRM/SGB, onde exerceu diversas funções e cargos, dentre os quais o de Chefe do Departamento de Geologia (DEGEO) e o de Superintendente de Recursos Minerais. Nos últimos quinze anos, vem se dedicando à gestão territorial, com destaque para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), sobretudo nas faixas de fronteiras com os países vizinhos da Amazônia, atuando como coordenador técnico-científico dos projetos binacionais.



MAGDA M. R. CHAMBRIARD

Engenheira Civil formada pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Engenharia Química pela COPPE. Ingressou na PETROBRAS em 1989. Cedida à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de 2002.- 2008. Atualmente Diretora da ANP.



KÁTIA DA SILVA DUARTE

Geóloga formada pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre e doutora em Geotecnia pelo Departamento de Tecnologia da Universidade de Brasília. Servidora da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) desde 2002.

**GLORIA MARIA DOS SANTOS MARINS**

Geóloga formada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Geoquímica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Ocupou o cargo de Especialista em Regulação de Petróleo e Derivados na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) até março de 2008. Atualmente, é Gerente de Segurança, Saúde e Meio Ambiente da empresa OGX Petróleo e Gás Ltda.

**CINTIA ITOKAZU COUTINHO**

Engenheira Civil formada pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Servidora da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) desde 2004.

**LUCIENE FERREIRA PEDROSA**

Oceanógrafa formada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Servidora da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) desde 2006.

**MARIANNA VIEIRA MARQUES VARGAS**

Estudante de graduação em Geologia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Estagiária da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

**ARAMIS J. PEREIRA GOMES**

Geólogo (1973) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Desde 1973 trabalha na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). Especialista em carvão mineral. A partir de 1975, participou de diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento de jazidas desse bem mineral no Brasil e em Moçambique. Foi diretor-presidente da Companhia Riograndense de Mineração – CRM (1991-1994). Tem desenvolvido estudos relacionados ao incremento do emprego do carvão nacional na matriz energética brasileira.

**PAULO ROBERTO CRUZ**

Geólogo (1965) pela Universidade de São Paulo (USP). Foi professor do Instituto de Geociência da Universidade Federal do Pará (UFPA). Trabalhou na Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), onde realizou vários trabalhos na área de Geologia Econômica. Ainda no DNPM, organizou, implantou e chefiou o setor de Geologia Econômica da Divisão de Fomento. Em 1971, organizou, implantou e dirigiu o Departamento de Recursos Minerais da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), atual Coordenação de Matérias-Primas e Minerais da Diretoria de Radioproteção e Segurança, onde coordena os trabalhos de geologia do setor nuclear.

8

SOLOS TROPICAIS

Edgar Shinzato ¹(shinzato@rj.cprm.gov.br)

Amaury Carvalho Filho ²(amaury@cnps.embrapa.br)

Wenceslau Geraldes Teixeira ²(wenceslau@cpao.embrapa.br)

¹CPRM – Serviço Geológico do Brasil

²EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

Argissolos	122
Cambissolos	122
Chernossolos	123
Espodossolos	123
Gleissolos	123
Latossolos	124
Luvissolos	125
Neossolos	125
Nitossolos	126
Organossolos	126
Planossolos	127
Plintossolos	127
Vertissolos	128
Terras Pretas de Índios da Amazônia	128
Bibliografia	133

Solo é a superfície inconsolidada, constituída de camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica, desenvolvida ao longo do tempo sob a influência do clima, material originário, relevo e da própria atividade biológica.

Uma das possibilidades de apresentação das informações pedológicas é o mapa de solos. Este se constitui em uma estratificação de ambientes que permite a separação de áreas para diversos fins, além de fornecer subsídios para programas especiais de conservação de solos e preservação do meio ambiente.

Grande parte dos problemas relacionados aos solos está ligada à complexidade e dificuldade de sua identificação. Quando esta é obtida, é possível determinar suas limitações e potencialidades que refletem diretamente em seu manejo para um uso adequado.

É necessário considerar que, ao longo do tempo, as pesquisas sobre os solos foram desenvolvidas com fins agrônômicos, porém, isso tem mudado com a influência de estudos correlatos, principalmente geotécnicos, para produção de informações de melhor qualidade, possibilitando um uso mais amplo das informações de solos.

A nomenclatura aqui apresentada está de acordo com o sistema de classificação de solos atualmente em uso no Brasil (EMBRAPA, 2006).

O enfoque apresentado objetiva, de maneira simples, tecer alguns comentários gerais sobre as limitações e potencialidades para uso agrícola e não-agrícola, tendo como base as características dos principais solos do Brasil. Os interessados em abordagens mais detalhadas e aprofundadas devem recorrer à extensa bibliografia existente.

ARGISSOLOS

Compreendem solos nos quais normalmente o teor de argila no horizonte B (subsuperficial) é bem maior que no horizonte A (superficial), caracterizando o horizonte B textural (Bt). Esse incremento de argila é percebido sem dificuldade quando se procede ao exame da textura e, algumas vezes, pela diferenciação da cor e outras características. No caso de ocorrer mudança textural abrupta (gradiente textural muito acentuado em curto espaço vertical), torna-se ainda mais visível. O horizonte Bt, que pode apresentar constituição e morfologia muito distintas e ocorrer em diversas profundidades, caracteriza um comportamento bastante variável desses solos. Em extensão, constitui a segunda classe de maior importância no país. Abrange uma ampla diversificação de solos, desde rasos (< 50 cm) a muito profundos (> 2,00 m), abruptos (elevado gradiente textural), eutróficos (saturação por bases > 50%) e distróficos (saturação por bases < 50%), com cascalhos, com fragipã

(horizonte adensado), com caráter solódico (presença de sódio), entre outros. Devido a essa gama de variação, torna-se difícil proceder a uma abordagem generalizada para esses solos. Argissolos com horizonte Bt de baixa condutividade hidráulica situados em regiões de alta pluviosidade podem desenvolver “lençol freático suspenso”, facilitando o processo de deslizamento, devido ao excesso de água no plano de cisalhamento entre os horizontes A e Bt, que funciona como um lubrificante, facilitando a movimentação do material superficial (OLIVEIRA, 2005). Os mais suscetíveis aos processos erosivos são aqueles de caráter abrupto e os que ocorrem em relevos movimentados.

Conforme a coloração do horizonte Bt, dividem-se em Argissolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos, Amarelos, Bruno-Acinzentados e Acinzentados; com frequência, encontram-se associados a Latossolos, por todo o território nacional (Figura 8.1).



Figura 8.1 – Perfil de Argissolo em relevo forte ondulado, com vegetação de floresta e pastagem.

CAMBISSOLOS

Compreendem solos pouco desenvolvidos e que apresentam grande variação em sua espessura, ocorrendo desde rasos (< 50 cm) a profundos (< 2,00 m). Apresentam horizonte A, de qualquer tipo, sobreposto a horizonte B incipiente (Bi), de características variáveis. Muitas vezes são cascalhentos, pedregosos e rochosos. Os Cambissolos estão relacionados a áreas mais movimentadas, preferencialmente regiões serranas. Devido à variação de atributos, torna-se difícil definir um padrão de comportamento para esses solos. Por apresentarem pequeno desenvolvimento e teores de silte em geral mais altos que em outros solos, com relação silte/argila elevada, são mais suscetíveis aos processos erosivos. A presença de silte também

em superfície, em alguns desses solos, favorece a formação de poeira bastante densa, o que deve ser considerado no caso de seu aproveitamento com atividades de lazer. Ocorrem em todo o país, porém, com pequena expressão na região amazônica (Figura 8.2).



Figura 8.2 – Perfil de Cambissolo com horizonte B incipiente em relevo ondulado de topo sob vegetação de campo gramíneo.

CHERNOSSOLOS

Compreendem solos com horizonte superficial do tipo A chernozêmico (cor escura, boa fertilidade natural e teores elevados de matéria orgânica) assentados sobre horizonte B, em geral avermelhado, com argila de atividade alta (capacidade de troca catiônica (CTC) >27 cmol_c por kg de argila). São solos de elevado potencial agrícola, pois são ricos quimicamente, com horizonte superficial aerado e bem estruturado, além de conterem grande quantidade de matéria orgânica.

Quando molhados, a elevada plasticidade e pegajosidade do horizonte superficial dificulta a trafegabilidade e o preparo para o plantio. Para alguns desses solos, onde o saprolito é relativamente brando, não se recomenda o uso com aterros sanitários, lagoas de decantação e cemitérios.

Ocorrem em várias regiões do Brasil, em geral relacionados a material de natureza calcária, em condições de clima mais seco. Estão também relacionados aos basaltos da região Sul.

ESPODOSSOLOS

Constituem solos predominantemente arenosos, com concentração de ferro, matéria orgânica ou de ambos em subsuperfície, o que caracteriza o horizonte B espódico, que pode ocorrer em diferentes profundidades. A condição arenosa determina elevada permeabilidade, ressecamento rápido, elevada taxa de decomposição da matéria orgânica e pequena capacidade de retenção de nutrientes.

Alguns desses solos podem apresentar o horizonte B espódico próximo da superfície, influenciando diretamente em sua condição hídrica, proporcionando maior retenção de umidade. Naqueles em que esse horizonte se encontra a vários metros de profundidade, o comportamento físico pode ser comparado ao dos Neossolos Quartzarênicos. Alguns Espodossolos apresentam camada subsuperficial muito endurecida (*orstein*), o que dificulta o enraizamento, principalmente das plantas arbóreas, como também de escavações. Ocorrem expressivamente ao longo da costa brasileira, assim como na região amazônica (Figura 8.3).

GLEISSOLOS

São solos característicos de áreas sujeitas a alagamento, como margens de rios, ilhas, grandes planícies, lagoas etc. e, conseqüentemente, com problemas de aeração e drenagem deficiente. Com isso, devido à redução do ferro, apresentam cores acinzentadas ou esverdeadas.

Os Gleissolos Tiomórficos apresentam sérias limitações ao uso agrícola e não-agrícola, devido à presença de enxofre. Em tais solos, quando drenados, ocorre, em um curto espaço de tempo, a formação do horizonte sulfúrico, o que representa risco de corrosão para tubulações enterradas. Da mesma forma, os Gleissolos com excesso de sais e com caráter vértico (baixa permeabilidade, argilas expansivas) podem prejudicar essas tubulações.



Figura 8.3 – Perfil de Espodossolo com horizonte de acúmulo de ferro e matéria orgânica em relevo plano do Grupo Barreiras, sob vegetação de restinga.

Ocorrem em todo o território brasileiro, com frequência associados às planícies de inundação dos rios. De maneira geral, pela presença de lençol freático próximo à superfície e posição topográfica em que ocorrem, não são adequados para uso como cemitérios, aterros sanitários, lagoas de decantação e áreas de lazer (Figura 8.4).



Figura 8.4 – Perfil de Gleissolo Háplico em área de baixada sujeita a inundações periódicas sob pastagem. Fotografia: José Francisco Lumbrreras.

LATOSSOLOS

Compreendem solos profundos e muito profundos (<3,00 m), com horizonte B latossólico (Bw). São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. O incremento de argila do horizonte A para o B é inexpressivo, com relação textural (B/A) insuficiente para caracterizar o horizonte B textural.

Tendem a apresentar estrutura granular, ou quando em blocos, de fraco grau de desenvolvimento e elevadas porosidade e permeabilidade interna, com drenagem excessiva ou muito rápida, garantindo maior resistência aos processos erosivos em relação às outras classes de solos. No entanto, alguns solos dessa classe, com estrutura granular muito desenvolvida, podem ser altamente suscetíveis à erosão em sulcos quando sujeitos a fluxo de água concentrado (RESENDE et al., 1992), devido à pequena coesão entre as unidades estruturais, que, nesse caso, comportam-se fisicamente como areia fina ou silte (pseudo-silte). Situação semelhante é observada nos solos de textura média mais leve.

Representam uma das classes de maior expressão geográfica no país, ocupando grandes extensões. Apesar de a baixa fertilidade natural, são muito utilizados com agricultura, em razão do relevo pouco movimentado em que em geral ocorrem e das boas condições físicas. Desenvolvem-se em todos os tipos de relevo, com menor expressão, é claro, nas áreas montanhosas, onde tendem a ocupar áreas de conformação convexa. Em algumas áreas é verificada a ocorrência significativa de solos dessa classe com espessura do solum (horizontes A + B) inferior a 1,5 m, sendo denominados Latossolos câmbicos, apresentando, portanto, maior suscetibilidade à erosão que os Latossolos típicos. Conforme a coloração do horizonte B, são subdivididos em:

- **Latossolos Brunos:** São profundos, com horizonte A escurecido, em geral espesso; o horizonte subsuperficial em tons brunados, sendo comum apresentarem avermelhamento em profundidade. São solos argilosos ou muito argilosos, com alta capacidade de retração com a perda de umidade, esta facilmente verificada pelo fendilhamento nos barrancos expostos ao sol. São comuns nos planaltos interioranos do sul do país, em altitudes superiores a >800 m e em clima subtropical.

- **Latossolos Amarelos:** São profundos, de coloração amarelada, bem drenados e de baixa fertilidade natural. Ocupam grandes áreas nas zonas de Tabuleiros Costeiros e baixo e médio Amazonas.

- **Latossolos Vermelhos:** São muito homogêneos, bem drenados, de coloração vermelho-escuro; quando originados de rochas básicas, freqüentemente basaltos da Formação Serra Geral, no sudeste e sul do país, apresentam elevadas quantidades de óxidos de ferro e atração pelo ímã quando secos. Apesar de quimicamente pobres, possuem elevado potencial agrícola devido ao relevo suavizado em que ocorrem. Os Latossolos Vermelhos são bastante expressivos na região Centro-Oeste, respondendo por grande parte de sua produção agrícola.

- **Latossolos Vermelho-Amarelos:** São bem drenados; possuem cores vermelho-amareladas, de baixa fertilidade natural, ocorrendo em praticamente todo o território nacional, com menores expressões no Rio Grande do Sul. São muito utilizados com agricultura quando a textura é argilosa e com pecuária, quando média.

Apesar de a pequena capacidade de troca de cátions, a grande espessura e boa aeração qualificam esses solos como adequados para aterros sanitários, depósitos de efluentes, lagoas de decantação e cemitérios. A baixa atividade da argila e a drenagem rápida elevam esses solos para a categoria de excelentes pisos de estradas (Figura 8.5).



Figura 8.5 – Perfil de Latossolo Vermelho textura argilosa em relevo suave ondulado com plantio de milho e pastagem.

LUVISSOLOS

São solos pouco profundos ou profundos, de cores avermelhadas, com horizonte B textural ou B nítico abaixo do horizonte A, sendo comum a presença de cascalhos e pedregosidade. Apresentam argila de atividade alta ($>27 \text{ cmol}_c$ por kg de argila), conjugada a alta saturação por bases ($V > 50\%$). Face a seu pequeno grau de intemperização, observa-se a presença de teores médios a altos de minerais facilmente decomponíveis. A presença desses elementos no solo pode ter implicações com maior solubilização das bases presentes nos minerais primários facilmente decomponíveis, possibilitando a ascensão de sais para os horizontes superiores, tornando esses solos suscetíveis à salinização. No caso de ocorrerem pedras e concreções, pode haver implicações na disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas.

A pequena profundidade e o elevado gradiente textural, em geral distintivo de caráter abrupto, aliados à condição de relevo, contribuem para a fragilidade desses solos quanto à erosão, amplificada na região do semi-árido, onde as chuvas são concentradas. É comum a presença de calhaus e matações na superfície, o que dificulta o uso agrícola, mas, por outro lado, protege contra a erosão.

Distribuem-se principalmente na região mais seca do país, semi-árido nordestino, sendo ocupados somente com a pecuária extensiva. Ocorrem também nas regiões Sul e na Amazônia, sendo ocupados com agricultura e pastagem plantada, respectivamente.

NEOSSOLOS

Compreendem solos pouco desenvolvidos, sem apresentar qualquer tipo de horizonte B. Reúnem solos rasos (rocha a menos de 50 cm de profundidade), Neossolos Litólicos; solos profundos e arenosos, Neossolos Quartzarênicos; com horizonte A sobre C e presença de minerais primários de fácil decomposição, Neossolo Regolítico; e solos de natureza aluvionar, os Neossolos Flúvicos.

Os Neossolos Flúvicos são formados em terraços de deposição aluvionar recente, referidos ao Quaternário. Sua principal característica é a estratificação de camadas sem relação pedogenética entre si, o que pode ser evidenciado pela grande variação textural e de conteúdo de carbono em profundidade. Apresentam, portanto, grande variabilidade espacial. Possuem seqüência de horizontes A-C, eventualmente com evidências de gleização face à proximidade dos cursos de água, e ao lençol freático, em geral a pequena profundidade, sendo susceptíveis a eventuais inundações.

São solos que apresentam grande variabilidade, podendo ser pobres ou ricos em nutrientes. Podem apresentar teores elevados de sais ou de sódio. Suas limitações aumentam à medida que se elevam as concentra-

ções desses elementos, implicando corrosão de materiais enterrados. A redução dessa limitação depende da permeabilidade interna, que permita “lavar” os sais e o sódio (Figura 8.6).



Figura 8.6 – Perfil de Neossolo Flúvico em terraço de relevo plano com pastagem natural.

Os Neossolos Quartzarênicos compreendem solos arenosos, essencialmente quartzosos, virtualmente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo; são fortemente e excessivamente drenados, muito permeáveis, profundos ou muito profundos. Possuem baixa fertilidade natural, com capacidade de troca de cátions e saturação por bases muito reduzidas. A textura arenosa condiciona também uma baixa capacidade de retenção de água e de eventuais elementos nutrientes aplicados, o que constitui forte limitação ao seu aproveitamento agrícola. Em razão de sua constituição arenosa, com grãos soltos, o que possibilita fácil desagregação, tendem a ser muito suscetíveis à erosão, mesmo quando ocorrem em relevo suave. São bastante expressivos no Brasil, principalmente no centro-oeste e ao longo da costa litorânea.

Apesar de serem muito permeáveis e terem uma espessa zona de aeração, a baixa capacidade de adsorção facilita a lixiviação de materiais tóxicos e metais pesados, aumentando a possibilidade de contaminação do lençol freático (Figura 8.7).



Figura 8.7 – Perfil de Neossolo Quartzarênico desenvolvido em relevo suave ondulado com pastagem.

Os Neossolos Litólicos são solos rasos ou muito rasos, com horizonte A, exceto o chernozêmico, assentado diretamente sobre a rocha. A maior limitação desses solos é a pequena profundidade efetiva, que limita o desenvolvimento radicular das plantas e culturas, reduzindo a capacidade de “sustentação” delas, tanto mais expressiva quanto mais próximo a rocha estiver da superfície. Essas características conferem a esses solos pouca capacidade de sustentabilidade da vegetação. A condição de desmatamento ou de pouca cobertura vegetal, quando aliada às precipitações concentradas, facilita a formação de erosões laminares e em sulcos nesses solos.

Por se tratar de solos rasos, é comum a ocorrência de cascalhos e calhaus, caráter pedregoso e rochoso na superfície do terreno, funcionando ora como protetor, diminuindo a taxa de evaporação da água no solo, ora como barreira ao deslocamento de máquinas. Os Neossolos Litólicos não são adequados para uso com cemitérios e aterros sanitários, sendo terras mais indicadas para preservação da flora e da fauna.

São muito susceptíveis à erosão em virtude da espessura reduzida e do relevo onde se localizam. A textura leve em superfície e o contato direto com a rocha a pequena profundidade tornam esses solos bastante susceptíveis aos processos de escorregamento de massa, pois o rápido encharcamento do horizonte superficial e o excesso de água no plano de cisalhamento funcionam como lubrificante, facilitando a movimentação do material suprajacente a esse plano (Figura 8.8).



Figura 8.8 – Perfil de Neossolo Litólico desenvolvido em relevo suave ondulado com vegetação de campo graminoso.

Os Neossolos Regolíticos são solos pouco desenvolvidos, medianamente profundos ou mais espessos ($A + C > 50$ cm), de textura em geral arenosa, contendo, na fração areia, apreciáveis teores de minerais facilmente intemperizáveis. São predominantemente eutróficos, muito porosos e de baixa capacidade de retenção de água, podendo, ou não, apresentar fragipã (horizonte adensado) a diferentes profundidades, desenvolvido ou em formação. A presença desse horizonte adensado é benéfica na região do semi-árido, devido à manutenção da umidade próximo da superfície, exceto quando o solo apresentar elevadas concentrações de

sódio. Os Neossolos Regolíticos são mais expressivos no semi-árido nordestino, além de ocorrerem também no Mato Grosso do Sul.

Os Neossolos distribuem-se praticamente por todas as regiões do país, porém, por especificidade de ocorrência de alguns deles, como é o caso dos Neossolos Flúvicos, ao longo de rios e riachos; já os Neossolos Litólicos, em encostas muito declivosas; em algumas áreas, seu mapeamento somente é possível em escalas maiores.

NITOSSOLOS

Os Nitossolos compreendem solos com horizonte B nítico de argila de atividade baixa. São solos profundos ou muito profundos, bem drenados, com baixo gradiente textural e com estruturas em blocos e cerosidade bem desenvolvidas no horizonte B, por definição de textura argilosa ou muito argilosa. Em geral, são originados de rochas básicas, basaltos, apresentando coloração bem avermelhada (anteriormente denominados Terras Roxas Estruturadas). O baixo gradiente textural e o caráter argiloso se refletem em uma menor suscetibilidade à erosão que nos solos com horizonte B textural, como os Argissolos. Além disso, a excelente estruturação lhes confere boas condições de permeabilidade interna do perfil de solo.

Por serem de grande espessura, bem drenados, com boa aeração, esses solos são adequados para aterros sanitários, depósitos de efluentes, lagoas de decantação e cemitérios. São também indicados como excelentes pisos de estradas.

Ocorrem em praticamente todo o país, sendo expressivos na bacia platina, desde Goiás até o Rio Grande do Sul. São encontrados também no estado do Tocantins, sul do Maranhão, Pará e Mato Grosso.

ORGANOSSOLOS

Os Organossolos são solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico (> 80 g/kg de carbono orgânico) proveniente de acumulação de restos vegetais em variados estádios de decomposição. Apresentam horizonte hístico espesso, rico em material orgânico constituído de fibras que são facilmente identificáveis pela origem vegetal, dentro dos primeiros 100 cm de profundidade. Estão presentes nas várzeas planas, alagadiças, em ambientes mal a muito drenados, com lençol freático à superfície ou próximo a ela, correspondentes às áreas mais abaciadas e deprimidas em relação aos terrenos adjacentes.

É muito comum apresentarem coloração escura, preta, cinzenta ou marrom e teores muito elevados de carbono orgânico (mais de 50%). A capacidade de troca de cátions na camada orgânica é alta a muito alta, mas a soma de bases é muito baixa, significando que essa CTC (valor T) se deve à presença significativa de íons H^+ , refe-

rente à acidez da matéria orgânica. São solos que apresentam elevados teores de água durante praticamente todo o ano, dificultando o manejo para exploração agrícola.

É importante conhecer tanto os teores como o estágio de decomposição da matéria orgânica nesses solos, pois, além de sua classificação, influenciam a densidade, tamanho dos poros e respectiva força de retenção da água, condutividade hidráulica e capacidade de suporte. Quanto menor o grau de decomposição da matéria orgânica, mais intensa será a capacidade de subsidência.

Esses solos ocorrem em todo o território nacional, mas em locais específicos de acumulação de água e de restos vegetais, como ao longo das margens de rios, lagos etc., cuja representação em mapas requer, em geral, maior escala (Figura 8.9).



Figura 8.9 – Organossolo desenvolvido em relevo plano com cana-de-açúcar.

PLANOSSOLOS

Compreendem solos imperfeitamente a mal drenados, com horizonte superficial de textura mais leve que contrasta abruptamente com o horizonte Bt (B plânico), de textura argilosa, adensado e com baixa permeabilidade, muitas vezes responsável pela manutenção de um lençol freático próximo à superfície. Sua fertilidade natural é variável, apresentando sérias limitações físicas.

Alguns Planossolos podem apresentar teores elevados de sódio (Nátricos), sendo o seu horizonte B de permeabilidade interna bem reduzida e de consistência muito dura quando seco. Isso é intensificado se as argilas tiverem atividade elevada, com maior contratilidade e expansibilidade. Nesse caso, a permeabilidade é baixíssima.

Embora se situem em relevos planos e suaves, a erodibilidade desses solos é moderada, em virtude de suas condições físicas e do gra-

diente textural elevado. O horizonte superficial é muito suscetível à erosão laminar e o Bt pode desenvolver sulcos e ravinas pela ação combinada de antropismo e características internas que favorecem os processos erosivos, mesmo que o relevo seja plano. São solos expressivos no semi-árido nordestino, ocorrendo também no Pantanal mato-grossense e no Rio Grande do Sul (Figura 8.10).



Figura 8.10 – Planossolo desenvolvido em relevo plano e com pastagem natural.

PLINTOSSOLOS

Compreendem solos com presença significativa de plintita (material rico em ferro e pobre em matéria orgânica), ou com expressiva ocorrência de concreções de ferro (petroplintita) ou até mesmo cangas. Esses últimos são denominados Plintossolos Pétricos e, apesar de a presença das concreções, são mais bem drenados. Ocorrem em grandes extensões nos planaltos da região Centro-Oeste e em alguns platôs da Amazônia. Os demais Plintossolos caracterizam-se pela presença de mosqueamentos, devido à drenagem deficiente e à ocorrência de plintita no perfil do solo. Têm grande potencial de utilização para agricultura, desde que sejam tomados os devidos cuidados com relação à drenagem, pois a alteração da dinâmica hídrica nesses solos pode levar ao endurecimento irreversível da plintita (Figura 8.11).



Figura 8.11 – Perfil de Plintossolo desenvolvido em relevo plano e preparado para plantio da pastagem.

Nos Plintossolos Pétricos, a presença de grandes quantidades de concreções em superfície dificulta bastante o preparo do terreno, desgasta os implementos agrícolas e diminui significativamente o volume de água e nutrientes para as plantas. Por outro lado, são excelentes como fonte de material para pavimentação de estradas.

Ocorrem praticamente em todo o território nacional, com destaque para a Baixada Maranhense e Piauí, médio Amazonas, vale do Paraná, Pantanal mato-grossense e planícies do Araguaia e Guaporé (Figura 8.12).



Figura 8.12 – Perfil de Plintossolo Pétrico desenvolvido em relevo plano sob vegetação de cerrado e com coleta de cangas lateríticas.

VERTISSOLOS

Compreendem solos profundos e pouco profundos, com argila de muito alta atividade, apresentando grande expansão e contração do material, sendo comum a ocorrência de fendas e superfícies de fricção (*slickensides*). Apresentam cores escuras ou amareladas e, em menor expressão, avermelhadas. São solos muito férteis e estão mais relacionados a condições de clima seco, sendo expressivos no semi-árido nordestino. Ocorrem também no Pantanal mato-grossense, Recôncavo baiano e Campanha gaúcha.

Altos teores de argila de elevada atividade determinam consistência extremamente dura e muito dura quando secos e muito plástica e muito pegajosa quando molhados. Devido à grande capacidade de contração, é comum o desenvolvimento de rachaduras no período seco, podendo danificar raízes e até estruturas enterradas, como dutos. Assim, não é recomendável sua utilização para construção civil nem como aterros sanitários (Figura 8.13).

TERRAS PRETAS DE ÍNDIOS DA AMAZÔNIA

Algumas áreas de terra firme na Amazônia Central são conhecidas localmente como Terras Pretas de Índios (TPI). Essas áreas – denominadas *Amazonian Dark Earths* em língua inglesa – são solos que apresentam horizontes superficiais escuros e férteis. As cores escuras desses solos são devidas à elevada concentração de algumas formas

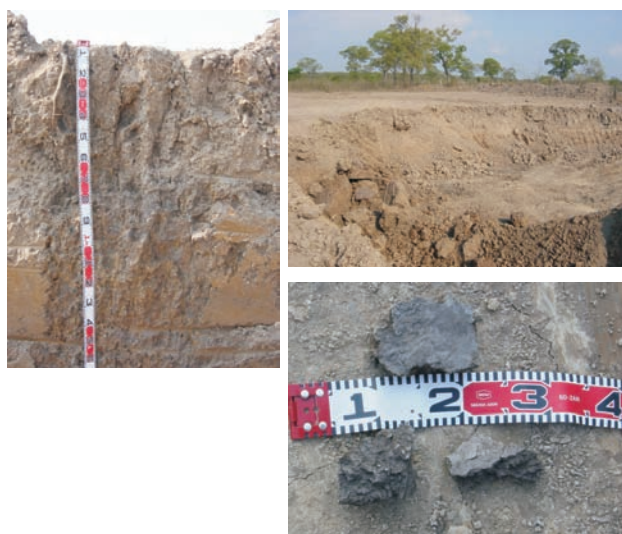


Figura 8.13 – Perfil de Vertissolo desenvolvido em relevo plano sob vegetação de campo.

Detalhe da superfície de fricção que ocorre nesses solos, devido aos movimentos de contração e expansão das partículas de solo, denominadas *slickensides*.

aromáticas de carbono (*black carbon*) de origem predominantemente pirogênica, muito estáveis e de alto poder pigmentante. Adicionalmente, apresentam uma grande densidade de cargas negativas, que conferem a esses horizontes uma elevada capacidade de troca de cátions (CTC). Essas áreas são também caracterizadas por elevadas concentrações dos cátions: cálcio, magnésio, zinco e manganês. Os horizontes enriquecidos das TPI também apresentam, normalmente, artefatos cerâmicos arqueológicos e elevada concentração de fósforo total e disponível para plantas (P), quando comparados com os solos adjacentes formados do mesmo material de origem. A datação por C_{14} dessas áreas tem indicado que o principal período de sua formação foi entre 700 e 2.500 anos (AP).

Os solos que apresentam os horizontes típicos das TPI não têm uma classificação específica no sistema brasileiro de classificação de solos, sendo caracterizados nos levantamentos como solos com horizonte A antrópico, de Argissolos (*Acrisols*) e Latossolos (*Ferralsols*) e, menos frequentemente, da classe dos Plintossolos (*Plinthosols*) e Espodossolos (*Spodosols*). Nas áreas de várzeas, são encontrados horizontes antrópicos normalmente soterrados, principalmente na classe dos Gleissolos (*Gleisols*) (Figuras 8.14 e 8.15).

Há, na literatura, resultados promissores sobre o uso de carvão vegetal como condicionador do solo, havendo recomendações no sentido de que esse tipo de material poderia ser utilizado para aumento da eficiência de fertilizantes. A carbonização de resíduos vegetais tem potencial para aumentar a sustentabilidade da capacidade produtiva do solo, reduzir as emissões de carbono para a atmosfera, dar uma utilização correta aos resíduos orgânicos poluidores e ainda auxiliar no desenvolvimento rural.



Figura 8.14 – Perfil de solo mostrando o horizonte A antrópico (Terra Preta de Índio) (Município de Rio Preto da Eva, AM).



Figura 8.15 – Trincheira em área de ocorrência de Terra Preta de Índio (município de Rio Preto da Eva, AM).

No Quadro 8.1, é apresentada uma síntese das principais classes de solos, em nível de ordem e subordem

(primeiro e segundo níveis categóricos), suas limitações e potencialidades.

Quadro 8.1 – Principais solos do Brasil e suas principais limitações e potencialidades

Ordem	Subordem	Sigla	Prof. relativa	Drenagem interna	Limitações	Potencialidades
Argissolos	Bruno-Acinzentado	PB	>2m	Bem	Pequeno desenvolvimento radicular quando de baixa fertilidade. Solos sujeitos a compactação, intensificados quando a textura for argilosa no A. Quando abruptos, são mais suscetíveis aos processos erosivos.	Quando eutróficos ou de boa fertilidade natural, são de elevado potencial agrícola nos relevos mais suavizados.
	Acinzentado	PAC	>2m	Moderadamente		
	Amarelo	PA	>2m	Bem		
	Vermelho	PV	>3m	Bem		
	Vermelho-Amarelo	PVA	>3m	Bem		
Cambissolos	Húmido	CH	<2m	Bem	Horizonte superficial bem desenvolvido. Sujeito à inundação periódica. Drenagem deficiente.	
	Flúvio	CY	>3m	Moderadamente a imperfeitamente		
	Hápico	CX	<2m	Bem	Pequeno desenvolvimento radicular por baixa fertilidade ou por presença de pedregosidade. A mecanização agrícola é limitada se o relevo for movimentado. Solos sujeitos a compactação, intensificada pela presença significativa de silte.	Relevo plano. Solos profundos. Bom desenvolvimento radicular quando a fertilidade for boa.
	Rêndzico	MD	<1,5m	Moderadamente	Relevos mais movimentados. Risco de erosão elevado. Dificuldade de preparo do solo quando seco. Solo sujeito a compactação.	
Chernossolos	Elbânico	ME	<2m	Moderadamente		Elevada fertilidade natural. Quando profundos, são de boa potencialidade agrícola.
	Argilúvico	MT	<2m	Bem		
	Hápico	MX	<2m	Bem		
	Humilúvico	EK	>2m	Moderadamente a imperfeitamente	Pequena capacidade de retenção de água e nutrientes. Baixa fertilidade natural. Solo desprovido de micronutrientes. Dificuldade de manejo devido a sua constituição arenosa.	Relevo plano minimiza o processo erosivo.
Espodossolos	Ferrilúvico	ES	>2m	Moderadamente a imperfeitamente		
	Ferrihumilúvico	ESK	>2m	Moderadamente a imperfeitamente		
	Tiomórfico	GJ	<2m	Muito mal	Extremamente ácido quando drenado.	
	Sálico	GZ	<2m	Muito mal	Risco de inundação frequente.	Relevo plano. Pequena ou quase nula suscetibilidade aos processos erosivos.
Gleissolos	Melânico	GM	<2m	Mal	Necessidade de drenagem para uso. Limitação para culturas adaptadas ao encharcamento. Facilidade de contaminação do lençol.	Quando eutróficos, são de boa potencialidade agrícola para culturas adaptadas ao encharcamento.
	Hápico	GX	<2m	Mal		

Quadro 8.1 – Principais solos do Brasil e suas principais limitações e potencialidades (Cont.)

Ordem	Subordem	Sigla	Prof. relativa	Drenagem interna	Limitações	Potencialidades
Latosolos	Bruno	LB	> 3m	Bem	Baixa fertilidade natural. Pouca água disponível no solo, intensificada quando a textura é leve. Baixo teor de fósforo. Solos sujeitos a compactação, principalmente quando argilosos ou muito argilosos. Nos coesos pode haver limitação ao desenvolvimento radicular devido ao adensamento.	Profundidade do solo elevada. Solos de elevada permeabilidade e porosidade. Resistência aos processos erosivos. Grandes extensões contínuas em relevos suavizados. Fácil manejo.
	Amarelo	LA	> 3m	Bem		
	Vermelho	LV	> 3m	Muito Bem		
	Vermelho-Amarelo	LVA	> 3m	Muito Bem		
Luvissolos	Crômico	TC	< 1,5m	Bem a Moderadamente	Ocorrência de pedregosidade em superfície pode limitar a mecanização. Erodibilidade elevada pela mudança textural abrupta. Limitação quanto à água disponível no solo em locais mais secos. Risco de salinização se mal manejado.	Apresenta alta saturação por bases, sendo de boa fertilidade natural. Presença de minerais primários facilmente intemperizáveis (reserva nutricional).
	Háplico	TX	< 2m	Bem		
Neossolos	Litólico	RL	< 1m	Moderadamente	Solos rasos e pouco profundos. Relevos movimentados. Associação com pedregosidade e rochosa. Elevado risco de erosão.	Em caso de boa fertilidade natural, o enraizamento não é prejudicado se a rocha não for dura. Recomenda-se para preservação da flora e da fauna.
	Flúvico	RY	> 3m	Moderadamente a imperfeitamente	Sujeito a inundação periódica. Drenagem deficiente.	Relevo plano. Solos profundos. Bom desenvolvimento radicular quando a fertilidade for boa.
	Regolítico	RR	< 2m	Moderadamente	Pequena capacidade de retenção de umidade. Ocorrência de horizontes adensados. Profundidade mediana. Risco de salinização.	Boa fertilidade natural. Relevo suavizado.
	Quartzarênico	RQ	> 2m	Excessivamente	Pequena capacidade de retenção de água e nutrientes. Baixa fertilidade natural. Solo desprovido de micronutrientes. Dificuldade de manejo devido a sua constituição arenosa.	Relevo minimiza os riscos dos processos erosivos.

Quadro 8.1 – Principais solos do Brasil e suas principais limitações e potencialidades (Cont.)

Ordem	Subordem	Sigla	Prof. relativa	Drenagem interna	Limitações	Potencialidades
Nitossolos	Bruno	NB	>3m	Muito Bem	Fertilidade natural baixa. Baixa quantidade de água disponível no solo. Quando em relevo movimentado, são suscetíveis aos processos erosivos.	Solos muito profundos. Teores de micronutrientes elevados. Boa permeabilidade e porosidade. Grandes extensões contínuas.
	Vermelho	NV	>3m	Muito Bem		
	Háplico	NX	>3m	Bem		
Organossolos	Tiomórfico	OT	>2m	Muito mal	Se drenado, o pH fica extremamente baixo.	
	Fólico	OO	<1,5m	Muito mal	Elevado lençol freático. Risco de inundação permanente. Necessidade de drenagem para uso. Necessidade de altas doses de calagem para efeito.	Relevo plano. Elevada capacidade de troca catiônica.
	Háplico	OX	>2m	Muito mal		
Planossolos	Nátrico	SN	<2m	Imperfeitamente a Mal		A reação do solo é neutra ou alcalina no horizonte B.
	Háplico	SX	<2m	Mal	Grande risco de erosão devido ao elevado gradiente textural. Impedimento ao enraizamento. Solos sujeitos a compactação.	Ocorrem em relevos suaves e planos. Os eutróficos têm menos problemas com enraizamento.
	Pétrico	FF	>2m	Moderadamente	Impedimento à mecanização. Restrição ao enraizamento.	
Plintossolos	Argilúvico	FT	>2m	Moderadamente a Imperfeitamente	Restrição à drenagem. Restrição ao enraizamento.	Quando eutróficos, são de boa potencialidade agrícola.
	Háplico	FX	>2m	Moderadamente		
	Hidromórfico	VG	<2m	Mal	Solo de manejo muito difícil. Muito duro quando seco e muito plástico e pegajoso quando úmido. Ocorrência de fendilhamento. Permeabilidade muito baixa.	
Vertissolos	Ebânico	VE	<2m	Imperfeitamente a Mal		Elevada fertilidade natural. Relevo suavizado.
	Háplico	VX	<2m	Imperfeitamente a Mal		
	Afloramentos de Rocha	AR				

BIBLIOGRAFIA

- BENNEMA, J. 1966. *Report to the government of Brazil on classification of brazilian soils*. Rome: FAO, 1966. 83 p. (FAO. EPTA Report, 2197).
- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, jan./abr. 1987.
- CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. Os solos do estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental*. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. CD-ROM. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000. Cap.6 (Capítulo de livro).
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. de M.; SILVA, C. R. da; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de. Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental*. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. CD-ROM. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000. Cap. 11 (Capítulo de livro).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Brasília: Sistema de Produção de Informação, 2006. 306 p.
- _____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. Xxvi, 412p. il.
- _____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- _____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- _____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Definição e notação de horizontes e camadas do solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1988a. 54 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 3).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1988b. 67 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11).
- _____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1981.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. *Soil survey manual*. Rev. enlarg. ed. Washington, D.C., 1993. 437p. (USDA. Agriculture Handbook, 18).
- _____. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Washington, 1975. 754 p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).
- FAO. *Soil map of the world: 1:500.000 legend*. Paris: UNESCO, 1974. v. 1.
- IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. *Manual técnico de pedologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 300 p. il. (Manuais Técnicos em Geociências, ISSN 0103-9598; n. 4).
- KÄMPF, N.; KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Óxidos de ferro em latossolos do Brasil sudeste e sul. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. p.153-183.
- LEMOES, R. C.; SANTOS, R. D. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1996. 83 p.
- OLIVEIRA, J. B. *Pedologia aplicada*. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.
- RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: SUPLAN/EMBRAPA-SNLCS, 1995. 65 p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p. il.
- _____; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J. L. *Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão*. Viçosa: NEPUT, 1992.
- REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. *Súmula...* Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 83 p. (Série Miscelânea, 1).

**EDGAR SHINZATO**

Natural de Campo Grande (MS). Formado em Engenharia Agrônômica (1990) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Agronomia (área de concentração: Solos e Meio Ambiente) pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) em 1998. Iniciou sua carreira profissional em 1990, na iniciativa privada, desenvolvendo estudos de solos, principalmente para Engenharia de Irrigação no Nordeste do Brasil. Em 1994, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), onde vem desenvolvendo estudos de solos e geoprocessamento voltados para a área ambiental. Como Coordenador Executivo do Departamento de Gestão Territorial (DEGET), desenvolve projetos referentes à área de Agronomia em integração com a Geologia. É membro do núcleo de discussão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Entre os principais trabalhos desenvolvidos, constam levantamentos de solos de Morro do Chapéu; Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia (BA); APA de Lagoa Santa (MG), APA Sul (BH); Cuiabá e Várzea Grande (MT); SUFRAMA (AM). É instrutor da área de geoprocessamento da CPRM/SGB, especializado nos *softwares* ArcGis e Envi.

**AMAURY CARVALHO FILHO**

Pesquisador da EMBRAPA Solos desde 1990. Formado em Engenharia Agrônômica (1985), com mestrado em Agronomia (área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas), em 1989, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Ciência do Solo (2008) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trabalha na área de Agronomia, com ênfase em Pedologia, Gênese e Classificação do Solo. Como principais trabalhos desenvolvidos, constam levantamentos de solos da microbacia de Morrinhos e Silvania (GO); Estado do Rio de Janeiro; Estação Experimental de Ponta Porã e Dourados; bacias dos rios Dourados e Brilhante (MS); Área de Proteção Ambiental – APA Sul (MG). É membro do núcleo de discussão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

**WENCESLAU GERALDES TEIXEIRA**

Graduado, em 1989, em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Agronomia (área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 1992. Doutor em Geoecologia (PhD) pela Universidade de Bayreuth (Alemanha) em 2001. Atualmente, é pesquisador do Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Ocidental (Manaus/AM). Colabora como professor associado da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) no Curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical e no Curso de Agricultura do Trópico Úmido, convênio UFAM-INPA. Trabalha na área de Agronomia, com ênfase em Física, Manejo e Conservação do Solo e da Água, atuando principalmente nos seguintes temas: Indicadores da Qualidade Física de Áreas Degradadas, Métodos de Avaliação das Propriedades e Características Físico-Hídricas de Solos Tropicais, Modelagem de Fluxos de Água no Solo, Entendimento da Gênese das Terras Pretas de Índio e no Uso de Carvão Vegetal como Condicionador do Solo.

9

RISCOS GEOLÓGICOS

Pedro A. dos S. Pfaltzgraff (*pedroaugusto@re.cprm.gov.br*)

Rogério V. Ferreira (*rogerio@re.cprm.gov.br*)

Maria Adelaide Mansini Maia (*adelaide@ma.cprm.gov.br*)

Rafael Fernandes Bueno (*rafaelfernbueno@yahoo.com*)

Fernanda S. F. de Miranda (*fmiranda@pv.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Conceitos e Definições	136
Histórico da Pesquisa dos Riscos Geológicos	136
Caracterização dos Diversos Riscos Geológicos	137
Riscos endógenos	137
Terremotos	137
Vulcões	138
Tsunamis	139
Riscos exógenos	139
Deslizamentos	139
Erosão	139
Erosão hídrica	139
Erosão costeira	140
Subsidências	140
Solos colapsíveis	140
Solos expansíveis	140
Ação dos ventos	140
Riscos Geológicos no Brasil	140
Bibliografia	145

Ao longo da história da espécie humana, o homem sempre esteve exposto aos perigos advindos dos fenômenos geológicos naturais. A posterior organização do homem em comunidades alterou de forma significativa as condições naturais do meio ambiente, gerando situações de risco que acarretam perdas sociais, econômicas e ambientais.

A partir da década de 1960, estudiosos como Gilbert White iniciaram pesquisas sobre os perigos naturais a que estavam sujeitas as populações do mundo. Uma evolução natural desses estudos levou ao uso do termo “riscos ambientais”, cujas classificações propostas por Augusto Filho (1999), usadas no Brasil, e por ISDR (2004), são apresentadas na Figura 9.1.

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A idéia de risco está associada à exposição de pessoas e propriedades a perigos, perdas e prejuízos ocasionados por processos de origem natural ou antrópica. Todavia, na literatura científica elaborada tanto em língua portuguesa como francesa ou inglesa, os termos “risco”, “perigo” e “desastre” são, cada vez mais, utilizados como sinônimos, independentemente de possuírem, originalmente, definições diferentes, conforme Castro (2005).

Varnes (1984), em trabalho realizado para UNESCO, propôs uma série de conceitos sobre risco muito usada até hoje. Derivada de seu conceito, a caracterização de risco mais genérica e utilizada pela maioria dos autores é representada por:

$$R = P \times C$$

Onde:

R = risco

P = probabilidade de ocorrência do processo = suscetibilidade

C = consequência social e econômica potencial associada = vulnerabilidade

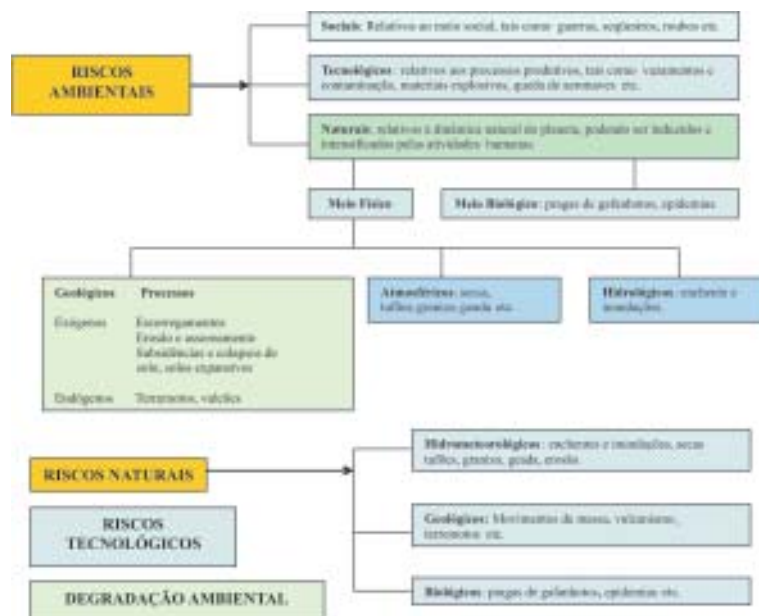
Os termos mais atuais e utilizados são:

- Processo geológico: caracteriza-se por qualquer mudança nas condições ambientais (movimentação de dunas, modelagem do relevo, alterações do nível do mar) induzida por fontes de energia naturais endógenas ou exógenas.

- Evento geológico: trata-se de fenômenos naturais cujos efeitos não ocasionaram perdas de vidas humanas ou econômicas, como, por exemplo, terremotos de grande intensidade em áreas desertas.

- Perigo geológico: caracteriza uma situação de potencial ameaça a pessoas e bens materiais e econômicos por um evento geológico, sem, entretanto, dimensionar tais perdas.

- Risco geológico: caracteriza uma situação de potencial ameaça a pessoas e bens materiais e econômicos por



primeiros anos do século XXI, subdivididos em: desastres hidrometeorológicos (inundações, tempestades, furacões, tornados, tufões, secas, temperaturas extremas e avalanches de neve); desastres geológico-geofísicos (terremotos, tsunamis, deslizamentos, subsidências, erosão, colapsividade e expansividade de solos e erupções vulcânicas); desastres biológicos (epidemias e pragas de insetos).

Essa subdivisão é bastante semelhante à de Augusto Filho (1999), diferenciando-se, principalmente, pelo uso do termo “desastre natural” em substituição a “risco ambiental”.

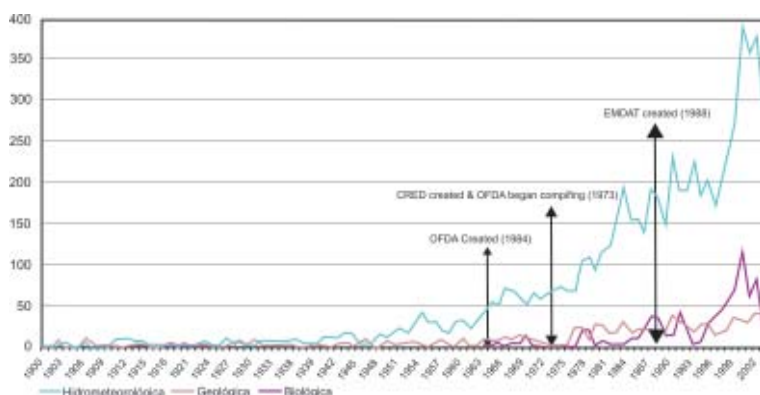


Figura 9.2 – Número de desastres naturais (de acordo com sua classe) registrados no período de 1900 a 2003 (ISDR, 2004).

CARACTERIZAÇÃO DOS DIVERSOS RISCOS GEOLÓGICOS

Na subdivisão dos riscos ambientais, os riscos geológicos são classificados em endógenos e exógenos. Os pri-

meiros estão relacionados à energia gerada e proveniente do interior do planeta, enquanto os exógenos são resultado de energias geradas (normalmente) na superfície do planeta.

Riscos Endógenos

Terremotos

Os terremotos (ou sismos) são movimentos bruscos provocados pelo deslocamento das placas tectônicas – blocos rochosos de grandes dimensões que formam a crosta terrestre. Como resultado, durante esses movimentos há a liberação de uma imensa quantidade de energia acumulada na crosta. Nos locais em que se dá o encontro de duas placas, formam-se zonas de fraqueza (falhas) que servirão como pontos de escape dessas tensões. Algumas dessas falhas podem atingir 50 a 70 km de profundidade e centenas de quilômetros de comprimento, onde são gerados os terremotos de maior intensidade. Os terremotos se distribuem ao longo do globo terrestre. Normalmente, estão associados a movimentos tectônicos; entretanto, aqueles de pequena intensidade podem estar associados a extração

mineral, obras de engenharia, como grandes barragens, colapso do teto de cavernas de calcário e extração de petróleo e água (Figura 9.3).

Para definir a quantidade de energia liberada e o tamanho dos danos causados por terremotos, foram

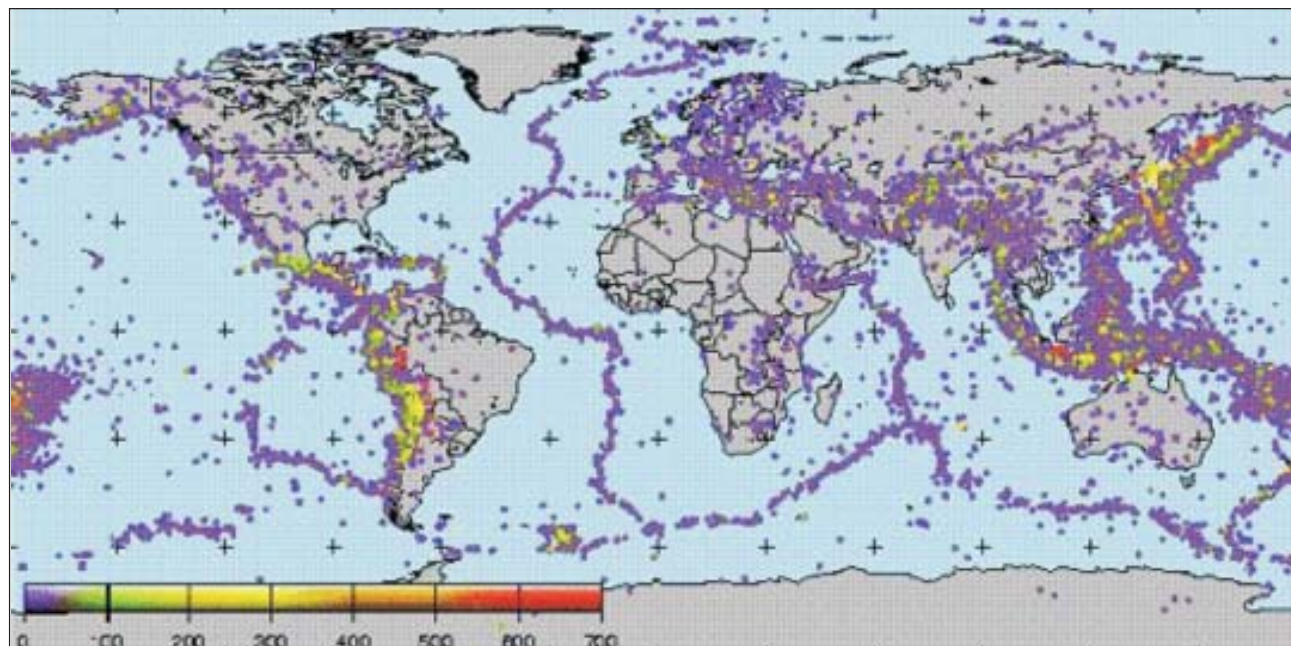


Figura 9.3 – Distribuição dos terremotos no globo terrestre (disponível em: <http://www.iag.usp.br/siae98/terremoto/terremotos.htm>).

criadas as escalas de magnitude, que se relacionam diretamente com a quantidade de energia liberada no foco do terremoto (com intervalos variando de 1 até 9), e a de intensidade, que descreve os danos observados na superfície do terreno atingido por um sismo. Dentre as diversas escalas de intensidade, a mais utilizada é a Mercalli Modificada, com intervalos variando de 1 a 12.

Vulcões

Originam-se a partir de fissuras ou rompimentos da crosta terrestre, por onde extravasam material rochoso em estado de fusão ou fragmentos de rocha e gases. Localizam-se principalmente no encontro de placas tectônicas (Figuras 9.4 e 9.5).



Figura 9.4 – Distribuição dos vulcões pelo globo terrestre (TEIXEIRA et al., 2000).



Figura 9.5 – Vulcões Etna (22 jul. 2001) (disponível em: <http://br.geocities.com/vulcoes/Etna.htm>) e Vesúvio (disponível em: <http://br.geocities.com/vulcoes/Vesuvio.htm>), dois dos vulcões mais conhecidos.

Tsunamis

Terremotos no fundo dos oceanos, bem como erupções vulcânicas submarinas ou deslizamentos em taludes subaquáticos podem gerar ondas de proporções gigantescas que se deslocam em grande velocidade. Ao alcançar a costa, essa imensa quantidade de água pode causar a destruição de cidades, vilas e outras construções (Figuras 9.6 e 9.7).



Figura 9.6 – Chegada de um tsunami à costa do Sri Lanka (26 dez. 2004) (disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/tsunami.htm>).



Figura 9.7 – Chegada de um tsunami à costa tailandesa (26 dez. 2004) (disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tsunami>).

Riscos exógenos

Deslizamentos

São movimentos de massa (solos e rochas) que ocorrem impulsionados pela força da gravidade, a partir de encostas de declividade elevada. Essa massa pode se deslocar com grande velocidade e transportar volumes de materiais de milhares de metros cúbicos por vários quilômetros. Entre as várias causas dos deslizamentos, podemos citar: sismos naturais e induzidos; cortes inadequa-

dos de taludes para obras de engenharia; mineração; uso urbano; desmatamento de encostas (amplificando a ação das águas); alterações rápidas do nível da água subterrânea nas encostas.

A mecânica dos deslizamentos é caracterizada pela ruptura das condições de equilíbrio de uma massa de solo, sedimentos ou rochas, em um talude natural, ou de origem antrópica. Os responsáveis pela ruptura desse equilíbrio podem ter origem geológica (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas etc.), geomecânica (alterações do peso específico do solo devido à saturação, perda de coesão, alterações do lençol freático), climática (pluviosidade); antrópica (compactação do terreno aumentando o seu peso específico, vibrações provocadas por explosões ou pelo tráfego de veículos pesados); ou devido a forças naturais, como os terremotos ou tsunamis.

Erosão

É definida como o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos de rochas realizado por ação da água, vento, organismos (plantas e animais) e gelo (em regiões de clima frio e temperado e nas altas montanhas), associado à declividade do terreno (SALOMÃO e IWASA, 1995). A erosão pode ser normal ou acelerada.

A erosão normal (geológica ou natural) ocorre sob condições naturais do ambiente, envolvendo menores quantidades de material removido do solo, não sendo perceptível em curto prazo.

A erosão acelerada é decorrente de alterações promovidas pelo homem no ambiente (interferência antrópica), a exemplo da retirada da cobertura vegetal, ou mudanças climáticas, resultando na remoção de grande quantidade de material superficial (BIGARELLA, 2003).

• Erosão hídrica

É o processo de erosão mais comum nas regiões de clima intertropical, a exemplo do Brasil. Ela se inicia com o impacto das gotas de chuva no solo, desagregando as partículas do solo que são removidas e transportadas pelo escoamento superficial, sendo depositadas nas partes mais baixas do terreno, nos leitos dos rios ou transportadas por estes até os lagos ou oceanos. O tipo de escoamento superficial divide a erosão hídrica em: laminar – provocada pelo escoamento difuso, que resulta em uma remoção progressiva e uniforme das camadas do solo; linear – ocasionada pela concentração dos fluxos de água em pequenos sulcos que podem evoluir, pelo aprofundamento da incisão, para ravinas. Quando acontece uma ampliação no tamanho das ravinas, provocada, além das águas superficiais, também por fluxos de águas subsuperficiais (incluindo o lençol freático), ocorrem as voçorocas, processo erosivo que pode alcançar grandes proporções e é de difícil remediação.

• Erosão costeira

É o processo que ocorre ao longo da linha de costa e se deve à ação das ondas, correntes marinhas e marés. Tanto acontece nas costas rochosas, assim como nas praias arenosas. Nas primeiras, a ação erosiva do mar forma as falésias; nas segundas, ocorre a redução da largura da praia, onde o sedimento removido pelas ondas é transportado lateralmente pelas correntes de deriva litorânea. Nas praias arenosas, a erosão constitui um grave problema para as populações costeiras. Os danos causados vão desde a destruição das habitações e infra-estrutura, até a perda e desequilíbrio de *habitats* naturais (SOUZA et al., 2005).

Os principais fatores responsáveis pela erosão costeira e conseqüente recuo da linha de costa são: elevação do nível do mar; diminuição do aporte de sedimentos fornecidos à faixa de praia; degradação antropogênica do ambiente natural, devido à ocupação desordenada das áreas costeiras; grandes obras de engenharia costeira, a exemplo da construção de portos, com seus muros, molhes e quebra-mares.

Subsidências

Abatimento de porções do terreno devido à ruptura do teto de cavidades subterrâneas, ocasionado pela diminuição da resistência ao peso das camadas subjacentes. Trata-se de um evento comum em áreas de relevo cárstico, onde são típicas as dolinas – cavidades subterrâneas formadas devido à dissolução de rochas carbonáticas pelas águas, em áreas de extração de petróleo, gás e água ou de mineração subterrânea (Figuras 9.8 e 9.9).

Solos colapsíveis

Os solos colapsíveis são aqueles que, quando umedecidos e mesmo sem serem submetidos a cargas, sofrem uma redução de volume devido à destruição de sua estrutura interna, resultante do aumento do teor de umidade no solo. Esse comportamento pode gerar sérios danos em construções.

Solos expansíveis

Estes, constituídos principalmente por argilas da família das esmectitas, aumentam de volume ao contato com a água e diminuem de volume quando perdem água. Podem danificar construções e taludes de solo, além de atuarem como agentes desagregadores em maciços rochosos quando preenchem fraturas de rocha.

Ação dos ventos

A ação geológica dos ventos pode ser muito intensa em algumas regiões do mundo. Em áreas principalmente de clima árido e semi-árido, constituídas por sedimentos



Figura 9.8 – Dolinas.



Figura 9.9 – Subsidiência do terreno na cidade de Teresina (PI).

arenosos, forma as dunas móveis, que se deslocam de acordo com a direção dos ventos, podendo, nesse movimento, soterrar cidades inteiras. Em áreas constituídas por sedimentos mais siltosos, como o *loess*, encontrado principalmente na Ásia, forma tempestades de poeira que abrangem grandes áreas e podem durar várias horas, prejudicando diversas atividades econômicas.

RISCOS GEOLÓGICOS NO BRASIL

As catástrofes naturais que mais atingem o Brasil (ISDR, 2004) são, principalmente, as inundações e os deslizamentos. Entretanto, no que se refere apenas a riscos geológicos, o país também está sujeito a subsidências, erosão costeira e erosão hídrica, soterramentos por sedimentação eólica e presença de solos colapsíveis e expansivos.

No que se refere aos desastres naturais que atingiram o Brasil, a ISDR (2004) contabilizou um total de 4.949 mortes entre 1948 e 2004, sendo que 58.357.034 pessoas foram afetadas por esses desastres. Já o IPT (2005) contabilizou um total de 1.572 mortes por deslizamentos no período de 1988 a 2005.

Os deslizamentos apresentam ampla distribuição pelo território brasileiro. A maioria das grandes metrópoles si-

tuadas nas regiões Sudeste e Nordeste, como Rio de Janeiro e Recife, além de São Paulo, Salvador e Belo Horizonte, têm sido afetadas por eles. Esse fato está relacionado, principalmente, à ocupação desordenada e sem critérios técnicos de encostas com alta suscetibilidade natural aos deslizamentos (Figura 9.10).

No Rio de Janeiro, os deslizamentos ocorrem principalmente nas áreas de morros da cidade do Rio de Janeiro e na região serrana do estado. As áreas afetadas possuem, geralmente, espessas coberturas de solos que recobrem rochas cristalinas (pertencentes aos domínios de geodiversidade D20 e D23, na capital, e D20 e D21, na região serrana, do “Mapa Geodiversidade do Brasil”, escala 1:2.500.000 (CPRM, 2006)), além de apresentarem blocos e lascas de rochas com equilíbrio instável, sujeitos a rolamentos e tombamentos, distribuídos em vários pontos.

Na região Nordeste, a cidade do Recife sofre com os deslizamentos há várias décadas, sendo estes concentrados, principalmente, nos morros da área norte da cidade e nos municípios vizinhos de Olinda, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes. Esses morros são formados por sedimentos argilo-arenosos bastante friáveis (pertencentes ao domínio de geodiversidade D6.1 (CPRM, 2006)) (Figuras 9.11 e 9.12).

As subsidências atingem, principalmente, as áreas com substrato constituído por rochas calcárias, onde os movimentos da água subterrânea dissolvem o carbonato de cálcio presente nos minerais formadores dessas rochas, criando espaços vazios no subsolo. O peso das camadas superiores pode fazer ruir o teto dessas cavidades e gerar



Figura 9.10 – Principais regiões onde ocorrem deslizamentos, com vítimas, no Brasil (elaborado por Jorge Pimentel).

depressões (dolinas) e grandes afundamentos no terreno. Exemplos de tais feições são encontrados no Parque Estadual de Vila Velha (Ponta Grossa, Paraná), onde camadas de calcário subterrâneas, ao se dissolverem, formam abatimentos do terreno, de forma circular, com mais de 50 m de profundidade e 100 m de diâmetro.

Outro exemplo de subsidência situa-se em Cajamar (São Paulo), onde, em 1986, várias casas na área urbana do município foram destruídas ou danificadas por subsidências do terreno provocadas, de acordo com uma das hipóteses, pela extração excessiva da água subterrânea que preenchia as grandes cavidades subterrâneas existentes nos calcários do subsolo.



Figura 9.11 – Sequência de deslizamentos em encostas da Formação Barreiras (D6.1). Córrego da Andorinha, Camaragibe (PE).



Figura 9.12 – Deslizamento translacional (notar os três patamares formados pelo deslizamento), que evoluiu para uma grande voçoroca (Quipapá, PE).

A sedimentação eólica é responsável por elevados prejuízos econômicos a prefeituras, moradores e empresas situadas em áreas de ocorrência de dunas móveis (pertencentes ao domínio de geodiversidade D4.2 (CPRM, 2006)). No Brasil, são encontradas dunas móveis em várias regiões, como em áreas dos estados do Maranhão e Rio de Janeiro.

No litoral do Maranhão, na localidade de Tutóia, as dunas avançam cobrindo casas e vias públicas em curto espaço de tempo. Já no estado do Rio de Janeiro, a estrada que liga os municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo encontra-se, constantemente, obstruída pela areia proveniente das dunas, o que também afeta trechos da área urbana de Cabo Frio, obrigando a prefeitura do município a uma constante mobilização para o trabalho de desobstrução das vias públicas (Figura 9.13).

Os solos colapsíveis e expansíveis são encontrados, principalmente, em regiões com marcantes diferenças entre as estações secas e chuvosas, como em Petrolândia (Pernambuco), onde são registrados danos em várias casas, e em Campo Novo (Mato Grosso), onde ocorreram afundamentos dos pisos de galpões para estocagem de grãos de até um metro (NAIME et al., 1996) (Figura 9.14).

A erosão costeira está presente em vários pontos ao longo da costa brasileira, sendo difícil definir em qual deles ela é mais intensa. Entretanto, como bons exemplos desse problema, deve ser citado o grande avanço do mar ao longo da costa do estado de Pernambuco, onde, em locais como na praia de Boa Viagem (Recife) e nas praias dos municípios vizinhos de Olinda e Jaboatão dos Guararapes, foi necessária a construção de estrutura de rocha para tentar conter o avanço do mar (Figuras 9.15 e 9.16). Também na foz do rio São Francisco, em Sergipe, e na foz do rio



Figura 9.14 – Danos provocados em casas no município de Petrolândia (PE) (AMORIM, 2004).

Paraíba do Sul, em Atafona, litoral do Rio de Janeiro, esse problema está instalado e se intensifica a cada ano, com o mar preenchendo áreas antes ocupadas por sedimentos arenosos (D1.4, CPRM op cit.) e até por sedimentos de mangues (D1.6, CPRM op cit.).

A erosão hídrica que afeta as áreas do continente ocasiona problemas muito graves para os estados e os municípios, tais como: perda de área agricultável (cerca de 500 mil toneladas de solo no Brasil), destruição de residências, construções públicas e históricas e vias públicas. Como exemplos, temos Quipapá, Olinda e bacia do rio Botafogo, em Pernambuco, e Bauru, em São Paulo. As fontes principais desse problema são, além da falta de cuidados de manejo com os solos agrícolas, os desmatamentos e a ocupação inadequada do solo (Figuras 9.17 e 9.19).

Na região amazônica, ocorre outro tipo de erosão hídrica – a erosão fluvial –, condicionada pela dinâmica dos rios, que, incessantemente, buscam o equilíbrio, ora erodindo, ora depositando sedimento. Como resultado dessa dinâmica, ocorre o fenômeno denominado “terras caídas”, que são deslizamentos, geralmente nas margens dos grandes rios, causados pela erosão fluvial, que escava a base do talude marginal desestabilizando o terreno, levando-o ao solapamento. Embora esse fenômeno seja inerente à dinâmica fluvial, uma série de trabalhos indica a interferência da atividade neotectônica na região como um dos condicionantes do processo (Figura 9.18).



Figura 9.13 – Avanço das dunas sobre vias públicas (Cabo Frio, RJ) (disponível em: http://www.reservataua.com.br/dunas_costeiras.htm).



Figura 9.15 – Erosão marinha atuante na praia de Boa Viagem (PE) em 1995.



Figura 9.17 – Voçoroca em expansão, localizada na cidade de Quipapá (PE), que evoluiu após deslizamento da encosta.



Figura 9.16 – Muro para contenção da erosão marinha construído na praia de Boa Viagem (PE), em 1995, no mesmo local apresentado na figura anterior.



Figura 9.18 – Fenômeno "terras caídas", causado pela erosão fluvial.



Figura 9.19 – Três tipos de erosão em área de cultivo de cana-de-açúcar (1: laminar; 2: sulcos; 3: voçoroca) (bacia do rio Botafogo, PE).

Um grande número de municípios amazônicos possui suas sedes localizadas às margens dos rios, assentadas sobre rochas sedimentares mesozóicas e cenozóicas alteradas por intensos processos intempéricos, geralmente suscetíveis à erosão. Como resultado, são freqüentemente atingidas pelo fenômeno “terras caídas”, acarretando perda de áreas agricultáveis, moradias, gado e vidas humanas. A ação antrópica atua de forma a acelerar esse processo, seja com desmatamentos, uso inadequado do solo ou ausência de infra-estrutura. Como exemplos, podem ser citados os eventos ocorridos em 2006, no município de Parintins (Figura 9.20), e em 2007, em São Paulo de Olivença.

Não há registros no Brasil de grandes desastres naturais relacionados a terremotos. Embora seja elevado o registro recente de sismos no país (principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste), os danos materiais são pequenos.

O Brasil situa-se no centro da Placa Sul-Americana, com pequenos tremores causados por falhamentos existentes, ou, então, por reflexos de tremores ocorridos em países vizinhos. A sismicidade brasileira é bem menos intensa que aquela registrada na região andina; entretanto, é bastante significativa.

De maneira geral, é aceita a idéia de que o território brasileiro está a salvo de terremotos, porém, há relatos de abalos sísmicos no Brasil desde o início do século XVII.

No Brasil, já foram registrados vários tremores com magnitude acima de 5,0 (tendo um sismo, no estado do Espírito Santo, em 1955, atingido intensidade 6.5).

Os relatos de sismos em território brasileiro têm aumentado significativamente ao longo do último século e



Figura 9.20 – Fenômeno “terras caídas” (Parintins, 2006).

início deste, principalmente, por conta da ocupação pela população de áreas mais remotas do interior do país e da instalação de vários sismógrafos por empresas de energia elétrica (próximo a grandes barragens) (Figura 9.21).

Como exemplo recente, em 9 de dezembro de 2007 ocorreu, na cidade mineira de Itacarambi, um dos maiores terremotos registrados no Brasil. O abalo teve uma intensidade de 4,9 graus na escala Richter, derrubando 76 casas e causando a morte de uma criança de cinco anos (a primeira morte decorrente de um sismo registrada no Brasil). Especialistas acreditam que o epicentro do tremor (causado por uma falha geológica, com aproximadamente 3 km de extensão), localizou-se a 5 km abaixo da superfície (Figura 9.22).

Não se registram no Brasil, até a presente data, desastres relacionados a vulcanismo e tsunamis.

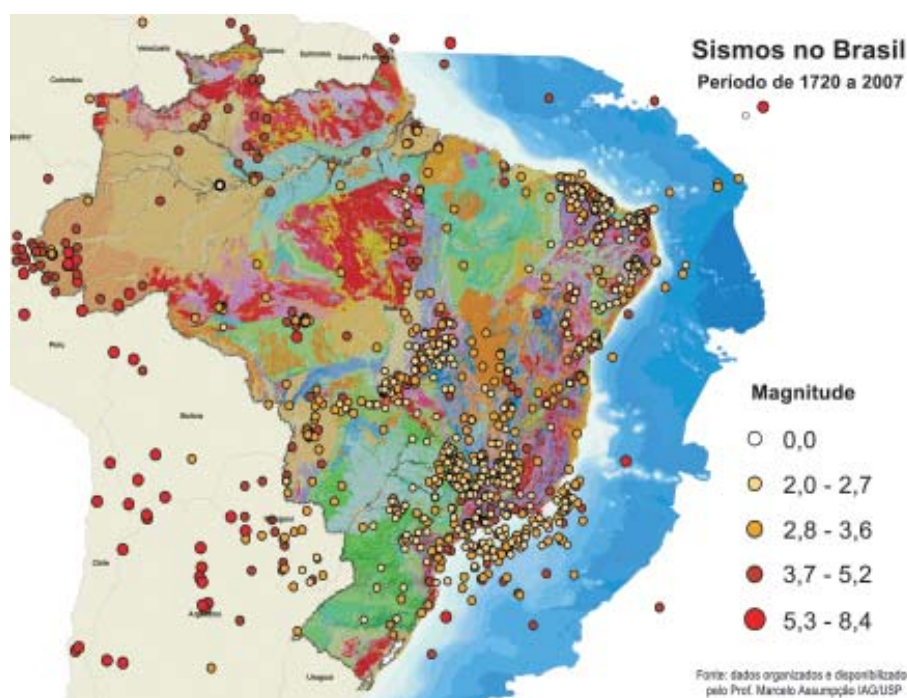


Figura 9.21 – Registros de ocorrências de sismos no Brasil no período de 1720 a 2007 (figura elaborada por Jorge Pimentel).



Figura 9.22 – Destruição causada por terremoto em Itacarambi (MG)
(disponível em: http://www.estadao.com.br/cidades/not_cid93085,0.htm).

BIBLIOGRAFIA

- AMORIM, S. F. *Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do estado de Pernambuco (SIGSEC-PE)*. 2004. 244 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- AUGUSTO FILHO, O. Riscos geológicos urbanos. In: SIMPÓSIO DA GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. *Anais...* Manaus: ABMS/ABGE, 1999.
- BIGARELLA, J. J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: EDUFSC, 2003. v. 3, p. 877-1436.
- CASTRO, C. M.; Oliveira, M. N.; RIOS, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.
- CASTRO, J. W. A. *Dunas costeiras do município de Cabo Frio/estado do Rio de Janeiro – Brasil*. Disponível em: <http://www.reservataua.com.br/dunas_costeiras.htm>.
- CERRI, L. E. S. *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes*. 1993. 197 f. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 1993.
- CPRM. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Brasília: SGM-MME/CPRM, 2006. CD-ROM [legenda expandida].
- DIAS, F. P.; HERMANN, M. L. P. de. Suscetibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro de Saco Grande, Florianópolis-SC. *Caminhos de Geografia*, v. 3, n. 6, p. 57-73, 2002.
- IPT. *Mortes por escorregamentos no Brasil (1988-2005): banco de dados*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2005. CD-ROM.
- ISDR. *Disaster risk reduction 1994-2004*. [Geneva]: United Nations, International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), [2005]. 3 CD-ROM.
- NAIME, J. de M.; CONCINI, W.; SOARES, M. M.; CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S. *Estudo de solos colapsíveis por método não-invasivo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, n. 11, p. 1-5, dez. 1996 (Pesquisa em Andamento).
- NOGUEIRA, F. R. *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal*. 2002. 260 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.
- SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana In: BITAR, O. Y. (Coord.) *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Cap.3, p. 31-57. (Série Meio Ambiente).
- SOUZA, C. R. de G. et al. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C. R. de G. et al. (Eds.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 130-152.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.
- TOMINAGA, L. K.; FERREIRA, C. J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C. R. de G. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do litoral norte de São Paulo: conceitos e técnicas. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. (Eds.). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5., 2004, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004. p. 205-216. CD-ROM.
- VARNES, D. J. Slope movement, types and process. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Eds.). In: Landslide, analysis and control. *Transportation Research Board Special Report*, Washington D.C., n. 176, p. 11-33, 1978. 180 p.
- _____. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, *Natural Hazards*, Paris, n. 3, 1984. 63 p.

**PEDRO A. DOS S. PFALTZGRAFF**

Geólogo formado (1984) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestrado (1994) na área de Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutorado (2007) em Geologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Trabalhou, entre 1984 e 1988, em obras de barragens e projetos de sondagem geotécnica na empresa Enge Rio – Engenharia e Consultoria S.A. e como geólogo autônomo entre os anos de 1985-1994. Trabalha na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) desde 1994, onde atua em diversos projetos de Geologia Ambiental.

**ROGÉRIO VALENÇA FERREIRA**

Bacharel em Geografia (1993) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Especialização (1994) em Cartografia Aplicada ao Geoprocessamento pela UFPE. Mestre (1999) em Geociências pela UFPE e doutor (2008) em Geociências pela UFPE. Atualmente, é Analista de Recursos Naturais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB). Experiência na área de Geociências, com ênfase em Geografia Física, atuando nas áreas de Geomorfologia, Sedimentologia e Sensoriamento Remoto.

**MARIA ADELAIDE MANSINI MAIA**

Geóloga formada (1996) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Atua desde 1997 na Superintendência Regional de Manaus da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), nos projetos de Gestão Territorial e Geoprocessamento, destacando-se os Zoneamentos Ecológico-Econômico (ZEES) do Vale do Rio Madeira, do estado de Roraima, do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus. Atualmente, dedica-se à coordenação estadual do Mapa Geodiversidade do Amazonas.

**RAFAEL FERNANDES BUENO**

Formado em Geologia (2003) pela Universidade de São Paulo (USP). De outubro de 2004 a janeiro de 2007, atuou como geólogo na Subprefeitura de Aricanduva/Formosa, (São Paulo), com identificação e caracterização de áreas de risco em encosta e margens de córregos. De fevereiro de 2007 a janeiro de 2008, atuou como geólogo na Superintendência Regional de Manaus, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), na área de Gestão Territorial. Desde fevereiro de 2008 atua como geólogo exploracionista, na VALE, na região de Carajás (PA).

**FERNANDA SOARES FLORÊNCIO DE MIRANDA**

Graduada em Geologia (2007) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atua na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) desde 2007, na área de Geologia Ambiental. Atualmente, faz parte da equipe de elaboração dos mapas de geodiversidade dos estados do Piauí e Rio Grande do Norte.

10

PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: TURISMO SUSTENTÁVEL

Marcos Antonio Leite do Nascimento (*mnascimento@re.cprm.gov.br*)

Carlos Schobbenhaus (*schobben@df.cprm.gov.br*)

Antonio Ivo de Menezes Medina (*ivomedina@terra.com.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Conceitos	148
Publicações sobre Geoturismo	149
Relação entre Geoturismo e Ecoturismo	149
Prática de Geoturismo no Brasil	150
Patrimônio Geomorfológico	150
Patrimônio Paleontológico	152
Patrimônio Espeleológico	152
Patrimônio Mineiro	153
Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP)	155
Geoparques	156
Projetos Geoturísticos no Brasil	157
Bibliografia	159

Historiadores vêm registrando a mobilidade do homem no planeta Terra, ao longo dos tempos, impulsionada por variadas motivações. Nos últimos 100 anos, intensificou-se o deslocamento através do planeta em função do turismo. Este é um fruto da sociedade industrial e das conquistas sociais, quando o período anual de descanso dos que a ele têm acesso vem sendo aproveitado, cada vez mais, em viagens turísticas.

Uma determinada forma de turismo faz uso da paisagem, na concepção geográfica de espaço (ambiente ou meio), formada por elementos da biosfera e geosfera, zona de interseção da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, explorando-os com o propósito de lazer e recreação.

Na superfície terrestre, há uma grande variedade de atrativos naturais que oferecem, para a prática do turismo, recursos dos mais diferenciados, representados por elementos dos meios biótico (fauna e flora) ou abiótico (os diferentes tipos de rochas com suas formas e paisagens, a hidrografia e o clima). Para a prática desse tipo de turismo, ainda podem ser adicionados a esses recursos os patrimônios culturais registrados pelo homem primitivo nas rochas (as inscrições rupestres).

O Brasil, em termos de rochas, minerais e fósseis de variados tipos e idades, diferentes paisagens (formas de relevo) e coberturas de solos relacionados, apresenta exemplos dos mais didáticos e completos. Assim, há testemunhos com registros que recuam aos primórdios da história do planeta (rochas com mais de 3 bilhões de anos) e percorrem todo o tempo geológico até alcançar o presente, a exemplo das dunas atuais e outros depósitos de sedimentos. Muitos desses registros geológicos constituem, por um lado, sítios de interesse científico e, por outro, monumentos naturais ou paisagens de beleza cênica excepcional. Esses monumentos ou paisagens, além de seu valor natural, podem também apresentar interesses históricos e culturais associados, recebendo visitas espontâneas ou guiadas por agências de turismo. Esse tipo de turismo, que lança mão do patrimônio geológico, é denominado “geoturismo”.

Certamente, o Brasil possui um dos maiores potenciais do globo para a criação de parques geológicos ou geoparques por sua grande extensão territorial, aliada à sua rica geodiversidade, possuindo testemunhos de praticamente toda a história geológica do planeta. Registros importantes dessa história, alguns de caráter único, representam parte do patrimônio natural da nação e também de toda a humanidade. Esses registros são identificados em áreas relativamente pontuais – os chamados sítios geológicos, geossítios, geotopos (ou geótopos), geomonumentos ou locais de interesse geológico – e em áreas relativamente extensas e bem delimitadas – os geoparques. Estes incluem grande número de sítios geológicos (de tipologias diversas ou não) e são comumente associados a geoformas e paisagens originadas da evolução geomorfológica da região.

CONCEITOS

O geoturismo pode ser definido como o turismo ecológico com informações e atrativos geológicos. Abrange a descrição de monumentos naturais, parques geológicos, afloramentos de rocha, cachoeiras, cavernas, sítios fossilíferos, paisagens, fontes termais, minas desativadas e outros pontos ou sítios de interesse geológico.

Atividades turísticas ligadas ao patrimônio geológico já ocorrem há muito tempo, porém, o termo “geoturismo” passou a ser amplamente divulgado na Europa após ser definido pelo pesquisador inglês Thomas Hose, em 1995, em uma revista de interesse ambiental.

De acordo com esse autor, o geoturismo é “a provisão de serviços e facilidades interpretativas que permita aos turistas adquirirem conhecimento e entendimento da geologia e geomorfologia de um sítio (incluindo sua contribuição para o desenvolvimento das ciências da Terra), além de mera apreciação estética”. Em 2000, o mesmo autor faz uma revisão no conceito de geoturismo, passando a utilizar o termo para designar “a provisão de facilidades interpretativas e serviços para promover o valor e os benefícios sociais de lugares e materiais geológicos e geomorfológicos e assegurar sua conservação, para uso de estudantes, turistas e outras pessoas com interesse recreativo ou de lazer”.

Recentemente, RUCHKYS (2007), com base nas definições da EMBRATUR (1994) para segmentos de turismo específicos e em definições preexistentes, caracterizou o geoturismo como sendo “um segmento da atividade turística que tem o patrimônio geológico como seu principal atrativo e busca sua proteção por meio da conservação de seus recursos e da sensibilização do turista, utilizando, para isto, a interpretação deste patrimônio tornando-o acessível ao público leigo, além de promover a sua divulgação e o desenvolvimento das ciências da Terra”.

Todavia, nem todas as definições de geoturismo estão diretamente relacionadas a temas geológicos. Por exemplo, em 2001, a National Geographic Society (NGS), em conjunto com a Travel Industry Association (TIA), dos EUA, realizou o estudo denominado “The Geotourism Study”, sobre os hábitos turísticos dos norte-americanos (STUEVE et al., 2002). O estudo define geoturismo como “o turismo que mantém ou reforça as principais características geográficas de um lugar – seu ambiente, cultura, estética, patrimônio e o bem-estar dos seus residentes”. Buckley (2003) também assume a definição de geoturismo da mesma forma que NGS e TIA, entretanto, relacionando-a ao ecoturismo.

Porém, percebe-se que esse segmento está mais diretamente relacionado aos aspectos geológicos dos destinos turísticos, como abordado por Dowling e Newsome (2006). Para esses autores, o prefixo “geo-” da palavra “geoturismo” está diretamente associado ao de “geologia” e “geomorfologia” e aos demais recursos naturais da paisagem, tais como relevo, rochas, minerais, fósseis e solo com ênfase no conhecimento dos processos que de-

ram origem a tais materiais. Esses autores ainda consideram que o geoturismo pode ser tratado como parte do ecoturismo, portanto, devendo ser considerado como um subsegmento.

Neste ano de 2008, foi realizada na Austrália a Global Geotourism Conference, tendo como objetivos:

- Promover maior percepção da comunidade e proteção ao nosso patrimônio geológico.
- Reunir geocientistas, profissionais de turismo, acadêmicos e gestores de áreas protegidas, objetivando fortalecer e promover a disciplina de geoturismo.
- Discutir o papel do geoturismo como uma disciplina acadêmica que fornece estrutura e treinamento para aplicação prática do geoturismo.
- Discutir a essência do geoturismo, ou seja: atrativos e desenvolvimento do geossítio, o conceito de geoparque, gestão dos visitantes e interpretação e gestão do geossítio/paisagem.
- Definir o cenário para a integração de atrativos geológicos como uma componente essencial do turismo e ecoturismo baseado na natureza.

Esses objetivos atestam que o geoturismo incorpora o conceito de turismo sustentável, ou seja, o seu objeto deve beneficiar a população local e os visitantes, mas, ao mesmo tempo, ser protegido para as gerações futuras.

PUBLICAÇÕES SOBRE GEOTURISMO

Até o momento, existe apenas uma publicação acerca desse tema no Brasil. Foi recentemente publicado o livro intitulado “Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: Trinômio Importante para a Proteção do Patrimônio Geológico” de NASCIMENTO et al. (2008) (Figura 10.1a), sob o patrocínio da Sociedade Brasileira de Geologia (SBGeo). Em outros países, esse tema é abordado em livros, periódicos e revistas, porém, pouco acessíveis no Brasil.

Há dois livros que tratam diretamente do termo “geoturismo”. O primeiro – “Geoturismo: Scoprire le Bellezze della Terra Viaggiando” – foi escrito por Matteo Garofano, na ocasião presidente da Associazione Geoturismo da Itália. O livro, atualmente em sua terceira edição, foi publicado em 2003. Trata dos principais locais geoturísticos da Itália, o que proporciona ao leitor uma viagem por aquele país, além de mostrar sua geologia e trazer sugestões de como organizar uma viagem geoturística. O segundo, lançado no início de 2006 – “Geotourism: Sustainability, Impacts and Management” –, foi editado por Ross Dowling e David Newsome (Figura 10.1b). O livro, além de trazer os conceitos básicos sobre geoturismo, permite ao leitor conhecer a prática desse segmento do turismo em diversos países, tais como Estados Unidos da América, Inglaterra, Irlanda, Espanha, China, África do Sul, Austrália e Irã. O livro contempla ainda inúmeras informações sobre os diferentes geoparques encontrados no mundo (DOWLING e NEWSOME, 2006).



Figura 10.1 – Capas dos livros conhecidos, até o momento, sobre geoturismo. **a)** “Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo” (NASCIMENTO et al., 2008); **b)** “Geotourism: Sustainability, Impacts and Management” (DOWLING e NEWSOME, 2006).

Outras publicações, mais voltadas para a conservação do patrimônio geológico (a geoconservação), algumas vezes dedicam capítulos ao tema “geoturismo”. Dentre as principais, destacam-se: “Geology on your Doorstep: The Role of Urban Geology in Earth Heritage Conservation” (BENNETT et al., 1996); “Geological Heritage: Its Conservation and Management” (BARETTINO et al., 2000); “Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica” (BRILHA, 2005).

RELAÇÃO ENTRE GEOTURISMO E ECOTURISMO

No Brasil, a definição mais utilizada para ecoturismo foi dada pelo Grupo de Trabalho Interministerial em Ecoturismo, que descreve esse segmento como “a atividade turística que utiliza, de forma sustentável, o patrimônio natural e cultural, incentiva sua conservação e busca a formação de uma consciência ambientalista através da interpretação do ambiente, promovendo o bem-estar das populações envolvidas” (EMBRATUR, 1994).

Essa definição enfatiza o uso do recurso natural original ou pouco explorado como cenário para o desenvolvimento do ecoturismo, além de levantar princípios nos quais a atividade deve se desenvolver, tais como sustentabilidade dos recursos, participação da comunidade e consciência ecológica por meio de educação e interpretação ambiental.

Dessa forma, o ecoturismo caracteriza-se por ser um segmento do turismo de natureza que usa o patrimônio natural de forma sustentável e que busca sua proteção por meio da sensibilização e da educação ambiental. No entanto, o termo “patrimônio natural” vai além dos aspectos relacionados ao meio biótico (ou à biodiversidade).

A Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural, adotada em 1972 pela Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura, constitui um dos instrumentos mais importantes na conceituação e criação de um patrimônio de valor universal. Em seu artigo 2º (UNESCO, 1972), considera como “patrimônio natural”:

- os monumentos naturais constituídos por formações físicas e biológicas ou por conjuntos de formações de valor universal excepcional do ponto de vista estético ou científico;

- as formações geológicas e fisiográficas, e as zonas estritamente delimitadas que constituam *habitat* de espécies animais e vegetais ameaçadas de valor universal excepcional do ponto de vista estético ou científico;

- os sítios naturais ou as áreas naturais estritamente delimitadas detentoras de valor universal excepcional do ponto de vista da ciência, da conservação ou da beleza natural.

Assim, o “patrimônio” natural não envolve somente as formações biológicas, mas também as geológicas; porém, no ecoturismo, as formações geológicas não são tratadas com mesmo grau de profundidade, embora os aspectos associados ao meio abiótico, especialmente o relevo, também sejam atrativos importantes para o ecoturismo. Os maiores apelos a esse segmento são, sem dúvida, os atrativos relacionados ao meio biótico (fauna e flora).

Considerando a característica marcante de privilegiar os atrativos associados ao meio biótico, pesquisadores preocupados em valorizar e em conservar o patrimônio associado ao meio abiótico vêm promovendo a divulgação do geoturismo como um novo segmento do turismo de natureza.

Portanto, entende-se que o ecoturismo seria o segmento do turismo que trata mais especificamente do meio biótico (biodiversidade) como atração turística, enquanto o geoturismo teria o meio abiótico (geodiversidade) como principal atrativo. Deve-se lembrar, no entanto, que ambos os segmentos estão sempre se desenvolvendo, de forma a promover a proteção do patrimônio natural, histórico e cultural da região visitada.

PRÁTICA DE GEOTURISMO NO BRASIL

No Brasil, uma das primeiras providências para se desenvolver o geoturismo é a identificação de aspectos geológicos que possam vir a se tornar atrativos turísticos.

Sem dúvida, muitos exemplos de locais de interesse geoturístico já eram atrações, mesmo antes de os geocientistas os terem estudados. Alguns são verdadeiros cartões-postais do Brasil, que servem, inclusive, para identificar o país na atração de turistas do exterior, com destaque para Cataratas do Iguaçu, Pão de Açúcar e Lençóis Maranhenses.

O Brasil, por sua geodiversidade, é detentor de inúmeras feições geológicas que possuem potencial para o geoturismo. Em decorrência, são diversos os exemplos de locais propícios à prática dessa atividade turística. A seguir, serão apresentados exemplos de alguns tipos em que o patrimônio geológico pode ser dividido em: geomorfológico, paleontológico, espeleológico e mineiro.

PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO

Em várias regiões brasileiras, o relevo se destaca, proporcionando paisagens de grande beleza cênica formadas por chapadas, serras, picos, morros e cachoeiras, cujos melhores exemplos são: Chapada Diamantina (BA), Chapada dos Veadeiros (GO), Chapada dos Guimarães (MT); serra da Capivara (PI); Sete Cidades (PI); Pão de Açúcar (RJ); Pedra da Gávea (RJ); Cataratas do Iguaçu (PR); picos vulcânicos do Cabugi (RN) e de Nova Iguaçu (RJ); serra da Mantiqueira (MG-RJ-SP); Aparados da Serra (RS e SC), dentre muitos outros (Figuras 10.2, 10.3, 10.4).

Cabe destacar os Aparados da Serra, próximo ao litoral, na divisa dos estados Rio Grande do Sul e Santa Catarina, cuja paisagem sobressai pela presença de um formidável conjunto de cânions escavados no planalto vulcânico da serra Geral e voltados para a planície litorânea quase mil metros abaixo. Do ponto de vista geológico, essa região testemunha as conseqüências cataclísmicas da migração continental que separou a América do Sul da África, através da abertura do oceano Atlântico, pas-



Figura 10.2 – Morro do Pai Inácio (à direita) e morro do Camelo (à esquerda), na chapada Diamantina (BA), testemunhos erosivos formados por arenitos e conglomerados (fotografia de Antonio Liccardo).



Figura 10.3 – Serra da Mantiqueira, na região de Taubaté (SP), formada por granitos e gnaisses (fotografia de Antonio Liccardo).

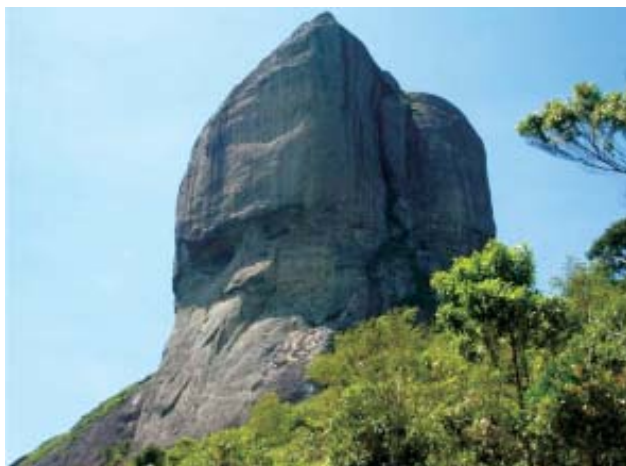


Figura 10.4 – Pedra da Gávea, no Rio de Janeiro. Os olhos da “Cabeça do Imperador” são formados por erosão diferencial no contato entre o granito (acima) e o gnaiss (abaixo) (fotografia de Ivo Medina).

sando pelo desenvolvimento de um ambiente desértico sucedido pelo maior derrame vulcânico continental do planeta. Essa área, hoje, apresenta meio ambiente e infraestrutura qualificados que a transformam em um pólo turístico de grande expressão no sul do Brasil (Figura 10.5).



Figura 10.5 – Cânion Fortaleza, divisa entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul, esculpido nas escarpas do planalto dos Aparados da Serra, exibindo 13 derrames de lavas do vulcanismo serra Geral (fotografia de Renato Grimm).

As diferentes formas da superfície da Terra ou geoformas constituem o relevo, que resulta da ação de forças ou agentes que agiram por milhões de anos. Os agentes internos ou endógenos são processos estruturais que atuam de dentro para fora da Terra, como tectonismo, vulcanismo e abalos sísmicos. Os agentes externos ou exógenos são processos esculturais que atuam externamente, modificando a paisagem, como intemperismo, ação das águas das chuvas, mares e rios e dos seres vivos, entre outros. Cumpre referir ainda a ação de agentes extrater-

restres representados por estruturas de impacto de meteoritos ou astroblemas que atingiram a Terra no passado geológico (CROSTA, 2002).

A atuação dos processos erosivos, com predomínio de erosão diferencial, juntamente com a atuação dos processos de intemperismo, proporciona o desgaste da rocha, com a conseqüente formação do cenário atual. Os sedimentos erodidos durante a formação desse modelado do relevo são, em parte, transportados pelos rios para o mar, onde são retrabalhados pelas ondas e hoje constituem os depósitos arenosos que ocorrem ao longo do litoral brasileiro.

No litoral, a paisagem se destaca pela presença de falésias, escarpas costeiras abruptas não-cobertas por vegetação, que se localizam na linha de contato entre a terra e o mar, sendo do tipo ativa ou inativa. Elas ocorrem em praticamente todo o litoral brasileiro, porém com maior destaque na região Nordeste, especialmente entre os estados do Ceará e da Bahia. Em geral, são formadas por arenitos e conglomerados (rochas sedimentares) associadas principalmente ao Grupo Barreiras. Como alguns exemplos geoturísticos, têm-se as falésias de Pipa (RN) (Figura 10.6), Ponta Grossa (CE) e Porto Seguro (BA).



Figura 10.6 – Falésia da praia da Pipa (RN) (fotografia de Guilherme Pierri).

Outro atrativo paisagístico do litoral são as dunas geradas por acumulação de areia depositada pela ação do vento dominante, podendo ser fixas ou móveis. Muitas dessas dunas são consideradas cartões-postais dos lugares onde ocorrem. É o caso das dunas do morro do Careca (RN) e dos Lençóis Maranhenses (MA) (Figura 10.7).

A intenção de utilizar a paisagem (e seu relevo) como atração geoturística vem da necessidade de cobrir uma lacuna do ponto de vista da informação. A idéia é permitir que o turista não só contemple aquelas paisagens, como também entenda algo sobre os processos geológicos responsáveis por sua formação, o que acarretaria maior valorização do cenário.



Figura 10.7 – Dunas dos Lençóis Maranhenses (MA)
(fotografia de Luiz Fernandes)

PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

A paleontologia é a ciência natural que estuda a vida do passado da Terra e o seu desenvolvimento ao longo do tempo geológico, bem como os processos de integração da informação biológica no registro geológico, isto é, a formação dos fósseis. O fascínio em saber algo sobre o passado da vida na Terra faz com que os locais onde existem esses registros do passado sejam hoje sítios paleontológicos bastante visitados. No Brasil, são inúmeros os sítios paleontológicos com enfoque turístico, destacando-se Chapada do Araripe (CE-PE), Vale dos Dinossauros (PB), Parque dos Dinossauros (MG), Floresta Petrificada do Rio Grande do Sul, Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional, rica fauna pleistocênica da serra da Capivara (PI), dentre muitos outros. Os principais atrativos de um sítio paleontológico são os fósseis, que compreendem restos ou vestígios deixados nas rochas por animais e/ou plantas no passado geológico.

Um excelente exemplo de sítios paleontológicos com fins geoturísticos é o Geoparque Araripe, primeiro geoparque nacional com reconhecimento da UNESCO. Este foi definido principalmente pela relevância paleontológica. Provavelmente, a região é a mais rica em depósitos de vertebrados fósseis do Brasil e um dos mais importantes do mundo, chamando a atenção pelo excelente estado de preservação. É de lá a origem daqueles milhares de fósseis com peixes encontrados nas feiras e lojas por todo o Brasil – vale salientar que o comércio de fósseis é crime. No geoparque, ocorrem fósseis de dinossauros (mais raros), bem como de peixes, tartarugas, crocodilianos, pterossauros, foraminíferos, crustáceos, gastrópodes, ostracóides, bivalves e equinóides. A região oferece uma possibilidade única para se compreender parte importante do passado geológico e a vida na Terra.

Em muitos sítios paleontológicos são encontradas também inscrições rupestres (pinturas e gravuras) representando aspectos do dia-a-dia, danças, ritos e cerimônias dos antigos habitantes da região, além de figuras de animais, alguns já extintos. Essas inscrições pré-históricas,

com idades entre 6 e 12 mil anos, estão gravadas em paredes de rochas. Vale salientar que as inscrições rupestres fazem parte dos sítios arqueológicos; todavia, estes são considerados patrimônio cultural e protegidos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e, portanto, enquadram-se no turismo cultural. No entanto, é notória sua forte associação a feições geológicas importantes (Figuras 10.8, 10.9).



Figura 10.8 – Fóssil de libélula (símbolo do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri) (fotografia de Patrícia Rose).

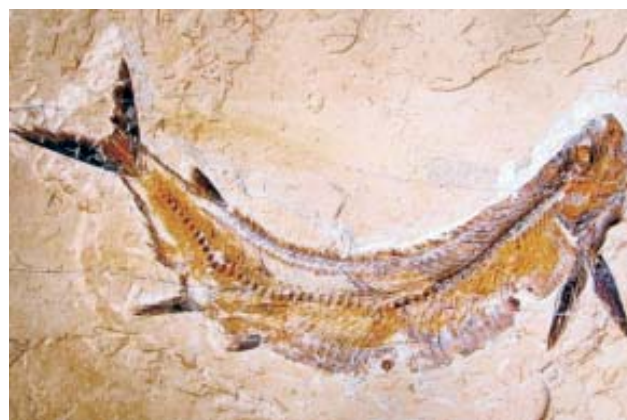


Figura 10.9 – Fóssil de peixe cladocycclus
(fotografia de Alexandre Sales).

PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Esse tipo de patrimônio se refere às cavernas que se desenvolvem, principalmente, em calcários e mármore, embora também em arenitos, quartzitos e granitos. Quando geradas por processos de dissolução pela ação da água, as cavernas se formam em calcários (rocha sedimentar) e mármore (rocha metamórfica), gerando o relevo cárstico. Esse tipo de relevo apresenta um conjunto de feições muito características que, além das próprias cavernas, configuram uma grande beleza cênica, como maciços rochosos expostos, paredes ou escarpas, vales, torres, depressões, dolinas, lagoas, além das próprias cavernas.

Segundo AULER e ZOGBI (2005), o Brasil é um país favorável à descoberta de novas grutas. Existem apenas cerca de 4.000 registradas, mas o potencial brasileiro é, no mínimo, 10 vezes maior. As grutas encontram-se distribuídas principalmente desde o sul de Minas Gerais até o centro-oeste da Bahia, passando pelo leste de Goiás. Estas grutas estão associadas aos calcários do Grupo Bambuí. Um dos principais locais de ocorrência é a região de Lagoa Santa (MG) (BERBERT-BORN, 2002), berço da espeleologia brasileira, com mais de 700 grutas registradas (Figura 10.10).



Figura 10.10 – Entrada da Gruta da Lapinha, caverna aberta à visitação turística na APA Carste de Lagoa Santa (MG) (fotografia de Dionísio Azevedo).

Na Bahia, destaca-se a Gruta do Padre, com 16,3 km de extensão – terceira maior caverna descoberta no país. Em sua porção central, as principais cavernas de interesse ocorrem na região da Chapada Diamantina, com várias cavernas de grande extensão e beleza, como a Lapa Doce. Registra-se, ainda, a região de Campo Formoso, que apresenta as duas maiores cavernas do país: Toca da Boa Vista (AULER e SMART, 2002) e Toca da Barriguda, com 105 km e 32 km de extensão, respectivamente.

No sul do estado de São Paulo e no Paraná, é possível encontrar mais de 300 cavernas de grande beleza. No lado paulista, por exemplo, a maior concentração está no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), com algumas das cavernas mais ornamentadas do país, como a Caverna Santana e a Caverna do Diabo (KARMANN e FERRARI, 2002) (Figura 10.11).

Em boa parte do Brasil, apesar de existirem muitas cavernas, ainda não foram reveladas grutas de grande porte. No Ceará, uma das mais conhecidas é a Gruta de Ubajara, um dos parques nacionais mais antigos do Brasil. No Rio Grande do Norte, a região entre Felipe Guerra e Apodi é onde se concentra a maior quantidade de cavernas, com destaque para a Casa de Pedra de Martins, considerada uma das maiores cavernas em mármore do Brasil.

Muitas cavernas no Brasil já são consideradas de uso turístico. Esse tipo de geoturismo, também denominado “turismo espeleológico” (ou espeleoturismo), é a prática puramente esportiva e recreativa de visitação às cavernas, mas que deve ser realizada com o auxílio de especialistas. Para

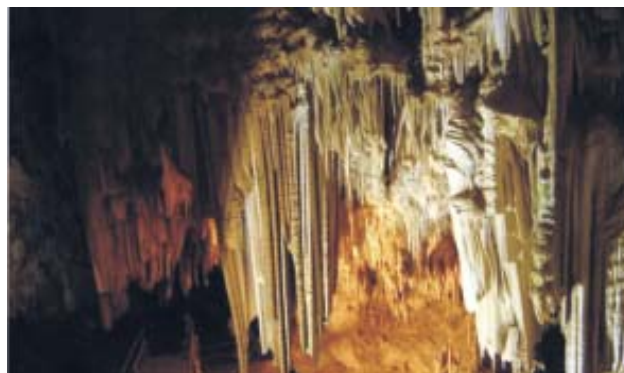


Figura 10.11 – Caverna do Diabo (Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR – SP).

AULER e ZOGBI (2005), a abertura de uma caverna para o turismo em massa provoca uma série de intervenções que podem vir a alterar ou mesmo danificar permanentemente a caverna. A instalação de luz artificial, por exemplo, pode levar à alteração da temperatura e da umidade da caverna. Uma das cavernas mais impactadas pela adaptação para o turismo é a Furna dos Morcegos (SE), próxima a Paulo Afonso (BA). Nessa gruta, a escavação de um elevador na rocha e a construção de um enorme chafariz descaracterizou irreversivelmente o ambiente da caverna.

PATRIMÔNIO MINEIRO

A mineração apresenta também um potencial geoturístico particular no Brasil, atividade esta já bastante difundida em outros países. Como exemplos, são citadas as minas de ouro de Morro Velho (Nova Lima) e da Passagem (Mariana), em Minas Gerais; tungstênio, em Brejuí, (Currais Novos – RN); chumbo, no vale da Ribeira (SP); cobre, em Camaquã (Caçapava do Sul – RS); carvão (RS), dentre outras. Vale salientar que muitas cidades brasileiras foram construídas ao redor de minas e que a cultura mineira encontra-se associada a essa população.

A mina da Passagem em Mariana (MG) é uma das maiores minas de ouro abertas à visitação no mundo. Foi a primeira mina de ouro mecanizada e industrial no Brasil. Atualmente, representa um bom exemplo de utilização de minas antigas para a prática do geoturismo. Como meio de acesso às galerias subterrâneas, os visitantes utilizam um trole (Figura 10.12). Durante a visitação, recebem informações a respeito da história da mina e dos métodos antigos de exploração do ouro. Há alguns anos, a mina também passou a ser utilizada para mergulho nas galerias e túneis inundados por águas do lençol freático. No local, há infra-estrutura de apoio com restaurante e banheiro, além de uma loja de artesanato e um museu com peças da época do ciclo do ouro (RUCHKYS, 2007).

A mina do Camaquã (RS), a primeira lavra de cobre do Brasil (foi fundada em 1870), aponta para a perspectiva de se tornar um dos pontos turísticos mais visitados na região de Caçapava do Sul (PAIM, 2002).



Figura 10.12 – Acesso à mina por meio de trole (mina da Passagem, Mariana, MG) (fotografia de Dionísio Azevedo).

A mina Brejuí (Currais Novos – RN) é outro exemplo de sucesso no que se refere à adaptação de uma mina em atrativo turístico. Ela foi uma das maiores produtoras de scheelita da América do Sul, com sua exploração iniciada em 1943 e tendo seu apogeu durante a Segunda Guerra Mundial. Em 1996, a mina teve suas atividades paralisadas, retornando a elas no ano de 2005. No entanto, já a partir de 2000, as atividades voltadas ao turismo começaram a ser implantadas. Hoje, a mina Brejuí é considerada o maior parque temático do Rio Grande do Norte, sendo visitada diariamente por turistas e estudantes oriundos de todas as regiões do Brasil e do exterior, catalogando-se mais de 26.000 turistas em visita à mina. Os turistas e estudantes podem desfrutar das riquezas históricas e culturais da mina, por meio da visita aos túneis, dunas de rejeito, museu mineral e outras atrações (Figura 10.13).

Outro aspecto é valorizar e preservar, também, roteiros de antigos circuitos mineiros como a Estrada Real, que liga Diamantina (MG) a Parati (RJ), passando por Ouro Preto (MG). Ao longo da Estrada Real, o passado e o pre-



Figura 10.13 – Bica e vagonete utilizados para descida e retirada do minério (mina Brejuí, Currais Novos – RN) (fotografia de Joaquim das Virgens).

sente registram a história, a identidade e a cultura da região. O conhecimento geocientífico desse roteiro valoriza o patrimônio geológico mineiro, tornando-o acessível às comunidades locais e aos visitantes.

O mesmo caminho que, no século XVIII, transportou a riqueza de Minas Gerais para o resto do mundo, hoje pode promover e integrar as diversas oportunidades de negócios, com a revitalização da área de influência da antiga rota colonial e o aproveitamento de sua potencialidade nos vários segmentos: turístico, histórico, cultural, ecológico, gastronômico, rural, negócios, religioso e aventura.

Ao longo de quase 1.400 km que cortam 162 municípios em Minas Gerais, 7 em São Paulo e 8 no Rio de Janeiro, a Estrada Real pode servir de trajeto turístico a milhares de viajantes de todo o mundo, agregando importância e valor à indústria mineira de turismo.

Hoje, o viajante encontra sérias dificuldades para aproveitar a potencialidade da Estrada Real, especialmente pela ausência de informações integradas sobre seus atrativos (Figura 10.14).

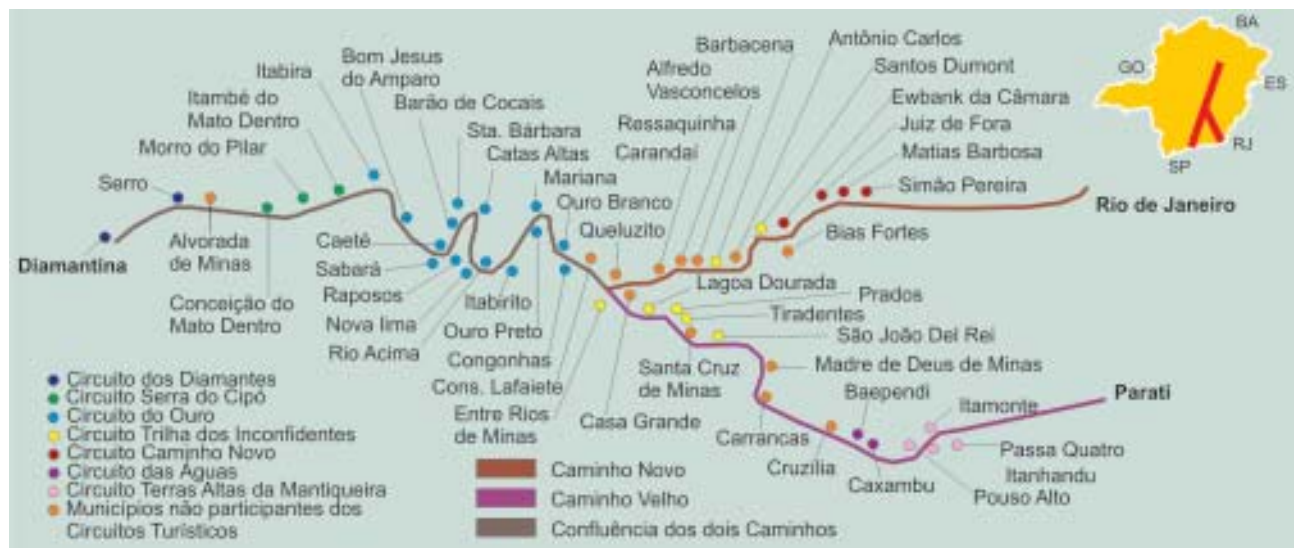


Figura 10.14 – Estrada Real (MG e RJ). Disponível em: <<http://www.estradareal.org.br/mapas/index.asp>>.

COMISSÃO BRASILEIRA DE SÍTIOS GEOLÓGICOS E PALEOBIOLÓGICOS (SIGEP)

Em março de 1997, foi instituída a Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), em consonância com o Working Group on Geological and Palaeobiological Sites do Patrimônio Mundial da UNESCO. Essa comissão hoje é representada pelas seguintes instituições: Academia Brasileira de Ciências (ABC), Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), Sociedade Brasileira de Geologia (SBGeo), Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP).

A criação dessa comissão partiu da premissa de que compete a cada nação identificar e delimitar os diferentes bens situados em seu território, de acordo com o artigo 3º da Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural (UNESCO, 1972), adotada pelo Brasil em 1989. A missão da SIGEP insere-se no artigo 2º dessa convenção que trata dos monumentos naturais e das formações geológicas e fisiográficas com valor universal excepcional, do ponto de vista da ciência, conservação ou beleza natural.

Para tanto, a comissão realiza inventário ou cadastro baseada em avaliações técnico-científicas, envolvendo os membros da comissão e a comunidade geocientífica em geral, baseados no teor das propostas apresentadas. Uma vez a proposta aprovada, segue-se a descrição científica do sítio para cadastro (inventariação). Como referido no sítio da SIGEP, as propostas aprovadas são descritas pela comunidade geocientífica e, em seguida, amplamente divulgadas, prestando-se ao “fomento da pesquisa científica básica e aplicada, à difusão do conhecimento nas áreas das ciências da Terra, ao fortalecimento da consciência conservacionista, ao estímulo a atividades educacionais, recreativas ou turísticas, sempre em prol da participação e do desenvolvimento socioeconômico das comunidades locais”. Todos esses objetivos vêm acompanhados da necessidade de estabelecer estratégias próprias de monitoramento e de manutenção da integridade dos pontos geológicos magnos do Brasil. A comissão objetiva, ainda, “fomentar ações de conservação, principalmente de sítios que estão em risco ou processo de depredação e, mesmo, extinção”. Alguns sítios geológicos descritos pela SIGEP representam os embriões de propostas de futuros geoparques.

Os sítios são classificados por seu tipo mais significativo, em diversas categorias, perfazendo, até o momento, um total de 88 sítios descritos, assim distribuídos:

Astroblema (3), Espeleológico (10), Estratigráfico (1), Geomorfológico (13), Hidrogeológico (1), História da Geologia e da Mineração (6), Ígneo (2), Marinho (5), Paleoambiental (11), Paleontológico (28) e Sedimentológico (8) (Figura 10.15).



Figura 10.15 – Mapa de localização dos sítios geológicos e paleontológicos publicados pela SIGEP. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/mapindex/mapindex.htm>>.

Até o momento, abrangendo o assunto, foram publicados dois volumes: em livro (SCHOBHENHAUS et al., 2002) e pela internet (WINGE et al., 2005); um terceiro se encontra em preparação. Do total de sítios descritos, 35% apresentam atrativos para o geoturismo, alguns já utilizados com essa finalidade desde longa data. Seguem alguns exemplos desses sítios de valor geoturístico:

- Icnofósseis da Bacia do Rio do Peixe, PB: o mais marcante registro de pegadas de dinossauros do Brasil (LEONARDI e CARVALHO, 2002).
- A Costa do Descobrimento, BA: a geologia vista das caravelas (DOMINGUEZ et al., 2002).
- Pão de Açúcar RJ: cartão-postal geológico do Brasil (SILVA e ANDRADE RAMOS, 2002).
- Vila Velha, PR: impressionante relevo ruiforme (MELO et al., 2002).
- Parque Nacional do Iguaçu, PR: cataratas de fama mundial (SALAMUNI et al., 2002).
- Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, GO: sítio de grande beleza cênica do centro-oeste brasileiro (DARDENNE e CAMPOS, 2002).
- Parque Nacional de Sete Cidades, PI: magnífico monumento natural (DELLA FÁVERA, 2002).
- Arquipélago de Fernando de Noronha, PE: registro de monte vulcânico do Atlântico Sul (ALMEIDA, 2002).
- Poço Encantado, Chapada Diamantina (Itaetê) (BA): caverna com lago subterrâneo de rara beleza e importância científica (KARMANN, 2002).

- Domo de Araguinha, GO/MT: o maior astroblema da América do Sul (CROSTA, 2002).
- Monte Roraima, RR: sentinela de Macunáima (REIS, 2006).
- Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE: um dos mais importantes depósitos fossilíferos do cretáceo brasileiro (KELLNER, 2002).
- Pico de Itabira, MG: marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero (ROSIÈRE et al., 2005).
- Granito do Cabo de Santo Agostinho, PE: único granito conhecido de idade cretácea do Brasil (NASCIMENTO e SOUZA, 2005).
- Sítio Peirópolis e Serra da Galga, Uberaba, MG: terra dos dinossauros do Brasil (RIBEIRO e CARVALHO, 2007).
- Bacia São José de Itaboraí, RJ: berço dos mamíferos no Brasil (BERGQVIST et al., 2008).
- Gruta do Lago Azul, Bonito, MS: onde a luz do sol se torna azul (BOGGIANI et al., 2008).
- Itaimbezinho e Fortaleza, RS/SC: magníficos *canyons* esculpidos nas escarpas Aparados da Serra do planalto vulcânico da Bacia do Paraná (WILDNER et al., 2006).
- Carste e Cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) (SP): sistemas de cavernas com paisagens subterrâneas únicas (KARMANN e FERRARI, 2002).
- Morro do Pai Inácio, BA: marco morfológico da Chapada Diamantina (PEDREIRA e BOMFIM, 2002).

GEOPARQUES

Os geoparques ou *geoparks*, criados por iniciativa da UNESCO (2004), envolvem áreas geográficas com limites bem definidos, onde sítios do patrimônio geológico constituem parte de um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável. Essas áreas envolvem diversos geossítios ou locais de interesse do patrimônio geológico-paleontológico de especial importância científica, raridade ou beleza, cuja importância é realçada não unicamente por razões geológicas, mas também em virtude de conterem aspectos adicionais de valor arqueológico, ecológico, histórico ou cultural.

Um geoparque, no conceito da UNESCO, é uma área que apresenta um significativo patrimônio geológico, forte estrutura de gestão e estratégia de desenvolvimento econômico sustentável. Um geoparque cria oportunidades de emprego para as pessoas que ali vivem, trazendo benefício econômico sustentável e real, normalmente através do desenvolvimento do turismo sustentável. No âmbito de um geoparque, o patrimônio geológico e o conhecimento geológico são compartilhados com o público em geral e relacionados aos aspectos mais amplos do ambiente natural e cultural, muitas vezes estreitamente relacionados à geologia e à paisagem. Estas têm influenciado profundamente a sociedade, a civilização e a diversidade cultural de nosso planeta. Assim, a criação de um

geoparque pretende estimular a sustentabilidade econômica das comunidades locais. As atividades econômicas baseadas na geodiversidade podem ser de diversos tipos, desde a produção de artesanato à criação de atividades comerciais de apoio ao visitante do geoparque, tais como alojamento, alimentação, animação cultural etc. Os geoparques possuem assim, de modo quase imediato, uma inegável ligação com o geoturismo.

Nas palavras de Chris Woodley-Stewart, gerente do Geoparque North Pennines (AONB), Reino Unido, “geoparques não tratam apenas de rochas – eles também tratam de pessoas. É fundamental que elas se envolvam – nós queremos ver tantas pessoas quanto possível sair e desfrutar a geologia da área. Nosso objetivo é maximizar o geoturismo [...] em benefício da economia local e para ajudar as pessoas a compreender a evolução de sua paisagem local” (UNESCO, 2006).

Em 2004, a UNESCO criou a Rede Global de Geoparques (Global Geoparks Network), cujos fundamentos estão expressos em Eder e Patzak (2004), que realçam o patrimônio geológico da Terra como ferramenta para a educação pública e o desenvolvimento sustentável. Destacam o valor de suas paisagens e das formações geológicas, testemunhas-chaves da história da vida e da evolução do planeta. A iniciativa da UNESCO de apoiar a criação de geoparques é uma resposta a um forte anseio expresso, nos anos recentes, por instituições geológicas, geocientistas e organizações não-governamentais. Acrescentou-se, assim, uma nova dimensão à Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural (UNESCO, 1972), pondo em evidência o potencial de interação entre desenvolvimento socioeconômico-cultural e conservação do meio ambiente natural.

A Rede Global de Geoparques assistida pela UNESCO fornece uma plataforma de cooperação ativa entre especialistas e praticantes do patrimônio geológico. Sob a égide da UNESCO e com o intercâmbio entre os parceiros da rede mundial, importantes sítios geológicos nacionais ganham reconhecimento internacional e proveito, com o intercâmbio de conhecimentos, *expertise*, competência e experiência pessoal com outros geoparques.

Desde o seu lançamento, em 2004, 57 geoparques nacionais de alta qualidade, selecionados de 18 países, são atualmente membros da Rede Global de Geoparques (Austrália, Áustria, Brasil, China, Croácia, República Checa, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Irã, Malásia, Noruega, Portugal, Romênia, Espanha, Reino Unido).

Em 2006, foram divulgadas as diretrizes e os critérios para os geoparques nacionais que procuram a assistência da UNESCO para aderir à Rede Global de Geoparques, incluindo formulários de avaliação (UNESCO, 2006).

A proteção e o desenvolvimento sustentável do patrimônio geológico e da geodiversidade, com a iniciativa de geoparques, contribuem para os objetivos da Agen-

da 21, a Agenda da Ciência para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento para o século XXI, adotada pela Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, Rio de Janeiro, 1992) e confirmada pela Cúpula de Johannesburg na cidade sul-africana entre 26 de agosto e 4 de setembro de 2002.

Diversas áreas no Brasil com características de se tornarem parques geológicos foram identificadas, mas ainda precisam ser devidamente avaliadas. Algumas dessas propostas se encontram em estudo pelo Projeto Geoparques da CPRM/SGB. Outras, com potencial de se transformarem em futuros geoparques, poderão ser identificadas. O estudo deverá, como primeiro passo, elaborar um documento básico, com a colaboração de geocientistas de universidades, governos estaduais e de outras entidades envolvidas com o tema, contendo propostas de criação de geoparques nacionais. Em um passo seguinte, algumas dessas propostas serão avaliadas sob o enfoque das diretrizes e critérios definidos pela UNESCO, objetivando sua candidatura à inserção na Rede Global de Geoparques (Figura 10.16).

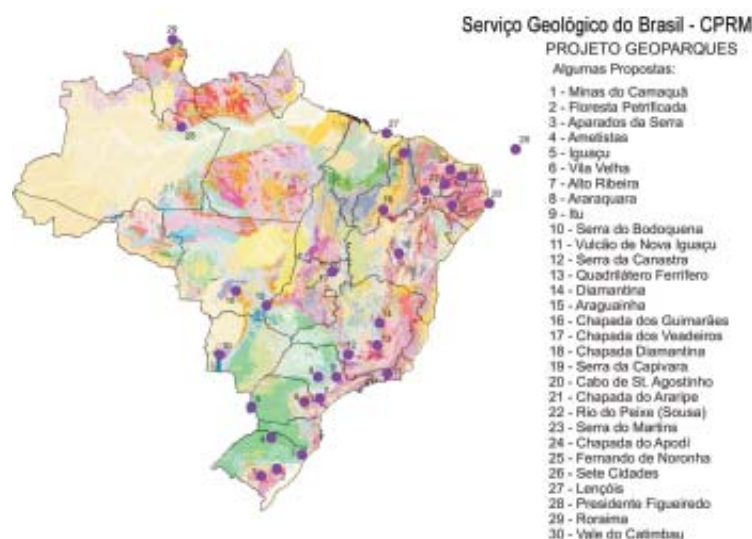


Figura 10.16 – Mapa com propostas de alguns geoparques nacionais (SCHOBHENHAUS, 2006).

O Geoparque Chapada do Araripe (CE) é o primeiro geoparque incorporado pela UNESCO à Rede Global de Geoparques, por iniciativa do governo do estado do Ceará, em parceria com a Universidade Regional do Cariri. Esse geoparque, que se estende por uma área superior a 5.000 km², possibilita ao visitante uma abrangente compreensão da origem, evolução e estrutura atual da bacia sedimentar do Araripe. Além disso, nele são desenvolvidos projetos inovadores de caráter social, para os quais se busca o apoio e a participação de entidades públicas, privadas, não-governamentais e do conjunto da sociedade.

Propostas de novos aspirantes a geoparques, com seus trabalhos já mais avançados, estão sendo realizadas, atualmente, para o Quadrilátero Ferrífero (MG), Alto Ribeira (SP-PR), Bodoquena-Pantanal (MS) e Campos Gerais (PR). O primeiro é uma iniciativa do governo de Minas Gerais, com apoio da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e CPRM/SGB. A proposta de Alto Ribeira (SP-PR) é uma iniciativa da CPRM/SGB, abrangendo parte da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape. A proposta do Geoparque Serra da Bodoquena-Pantanal (MT e MS) é coordenada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), com a participação da CPRM/SGB. Já a proposta do Geoparque Campos Gerais está em elaboração por Minérios do Paraná S.A. (MINEROPAR).

PROJETOS GEOTURÍSTICOS NO BRASIL

O Brasil possui alguns projetos e desenvolve ações diretamente relacionadas ao geoturismo. Dentre elas, destacam-se:

- Projeto Caminhos Geológicos: iniciativa pioneira do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ). Iniciado em 2001, representa atualmente o programa mais desenvolvido. O objetivo principal do projeto é divulgar o conhecimento geológico do referido estado, com base na conservação de seus monumentos naturais e por meio da implantação de painéis explicativos sobre a evolução geológica do local. Até julho de 2008, já haviam sido implantados 67 painéis com informações geológicas em 24 municípios do Rio de Janeiro (Figura 10.17).

Seguindo o modelo adotado pelo Projeto Caminhos Geológicos (DRM-RJ) e adaptado à realidade local, três outros estados do Brasil estão promovendo o levantamento de seus monumentos geológicos com vistas à sua conservação e divulgação como atrativo geoturístico.

Por meio de Minerais do Paraná S.A. (MINEROPAR), o estado do Paraná iniciou, em 2003, o Projeto Sítios Geológicos e Paleontológicos do Estado do Paraná, com a intenção de valorizar esses sítios, integrando-os aos roteiros do turismo ecológico, de lazer, de aventura e outros, com publicação de material de divulgação e orientação. Foram implantados, até o momento, 32 painéis ilustrativos em 12 municípios.

No estado da Bahia, o Projeto Caminhos Geológicos da Bahia, também iniciado em 2003, vem contando a história das belezas naturais baianas do ponto de vista da geologia. A CPRM/SGB, em parceria com a PETROBRAS, já inaugurou 5 painéis em pontos de interesse geológico (Figura 10.18).



Figura 10.17 – Painele afixado em área do Pão de Açúcar (RJ) que conta a história geológica desse monumento natural (fotografia de Kátia Mansur).



Figura 10.18 – Placa ilustrativa da Fonte do Tororó (Salvador, BA). Projeto Caminhos Geológicos da Bahia (CPRM/Salvador) (fotografia de Antonio J. Dourado Rocha).

No Rio Grande do Norte, em janeiro de 2006, por intermédio do Instituto de Defesa do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA), em parceria com a PETROBRAS e CPRM/SGB-Natal, foi criado o Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte, com a finalidade de contar a história geológica potiguar em painéis explicativos. Até agora, 16 pontos de interesse geológicos, incluindo sítios geológicos do litoral e interior, foram selecionados e descritos (Figura 10.19).

Com a intenção de divulgar esses locais de interesse geológico, o referido projeto confeccionou também cartões-postais, possibilitando um conhecimento prévio do local que se pretende visitar geoturisticamente (Figura 10.20).

O Programa Geoecoturismo, da CPRM/SGB, cuja finalidade é promover a caracterização física de regiões de interesse geoturístico, tem como objetivo disseminar o conhecimento básico de geologia, informações geoambientais, geo-históricas e sobre o patrimônio mineiro entre as comunidades, profissionais e cidadãos em geral. No sítio da CPRM/SGB é possível obter informações detalhadas sobre os primeiros 17 diferentes produtos relacionados a esse programa. Há roteiros que abrangem a descrição de monumentos, feições e parques geológicos,



Figura 10.19 – Painele sobre a geodiversidade do Parque das Dunas (Natal, RN). Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte (fotografia de Marcos Nascimento).

afloramentos, cachoeiras, cavernas, sítios fossilíferos, patrimônio mineiro (minas desativadas), fontes termais, paisagens, trilhas/excursões e outras curiosidades geoturísticas. Dentre esses produtos, cabe destacar:

- Mapa de Trilhas e Pontos Turísticos do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia (1995).
- Mapa de Infra-Estrutura e dos Pontos Turísticos do Município de Morro do Chapéu, Bahia (1995).
- Mapa Ecoturístico Geológico do Projeto Porto Seguro-Santa Cruz de Cabralia, Bahia (2000).
- Roteiro Geológico sobre a Coluna White, Santa Catarina (2003).
- Excursões virtuais aos Aparados da Serra (RS) (2004) e Quadrilátero Ferrífero (MG) (2007).
- Participação no livro "Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil" (SCHOBENHAUS et al., 2002), com artigos científicos.

Além do Programa Geoecoturismo, a CPRM/SGB conta ainda com o Projeto Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000). Esse projeto tem o objetivo de oferecer aos diversos segmentos da sociedade brasileira uma tradução do conhecimento geológico-científico, com vistas a sua aplicação ao uso adequado do território, incluindo a prática do geoturismo. Pela primeira vez, foi apresentada à sociedade uma síntese dos grandes geossistemas formadores do território nacional, suas limitações e potencialidades, considerando-se a constituição litológica da supra- e infra-estrutura geológica. Foram abordadas, também, características geotécnicas, coberturas de solos, migração, acumulação e disponibilidade de recursos hídricos, vulnerabilidades e capacidades de suporte à implantação de diversas atividades antrópicas dependentes de fatores geológicos, como o geoturismo.

Essa iniciativa insere-se em um projeto maior – o de dotar o Brasil de cartas temáticas territoriais do meio físico como ferramentas de planejamento, em todas as áreas do campo de atribuições institucionais. Em 2007, iniciou-se a produção dos mapas de geodiversidade dos estados brasileiros, em escalas 1:1.000.000 a 1:500.000. O mapa de geodiversidade permite associar os geossistemas a regiões de



Figura 10.20 – Exemplo de cartão-postal criado pelo Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte para divulgação da geodiversidade potiguar.

interesse especial para estudos de geodiversidade, em particular, áreas de interesse para geoturismo e geoconservação, incluindo patrimônios paleontológicos e geomineiros, monumentos naturais, cavernas e paisagens de beleza cênica.

No XLII Congresso Brasileiro de Geologia, ocorrido em outubro de 2004, na cidade de Araxá (MG), ocorreram dois simpósios cujos trabalhos versavam sobre o trinômio geoturismo, geodiversidade e geoconservação: “Desenvolvimento Sustentável, Geologia e Turismo” (com 32 trabalhos apresentados) e “Monumentos Geológicos” (com 31 trabalhos). Destes 63 trabalhos, identificam-se, seguramente, 39 diretamente focados em aspectos do geoturismo. Esta foi a primeira edição de um congresso brasileiro de geologia a trazer à tona a temática do geoturismo e o único evento científico nacional, até então, a abordar tal tema.

Em dezembro de 2004, foi criado um grupo de discussão na internet, baseado no Yahoo Grupos, atualmente com 177 participantes de várias partes do Brasil, com a finalidade de levantar informações e discutir as temáticas geoturismo, geodiversidade e geoconservação. No grupo também são disponibilizadas publicações (artigos, projetos) e links para sítios que tratam do assunto.

Já em setembro de 2006, no XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, na cidade de Aracaju (SE), deu-se continuidade às discussões sobre a temática “geoturismo” durante o Simpósio Geoconservação e Geoturismo: Uma Nova Perspectiva para o Patrimônio Natural. Nesse evento, foram apresentados 41 trabalhos oferecendo uma panorâmica da situação atual das atividades relacionadas à geoconservação e ao geoturismo no Brasil. O evento contou ainda com palestra do geólogo português José Brilha (Universidade de Minho, Braga, Portugal), um dos principais incentivadores do assunto na Europa, com o tema “Geoconservação: Precisa-se... Porque só há uma Terra”. Um dos principais resultados desse encontro foi a elaboração e aprovação, por unanimidade, pela Assembléia da Sociedade Brasileira de Geologia (SBGeo), da Geocarta de

Aracaju, primeira declaração sobre o tema geoconservação e afins fora da Europa.

No início de fevereiro de 2007, foi disponibilizado na internet o sítio <<http://www.geoturismobrasil.com>>, cuja proposta é oferecer informações e imagens que possam contribuir para o desenvolvimento do geoturismo no Brasil. O Geoturismobrasil foi criado pelo geólogo e fotógrafo Antonio Liccardo e apresenta versões em português e inglês. Segundo o idealizador do sítio, a versão em inglês está proporcionando inúmeras visitas de estrangeiros, incluindo pesquisadores de geoturismo de outros países. É o primeiro sítio dedicado à divulgação desse segmento do turismo no Brasil. Nele, o visitante aprende o que é geoturismo, informando-se sobre os avanços dessa atividade no Brasil, além de acesso a artigos sobre o assunto e a imagens deslumbrantes da geodiversidade brasileira.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. Arquipélago de Fernando de Noronha: registro de monte vulcânico do Atlântico sul. In: SCHOBHENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 361-368. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio066/sitio066.pdf>>.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. Toca da Boa Vista (Campo Formoso), BA: a maior caverna do hemisfério sul. In: SCHOBHENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 443-451. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio019/sitio019.pdf>>.
- AULER, A.; ZOGBI, L. *Espeleologia: noções básicas*. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005. 104 p.
- BARETTINO, D.; WIMBLEDON, W. A. P.; GALLEGOS, E. (Eds.). *Geological heritage: its conservation and management*. Instituto Tecnológico Geominero España, Madrid, Spain, 2000. 212 p.
- BENNETT, M. R.; DOYLE, P.; LARWOOD, J. G.; PROSSER, C. D. *Geology on your doorstep: the role of urban geology in earth heritage conservation*. Geological Society of London, 1996. 270 p.
- BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG: berço da paleontologia e da espeleologia do Brasil. In: SCHOBHENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 415-430. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio015/sitio015.pdf>>.
- BERGQVIST, L. P.; MANSUR, K.; RODRIGUES, M. A.; RODRIGUES-FRANCISCO, B. H.; PEREZ, R. A. R.; BELTRÃO, M. C. M. C. Bacia São José de Itaboraí, RJ: berço dos

- mamíferos no Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2008. Publicado na internet em 25 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio123/sitio123.pdf>>.
- BOGGIANI, P. C.; SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I.; GESICKI, A. L.; PHILADELPHI, N. M.; PHILADELPHI, M. Gruta do Lago Azul, Bonito, MS: onde a luz do sol se torna azul. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2008. Publicado na internet em 23 fev. 2008. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio107/sitio107.pdf>>.
- BRILHA, J. B. R. *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Porto: Palimage, 2005. 190 p.
- BUCKLEY, R. Environmental inputs and outputs in ecotourism: geotourism with a positive triple bottom line? *Journal of Ecotourism*, n. 2, p. 76-82, 2003.
- CPRM. *Projeto Chapada Diamantina: Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. Informações Básicas para a Gestão Territorial: Diagnóstico do Meio Físico e da Vegetação*. Salvador: CPRM/IBAMA, 1994, 104 p.
- CROSTA, A. P. Domo de Araguinha, GO/MT: o maior astroblema da América do Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 531-540. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio001/sitio001.pdf>>.
- DARDENNE, M. A.; CAMPOS, J. E. G. Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, GO: sítio de grande beleza cênica do centro-oeste brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 323-333. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio96/sitio96.pdf>>.
- DELLA FÁVERA, J. C. Parque Nacional de Sete Cidades, PI: magnífico monumento natural. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 335-342. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio025/sitio025.pdf>>.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. A costa do descobrimento, BA: a geologia vista das caravelas. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 233-241. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio071/sitio071.pdf>>.
- DOWLING, R.; NEWSOME, D. *Geotourism: sustainability, impacts and management*. Elsevier, 2006. 352 p.
- DRM-RJ. *Projeto caminhos geológicos*. Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br>>.
- EDER, F. W.; PATZAK, M. Geoparks – geological attractions: a tool for public education, recreation and sustainable economic development. *Episodes*, v. 27, n. 3, p. 162-164, 2004.
- EMBRATUR. Instituto Brasileiro de Turismo. *Diretrizes para uma política nacional de ecoturismo*. Brasília, 1994. 48 p.
- GAROFANO, M. *Geoturismo: scoprire le bellezze della terra viaggiando*. Itália: DPS, 2003. 114 p.
- HOSE, T. A. Selling the story of Britain's stone. *Environmental Interpretation*, n. 2, p. 16-17, 1995.
- _____. European geotourism: geological interpretation and geoconservation promotion for tourists. In: BARETTINO D.; WIMBLEDON W. A. P.; GALLEGOS E. (Eds.). *Geological heritage: its conservation and management*. Instituto Tecnológico Geominero España, p. 127-146, 2000. 212p.
- KARMANN, I.; FERRARI, J. A. Carste e cavernas do parque estadual turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP: sistemas de cavernas com paisagens subterrâneas únicas. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 401-413. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio043/sitio043.pdf>>.
- _____; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, L. F. Poço Encantado, Chapada Diamantina (Itaetê), BA: caverna com lago subterrâneo de rara beleza e importância científica. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 491-498. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio091/sitio091.pdf>>.
- KELLNER, A. W. A. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE: um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 121-130. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio006/sitio006.pdf>>.
- LEONARDI, G.; CARVALHO, I. de S. Icnofósseis da bacia do rio do Peixe, PB: o mais marcante registro de pegadas de dinossauros do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; CAM-

- POS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 101-111. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio026/sitio026.pdf>>.
- MANSUR, K.; ERTHAL, F. O projeto caminhos geológicos e seus desdobramentos no estado do Rio de Janeiro. SIMPÓSIO 26. Monumentos geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 62., 2004. SBG: Araxá. *Anais...* CD-ROM.
- MEDINA, A. I. M. *Projeto geocoturismo do Brasil*. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL MINEIRO. Rio de Janeiro: CYTED-CPRM/SGB, 2005.
- MELO, M. S.; BOSETTI, E. P.; GODOY, L. C.; PILATTI, F. Vila Velha, PR: impressionante relevo ruiforme. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 269-277. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio029/sitio029.pdf>>.
- NASCIMENTO, M. A. L.; SOUZA, Z. S. Granito do cabo de Santo Agostinho, PE: único granito conhecido de idade cretácea do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Ed.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*, 2005. Publicado na internet em 15 abr. 2005. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio111/sitio111.pdf>>.
- _____; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. *Geodiversidade, geoconservação e geoturismo*: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. 86 p.
- ORLANDI FILHO, V.; KREBS, A. S. J.; GIFFONI, L. E. *Coluna White*: excursão virtual pela serra do rio do Rastro. Porto Alegre: CPRM/SGB, 2002. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>.
- PAIM, P. S. G. Minas do Camaquã, RS: marco da história da mineração de cobre no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 501-510. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio064/sitio064.pdf>>.
- PEDREIRA, A. J.; BOMFIM, L. F. C. Morro do Pai Inácio, BA: marco morfológico da Chapada Diamantina. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 307-312. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio072/sitio072.pdf>>.
- REIS, N. J. Monte Roraima, RR: sentinela de Macunaima. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2006. Publicado na internet em 10 fev. 2006. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio038/sitio038.pdf>>.
- RIBEIRO, L. C. B.; CARVALHO, I. S. Sítio Peirópolis e Serra da Galga, Uberaba, MG: terra dos dinossauros do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2007. Publicado na internet em 23 jul. 2007. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio028/sitio028.pdf>>.
- ROCHA-CAMPOS, A. C. Varito de Itú, SP: registro clássico da glaciação neopaleozóica. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 147-154. Publicado na internet em 23 jul. 2007. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio028/sitio028.pdf>>.
- ROSIÈRE, C. A.; RENGIER, F. E.; PIUZANA, D.; SPIER, C. A. Pico de Itabira, MG: marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E. T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D. A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2005. Publicado na internet em 21 jun. 2005. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio042/sitio042.pdf>>.
- RUCHKYS, U. A. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. 2007. 211 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- SALAMUNI, R.; SALAMUNI, E.; ROCHA, L. A.; ROCHA, A. L. Parque nacional do Iguaçu, PR: cataratas de fama mundial. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 313-321. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio011/sitio011.pdf>>.
- SCHOBENHAUS, C. *Projeto geoparques*: proposta de projeto. Brasília: CPRM/SGB, 2006. CPRM, 9 p. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep>>.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep>>.

SILVA, L. C. da; ANDRADE RAMOS, A. J. L. de. Pão de Açúcar, RJ: cartão postal geológico do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v. 1, 554 p. il. p. 263-268. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio067/sitio067.pdf>>.

STUEVE, A. M.; COOK, S. D.; DREW, D. *The geotourism study: phase I executive summary*. Travel Industry Association of America, 2002. 22 p.

UNESCO. *Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural*. 1972. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001333/133369por.pdf>>.

_____. *International Network of Geoparks*. 2004. Disponível em: <<http://www.unesco.org/science/earthsciences/geoparks/geoparks.htm>>.

UNESCO. *Guidelines and criteria for national geoparks seeking UNESCO's assistance to join the global geoparks network*. 2006. Disponível em: <<http://www.unesco.org/science/earth/geoparks.shtml>>.

WILDNER, W.; ORLANDI FILHO, V.; GIFFONI, L. E. 2004. Excursão virtual aos Aparados da Serra, RS/SC. Porto Alegre: CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>.

_____; _____. Itaimbezinho e Fortaleza, RS e SC: magníficos *canyons* esculpidos nas escarpas Aparados da Serra do planalto vulcânico da bacia do Paraná. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E.T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D.A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2006. Publicado na internet em 01 jul./2006. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio050/sitio050.pdf>>.

WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; QUEIROZ, E.T.; BERBERT-BORN, M.; CAMPOS, D.A. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2005, v. 2. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep>>.



MARCOS ANTONIO LEITE DO NASCIMENTO

Geólogo formado (1998) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre (2000) e doutor (2003) pela UFRN. Desenvolve pesquisas nas áreas de Petrologia Ígnea, Litogeoquímica e Geocronologia. Foi professor colaborador do Curso de Turismo da UFRN, na disciplina Recursos Naturais e o Turismo no RN; da Faculdade Natalense de Ensino e Cultura (FANEC), na disciplina Produto Ecoturístico; da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), nas disciplinas Geologia e Mineralogia e Geologia Aplicada à Engenharia. Atualmente, é geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), atuando como chefe do Projeto Mapeamento Geológico e Recursos Minerais da Folha Currais Novos (escala 1:100.000), coordenador do Projeto Monumentos Geológicos do Rio Grande do Norte e membro da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) pela CPRM/SGB. Experiência na área de Geociências, com ênfase em: Mapeamento Geológico, Petrologia Ígnea, Geocronologia, Geologia Aplicada e Geoturismo.



CARLOS SCHOBENHAUS

Geólogo formado (1964) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutor (1993) pela Albert-Ludwigs Universität, Freiburg (RFA). Participou da coordenação, edição e co-autoria de grandes projetos nacionais e sul-americanos de integração da geologia e recursos minerais, publicados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) e pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Destacam-se: Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (DNPM, 1974 a 1979; CPRM, 2004); Mapa Geológico do Brasil (DNPM, 1981; CPRM, 2001); Mapa Geológico da América do Sul (CGMW/DNPM/CPRM/UNESCO, 2000/2001); livros "Geologia do Brasil" (DNPM, 1984), "Principais Depósitos Minerais do Brasil" (6 volumes, DNPM/CVRD/CPRM, 1985 a 1997), "Metalogênese do Brasil" (CPRM/EdUnB, 2001) e "Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil" (CPRM, 2003). Vice-presidente para a América do Sul da Commission for the Geological Map of the World (CGMW) e membro fundador e presidente da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). Na CPRM/SGB, coordena os projetos SIG-América do Sul 1:1.000.000 e Geoparques do Brasil. Principais homenagens recebidas: Medalha Orville Derby (2002), da Sociedade Brasileira de Geologia (SBG); Comenda da Ordem do Mérito Cartográfico (2003), da Sociedade Brasileira de Cartografia; Medalha Irajá Damiani Pinto (2007), no Jubileu de Ouro da Escola de Geologia da UFRGS.



ANTONIO IVO DE MENEZES MEDINA

Geólogo formado (1967) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Trabalhou em pesquisa de carvão mineral na Bacia do Parnaíba (MA e TO), em mapeamentos geológico-geotécnicos para hidrelétricas, em áreas de riscos geológicos para Defesa Civil do estado do Rio de Janeiro. Coordenou e desenvolveu projetos ambientais na Engevix Engenharia S.A. Contratado em 1973 pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), executou e foi supervisor de projetos de Mapeamento Básico, Pesquisa de Carvão Mineral e Turfa em todo o território brasileiro. De 1996 a 2007, exerceu a função de coordenador executivo do Departamento de Gestão Territorial (DEGET), trabalhando na coordenação, análise e execução de projetos geoambientais e na coordenação do Projeto Geoecoturismo do Brasil. Pesquisador e autor do capítulo 3 – "Geologia Ambiental: Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável" – do livro *Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral* (CETEM/MCT, 2007).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Maria Angélica Barreto Ramos (*mabr@sa.cprm.gov.br*)

Samuel Viana (*samuel@rj.cprm.gov.br*)

Elias Bernard do Espírito Santo (*elias@sa.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Conceitos e Causas	164
Poluição atmosférica	167
Efeito estufa	168
Buraco na camada de ozônio	168
Aquecimento global	169
Ações da ONU	169
Fragilidades e inconsistências nos modelos do IPCC	170
Cenários Futuros	170
Ações Propostas	170
Geoindicadores	171
Sugestões de medidas de adaptações no Brasil	173
Bibliografia	173

CONCEITOS E CAUSAS

Mudanças climáticas constituem-se em flutuações do clima predominante de uma determinada região, que podem estender-se de algumas dezenas de anos (mais de 30-35 anos, segundo (AYOADE, 2002) até dezenas de milhares de anos (SUGUIO, 2008). A variação espacial e a flutuação temporal são características marcantes do tempo e do clima. A flutuação temporal do clima é uma característica que deve ser pesquisada e discutida com maiores detalhes, desde o passado longínquo (*paleoclima*), o passado recente e como o é no presente, permitindo a construção de modelos e a simulação de cenários climáticos futuros.

Para um melhor entendimento do estudo das flutuações climáticas, é necessário o entendimento dos conceitos de variabilidade, de anomalia e de mudança climática. Define-se a *variabilidade climática* como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica. Já *anomalia climática* refere-se a uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade. Já *mudança climática* é um termo que designa uma tendência de alteração da média no tempo.

Com os resultados dos estudos da paleoclimatologia, verifica-se que, ao longo da história da Terra, o clima apresentou variações em diferentes escalas de tempo e espaço. Tais escalas de tempo são correspondentes a períodos geológicos (na ordem de milhões de anos), períodos de registros históricos (na ordem de milhares de anos) e seculares ou instrumentais (períodos de 100 a 150 anos).

AYOADE (2002) classifica as teorias sobre os mecanismos que originam as mudanças climáticas em três categorias: terrestres, astronômicas e extraterrestres.

As terrestres são: deriva continental; vulcanismo; terremotos; maremotos; mudanças na topografia da Terra; variações na composição atmosférica; mudanças na distribuição das superfícies continentais e hídricas; variações na cobertura de neve e gelo. A essas causas naturais que envolveram fatores geológicos e geográficos, somam-se alguns exemplos, tais como:

1. A carência de grandes massas continentais antes de 2,5 G.a. ou bilhões de anos atrás, permitindo um transporte de calor mais eficiente e impedindo, assim, o crescimento de capas de gelo polar (ENDAL e SCHATTEN, 1982).

2. A semelhança da paleogeografia global do final do Pré-Cambriano, (cerca de 542 M.a. ou milhões de anos atrás) Permiano (cerca de 251 M.a.) e Pleistoceno (cerca de 11,7 AP Antes do Presente ou mil anos atrás), com grande massa continental nas regiões polares:

- Tais massas de terra serviam como plataforma de gelo (por exemplo, Groenlândia, 60° N). Esse tipo de ambiente favorece o não-derretimento durante o verão; uma alta reflexão da radiação solar (taxa de albedo elevada) pela neve e gelo reduzindo ainda mais a temperatura;

redução do nível do mar com exposição da plataforma continental.

- O baixo calor específico da Terra em relação à água faz com que as massas de terra se resfriem mais rapidamente que as massas de água nos pólos.

- Bacias fechadas promovem acumulações de gelo marinho.

3. A geografia continental influenciando na circulação oceânica:

- Paleoceno (cerca de 65,5 a 55,8 M.a.): no seu final, ocorreu a abertura dos mares da Noruega e Labrador favoreceu a passagem de correntes de água fria para o Atlântico norte (Figura 11.1).

- Eoceno-Mioceno Inferior (cerca de 49 a 24 M.a.): Apesar das incertezas quanto a sua cronologia, houve uma circulação circumpolar antes da formação da passagem do Drake, que separou Antártica da América do Sul, e permitiu um acúmulo de geleiras na Antártica; este evento ocasionou um grande declínio do CO₂ na atmosfera.

- Plioceno (cerca de 5,3 a 2,6 M.a.): o fechamento do Panamá (*Bolivar Trench*) a cerca de 3 M.a. precedeu a um resfriamento global semelhante ao do Permiano, quando a Pangéia formada no equador forçou uma circulação oceânica N-S. O fechamento do mar da Indonésia precedeu à desertificação africana (CAIN e MOLNAR, 2001).

4. Espalhamento do piso oceânico controlando o CO₂ atmosférico (BERNER et al., 1983). WORSLEY et al. (1986) sugerem que um ciclo de mudança climática de 0,5 G.a. seria resultado de ciclos de tectonismo, espalhamento do piso oceânico e mudança atmosférica. Efeitos do CO₂ atmosférico e Ca, Mg e HCO₃ no oceano:

- Espalhamento do piso oceânico: subducção em margem de placas resulta em metamorfismo de carbonatos. Vulcanismos injetam C subductado como CO₂ na atmosfera.

- *Feedback* negativo: acúmulo de CO₂ atmosférico aumenta a temperatura e acelera o intemperismo.

Atualmente, visto que 71% da superfície do nosso planeta são compostos por oceanos, uma das principais componentes do sistema climático da Terra é representada pela interação entre a superfície desses mares e a baixa atmosfera adjacente a ela. Os processos de troca de energia e umidade entre esses meios determinam o comportamento do clima; quaisquer alterações desses processos podem afetar o clima regional e global.

Um típico exemplo se refere às variações anormais de temperaturas superficiais das águas oceânicas e seus efeitos. Na última década, dois importantes fenômenos dessa natureza foram fortemente difundidos pela mídia, com origem específica no oceano Pacífico: O El Niño, quando se refere ao aquecimento anormal dessas águas, e o La Niña, de características opostas, referente ao esfriamento superficial das águas.

Informações obtidas no sítio da CPTEC/INPE, com base no livro de Oliveira (1999), consideram que o evento de El Niño e La Niña tem uma tendência a se alternar a cada 3-7



Figura 11.1 – Passagem das correntes no Atlântico norte e a corrente equatorial.

anos. Porém, de um evento ao seguinte, o intervalo pode mudar de 1 a 10 anos, representando uma alteração do sistema oceano-atmosfera no oceano Pacífico tropical, com consequências no tempo e no clima em todo o planeta. No caso do aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos determinam mudanças nos padrões de transporte de umidade; portanto, variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura. Por outro lado, com o resfriamento superficial das águas, os ventos alísios se tornam mais intensos e um maior volume de água fica “represado” no Pacífico Equatorial Oeste, ocasionando um desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental. Essas águas “represadas” e mais quentes geram maior evaporação e movimentos ascendentes, que, por sua vez, aumentam a concentração de nuvens de chuva, ao passo que no Pacífico Equatorial Oriental os processos de ressurgência se intensificam (Figuras 11.2 e 11.3).

As causas extraterrestres seriam as variações na quantidade de radiação solar (*output solar*) e na absorção da radiação solar exterior à atmosfera terrestre.

As principais causas astronômicas são: variações da excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol, podendo ser mais elíptica ou mais circular; obliquidade, que é a alteração do ângulo entre o eixo da Terra e o plano da elíptica – segundo Henderson-SELLERS e ROBINSON (1999),

esse ângulo varia de 22 a 24,5°, com um período de 40.000 anos; precessão da localização do periélio (ponto na órbita da Terra no qual o planeta passa mais próximo ao Sol), ou seja, devido à atração gravitacional de outros planetas, o ponto do periélio muda de posição causando a precessão dos equinócios.

Alguns impactos de corpos celestes (meteoritos) registrados ao longo da história terrestre podem ter sido responsáveis por alterações climáticas, que causaram episódios de extinções em massa de diversas espécies, tanto animais quanto vegetais. Dentre esses episódios, o mais famoso, que supostamente teria ocasionado a extinção dos dinossauros, marcando o fim do Cretáceo a cerca de 65,5 M.a., tem como principal teoria um “bombardeamento” de asteróides na superfície da Terra (HECHT, 1993).

Há evidências de que as erupções vulcânicas afetam o comportamento do clima em curtos períodos de tempo e, possivelmente, influenciam as alterações de longa duração. Esse processo se dá pela liberação de gases vulcânicos constituídos principalmente por cinzas e SO₂. Esse gás interage com o vapor de água da estratosfera, formando aerossóis que, ao interceptarem a luz solar, diminuem a temperatura da superfície terrestre e da própria atmosfera.

SELF et al. (1996) relataram que a erupção do monte Pinatubo, nas Filipinas, em 1991, formou uma nuvem com cerca de 22 milhões de toneladas de SO₂ com sensível queda da temperatura global (ca. 0,5° C) nos anos se-

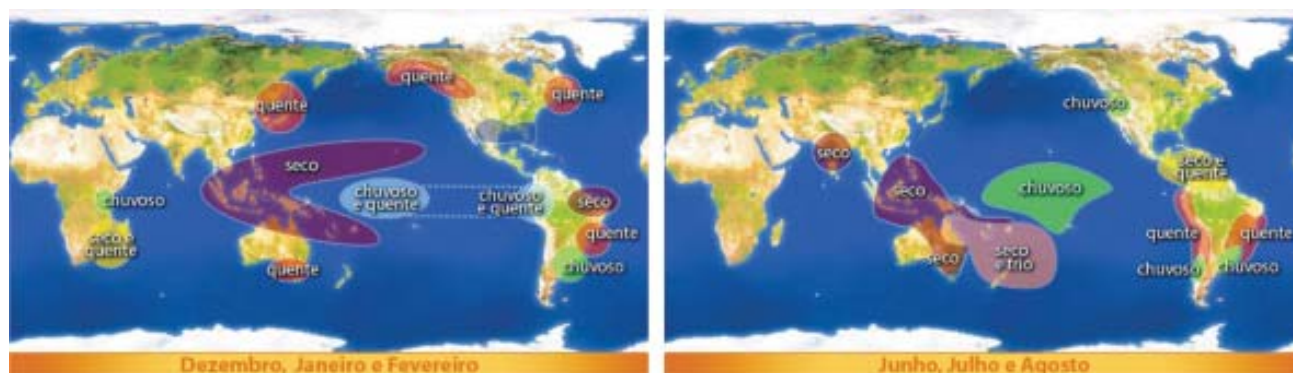


Figura 11.2 – Variações no clima decorrente do fenômeno El Niño.



Figura 11.3 – Variações no clima decorrente do fenômeno La Niña.

guintes. Um similar fenômeno ocorreu em abril de 1815 com a erupção do vulcão Tambora (Indonésia), a mais poderosa erupção registrada na história, responsável pelo resfriamento global da temperatura em 3° C. Em algumas partes da Europa e América do Norte, o ano de 1816 foi conhecido como “o ano sem verão” (KIOUS e TILLING, 1996). Invernos mais quentes e verões mais frios que a média, sobre áreas continentais do hemisfério Norte, têm sido registrados e modelados após diversas erupções vulcânicas (GROISMAN, 1992; ROBOCK e LIU, 1994).

A Terra, desde sua origem, há aproximadamente 4,6 bilhões de anos, sempre esteve em constantes mudanças de temperatura, alternando longos períodos de aquecimento e glaciação causados por fenômenos naturais.

Em recente trabalho efetuado por BRANCO e MARQUES (2008) são apresentadas abaixo as principais mudanças geológicas e climáticas ocorridas na Terra:

Proterozóico (2500 a 542 M.a.): extinção das bactérias anaeróbicas e extensa glaciação há 1,5 bilhões de anos, intensa atividade orogenética.

Paleozóico/Cambriano (542 a 488 M.a.): explosão evolutiva dos animais.

Paleozóico/Permiano Superior (260 a 251 M.a.): extinção de 95% das espécies e formação do Pangea no seu final.

Mesozóico/Triássico (251 a 199,6 M.a.): no sul do Brasil o clima foi árido, originando um vasto deserto;

Mesozóico/Jurássico (199,6 a 145,5 M.a.): a Terra “rachou ao meio”, com intenso vulcanismo basáltico e separação dos continentes.

Mesozóico/Cretáceo (145,5 a 65,5 M.a.): no seu final, houve a extinção em massa de grandes répteis (dinossauros), tendo duas hipóteses: mudanças climáticas e/ou colisão na Terra de um imenso meteorito.

Cenozóico/ Neógeno/Mioceno (23 a 5 M.a.): climas mais áridos no interior dos continentes, favoráveis a expansão de campos e cerrados; início da formação de geleiras na Antártica.

Cenozóico/Neógeno/Plioceno (5 a 1,8 M.a.): grande diversificação dos campos e savanas, o clima passa de tropical para mais frio, com vastas áreas glaciais, provocando um esfriamento global; 75% das espécies sobrevivem até o presente.

Cenozóico/Quaternário/Pleistoceno (1,8 M.a. a 11,7 AP): na época máxima de glaciação do Hemisfério Norte, quase 30% de toda a superfície dos continentes estavam cobertas por uma camada de gelo e ocorria gelo no mar em ambas regiões polares. Como consequência desta grande remoção de água livre no sistema global, houve uma queda acentuada do nível do mar e de pluviosidade; existem evidências mostrando que existiram quatro períodos de muito frio no Hemisfério Norte no Pleistoceno, o primeiro deles há 600 k.a.; em todas estas épocas, as geleiras do Ártico expandiram-se para as regiões de latitudes

mais baixas da Eurásia e América do Norte e, nas épocas mais quentes, as geleiras retraíram para o Norte; no Hemisfério Sul, a glaciação foi muito mais limitada e, na maioria das vezes, confinada às altitudes maiores, como por exemplo nos Andes; há 20 AP, o planeta vivia o ápice de uma era glacial; durante este período a plataforma continental brasileira estava quase completamente exposta, dado a quantidade de gelo retida nas calotas polares o que fez o nível do mar recuar mais de 100 metros verticalmente (ou 100 km em relação à linha de costa atual) formando uma extensa planície costeira; embora o domínio glacial não tenha atingido o Brasil, o clima desta época era consideravelmente mais seco.

Cenozóico/Quaternário/Holoceno (11,7 AP): no Primeiro Ótimo Climático (8.000 AP), o clima transformou-se em quente e úmido, havendo subida do nível do mar de até 5 metros. O Segundo Ótimo Climático (200-1000 DC Depois de Cristo), originou um clima ameno no hemisfério norte. Dentre as mudanças climáticas mais recentes tem-se a Pequena Idade do Gelo, quando a temperatura média era inferior à atual, que se estendeu de 1540 até 1890. Neste intervalo de tempo o recrudescimento do frio ocorreu em três etapas: de 1540 a 1680, de 1740 a 1770 e entre 1800 a 1890. Os limites do fenômeno de resfriamento foram diferenciados de local para local, mas acredita-se que a temperatura média durante a Pequena Idade do Gelo tenha chegado a ser 2° C inferior a atual.

A partir do final do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, o planeta passou a enfrentar uma nova realidade: a utilização intensiva de combustíveis fósseis para gerar energia para indústrias e veículos, a destruição das florestas pelo desmatamento e queimadas, a expansão das atividades agropecuárias de forma não sustentável, são apenas alguns itens que contribuem para a imensa quantidade de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e outros gases lançados na atmosfera. Esses gases passaram a interferir nas condições naturais, constituindo-se em agentes preponderantes para o aumento da temperatura do planeta.

Dentre as possíveis causas de mudanças climáticas geradas pela ação do homem em consequência de alterações na concentração de componentes atmosféricos, podem ser citados:

Poluição Atmosférica

Resulta da emissão de gases poluentes ou de partículas sólidas na atmosfera. Destacam-se, por suas emissões, as unidades industriais e de produção de energia, como a geração de energia elétrica por meio de termoeletricas; refinarias; fábricas de pasta de papel; siderúrgicas; cimenteiras; indústria química e de adubos (Figura 11.4).

A utilização de combustíveis para a produção de energia é responsável pela maior parte das emissões de dióxido de monóxio (SO_2), trióxido de monóxio (SO_3) e CO_2 , contribuindo, ainda, de forma significativa



Figura 11.4 – Pólo petroquímico de Cubatão. (disponível em: <cienciaecultura.bvs.br/>).

para as emissões de monóxido de carbono (CO). O uso de solventes em colas, tintas, produtos de proteção de superfícies, aerossóis, limpeza de metais e lavanderias é responsável pela emissão de quantidades apreciáveis de compostos orgânicos voláteis. Outras fontes poluidoras em certas condições podem se tornar relevantes, tais como: a queima de resíduos urbanos, industriais, agrícolas e florestais, feita, muitas vezes, em situações incontroladas; a queima de resíduos de explosivos, resinas, tintas, plásticos e pneus; incêndios florestais; uso de fertilizantes e o excesso de concentração agropecuária são os principais contribuintes para as emissões de metano, amoníaco (NH_3), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3); por último, as fontes móveis, sobretudo os transportes rodoviários, devido à emissão de gases de escape, mas também como resultado da evaporação de combustíveis. São os principais emissores de óxido de nitrogênio (NO), nitrogênio (N), CO e CO_2 , além de serem responsáveis pela emissão de poluentes específicos, como o chumbo (Pb) (Figuras 11.5 e 11.6).



Figura 11.5 – Foco de incêndio em área florestal do Paraná (disponível em: <<http://www.ambienteemfoco.com.br/>>).



Figura 11.6 – Fluxo de veículos em um centro urbano (disponível em: <<http://www.ambienteecologico.com>>).

Efeito estufa

O fenômeno do efeito estufa ocorre devido à presença natural de gases, como o dióxido de carbono, o metano e o vapor de água em nossa atmosfera, que permite que parte da energia emitida pelo Sol seja aprisionada.

De acordo com GORE (2006), quando a energia do Sol incide na atmosfera sob a forma de ondas de luz aquecendo a Terra, parte dessa energia é refletida e volta a irradiar-se pelo espaço, sob a forma de ondas infravermelhas. Em condições normais, uma parte dessa radiação é naturalmente retida pela atmosfera – e isso é bom, pois mantém a temperatura da Terra dentro de limites confortáveis (Figura 11.7).

Assim, o efeito estufa é um fenômeno natural que mantém o planeta aproximadamente 30° C mais quente em comparação à Terra sem a presença da atmosfera (HENDERSON-SELLERS e ROBINSON, 1999).

Ainda segundo GORE (2006), o problema enfrentado agora é que a fina camada atmosférica está se tornando mais espessa em consequência da enorme quantidade

de dióxido de carbono e outros gases-estufa produzidos pelo homem. A atmosfera, agora mais densa, retém grande parte da radiação infravermelha que deveria escapar e se irradiar pelo espaço. Como resultado, a temperatura da atmosfera terrestre – e também dos oceanos – está se tornando perigosamente mais alta, transformando a Terra em uma grande “estufa”.

Dentre os gases causadores do efeito estufa, o CO₂ em geral é considerado o principal culpado, pois responde por 80% do total de emissões de gases-estufa. Isso acontece quando são queimados combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão), seja em casa, carros, fábricas, usinas elétricas, seja na queima de florestas ou na produção de cimento (GORE, 2006).

Também podem ser citados metano (CH₄) e óxido de nitrogênio (NO), que já existiam na atmosfera, mas tiveram suas concentrações aumentadas de forma expressiva em decorrência da atividade humana. Atualmente, 60% do metano na atmosfera são produzidos pelo homem: aterros sanitários, fazenda de criação de animais, queima de combustíveis fósseis, tratamento de água e esgoto e outras atividades (GORE, 2006).

O óxido nitroso (N₂O), pela atividade humana, teve um incremento de mais de 17% na atmosfera provindo de fertilizantes, de combustíveis fósseis, de queima de floresta e de resíduos de plantações.

Também como causadores do efeito estufa podem ser citados: hexafluoreto de enxofre (SF₆), PFCs (perfluorcarbonos), HFCs (hidrofluorcarbonetos), que são exclusivamente produzidos pela atividade humana. Os PFCs e os SF₆ são liberados na atmosfera por atividades industriais, como a fundição de alumínio e a fabricação de semicondutores, assim como pela rede elétrica.

Finalmente, o vapor de água, que é um gás-estufa natural que aumenta de volume com a elevação das temperaturas, ampliando o impacto de todos os outros gases-estufa artificiais (GORE, 2006).

Buraco na Camada de Ozônio

Com o desenvolvimento industrial, foram utilizados durante muito tempo os chamados clorofluorcarbonetos (CFCs). Sua emissão provinha de sistemas de refrigeradores e constituía gases-estufa muito potentes que, ao atingir a camada de ozônio, destruíam as moléculas de ozônio (O₃) que a formam, causando, assim, a destruição dessa camada da atmosfera (Figura 11.8).

A camada de ozônio, situada na estratosfera, constitui uma fina capa que envolve a Terra e a protege de vários tipos de radiação, sendo que a principal delas, a radiação ultravioleta, é a principal causadora de câncer de pele.

A partir do Protocolo de Montreal, assinado por 180 países em 1997, com o compromisso de reduzir a emissão de gases clorofluorcarbonetos (CFCs), começou a haver uma diminuição do buraco na camada de ozônio (Figura 11.9). Depois de alcançar o tamanho máximo de 29



Figura 11.7 – Mecanismos de atuação do efeito estufa (disponível em: <<http://www.rudzerhost.com/ambiente/estufa.htm>>).

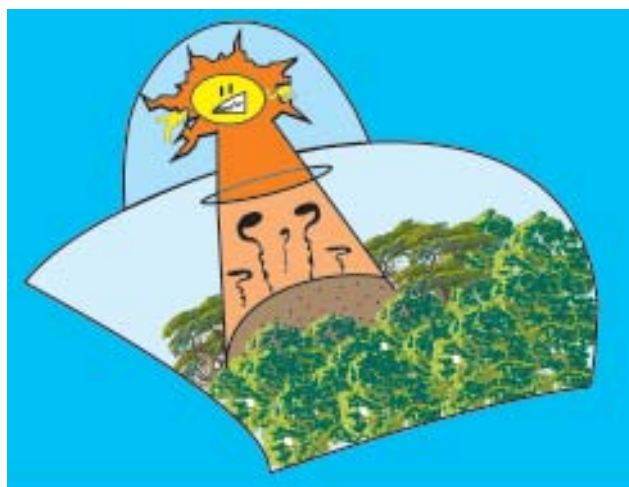


Figura 11.8 – Esquema ilustrativo do buraco na camada de ozônio (disponível em: <<http://www.canalkids.com.br/.../imagens/buraco.gif>>).

anos. Entretanto, o significado desse aumento de temperatura ainda é objeto de muitos estudos entre os cientistas. Causas naturais ou antropogênicas (provocadas pelo homem) têm sido propostas para explicar o fenômeno.

De fato, têm sido detectadas subidas de nível do mar, atribuídas ao degelo como consequência do aumento de temperatura durante o século XX. Entretanto, no momento não há testemunhos para se atribuir esse aumento de temperatura a um ciclo natural do clima ou às atividades industriais. Talvez as causas antrópicas estejam até mesmo acelerando um processo que já estaria em caminhar.

Dentre as causas antropogênicas, a interação da poluição atmosférica, do efeito estufa e do aumento do buraco da camada de ozônio são consideradas as mais prováveis causadoras das alterações climáticas e, consequentemente, pelo aquecimento global. No que se refere a essas causas, podemos, no entanto, atuar para minimizar os seus efeitos, o que tem sido alvo de conferências e acordos entre nações nas últimas décadas.

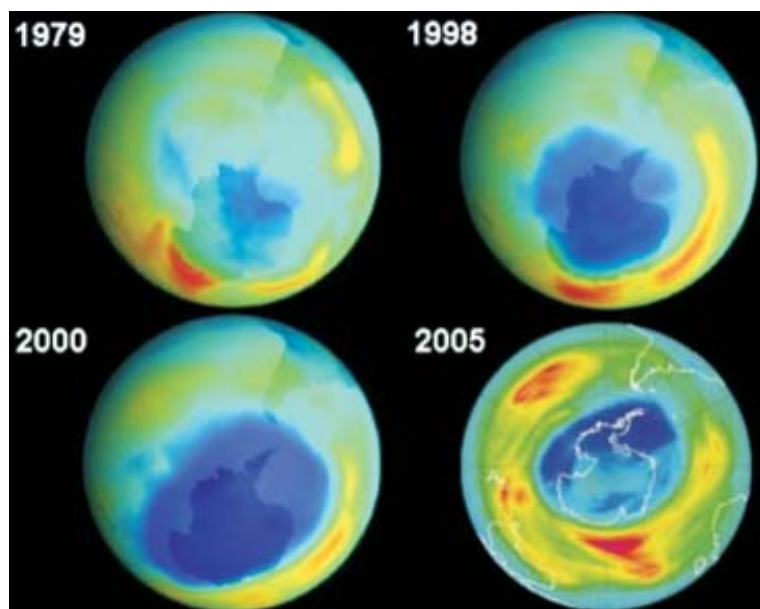


Figura 11.9 – Sequência de imagens que mostram a diminuição do tamanho do buraco na cama da de ozônio (disponível em: <blog.estadao.com.br/blog/media/>).

milhões de km² em 2003, ele encolheu para 27 milhões de km² no ano de 2006. Porém, o ritmo de sua recuperação é mais lento que o previsto inicialmente pelos cientistas. Segundo as novas medições, a camada de ozônio sobre as áreas mais habitadas do planeta só voltará aos níveis da década de 1970 por volta do ano 2049. E o buraco sobre o pólo Sul não vai fechar antes de 2065, ou seja, 15 anos mais tarde do que os cientistas esperavam.

Aquecimento Global

O aquecimento global é um fenômeno climático de larga extensão – um aumento da temperatura média superficial global que vem acontecendo nos últimos 150

AÇÕES DA ONU

Em 1988, a Organização das Nações Unidas (ONU), a partir da percepção de que a ação humana poderia estar exercendo uma forte influência sobre o clima do planeta e que seria necessário acompanhar esse processo, criou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que é um órgão composto por delegações de 130 governos para prover avaliações regulares sobre as mudanças climáticas.

Desde então, o IPCC tem publicado diversos documentos e pareceres técnicos. O primeiro Relatório de Avaliação sobre o Meio Ambiente (Assessment Report, ou, simplesmente, AR) foi publicado em 1990 e reuniu argumentos em favor da criação da Convenção do Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC), a instância em que os governos negociam políticas referentes às mudanças climáticas.

O segundo relatório do IPCC foi publicado em 1995 e acrescentou ainda mais elementos às discussões que resultaram na adoção do Protocolo de Kyoto dois anos depois, graças ao trabalho da UNFCCC. O terceiro relatório do IPCC foi publicado em 2001. Em 2007, o grupo publicou seu quarto relatório.

Desde o primeiro relatório, o trabalho do IPCC, produzido por três grupos de trabalho, é publicado em quatro etapas.

O primeiro grupo é responsável pelo primeiro capítulo, que reúne evidências científicas de que a mudança climática se deve à ação do homem; o segundo grupo trata das consequências da mudança climática para o meio ambiente e para a saúde humana; o terceiro grupo estuda maneiras de se combater as mudanças climáticas e prover

alternativas de adaptação das populações. Posteriormente, é gerado um capítulo que sintetiza as conclusões dos anteriores.

No relatório IPCC (2007), pela primeira vez, os cientistas demonstraram confiança de que a mudança climática contemporânea se deve em grande parte à ação humana, sobretudo por meio da emissão de gases como dióxido de carbono, óxido nitroso e metano, que causam o efeito estufa. Essa ação seria a principal responsável pelo aquecimento global nos últimos 50 anos, cujos efeitos se estenderiam a outros aspectos do clima, como elevação da temperatura dos oceanos, variações extremas de temperatura e até padrões dos ventos.

Para o IPCC, os países poderiam diminuir os efeitos maléficos do aquecimento global, estabilizando em um patamar razoável as emissões de carbono até 2030, o que custaria cerca de 3% do PIB mundial.

Fragilidades e inconsistências nos modelos do IPCC

Segundo BRANCO e MARQUES (2008), a Terra tem sofrido oscilações periódicas de temperatura e clima, que podem ser associadas à quantidade de radiação solar sobre a sua superfície. Estas variações, em ciclos maiores de aproximadamente 1100, 80 e 11 anos, também são influenciadas por outros fatores, como a órbita elíptica da Terra em torno do Sol, inclinação do eixo de rotação da Terra e oscilação desse eixo. GERHARD, L. C. (2007) apresenta dados que demonstram que a temperatura da Terra no hemisfério norte apresenta covariância forte com a irradiação e não com a variação do CO₂ na atmosfera.

Projeções dos modelos climáticos permitem a geração de cenários de clima no futuro, mas ainda não distinguem ou separam os efeitos da variabilidade natural do clima, da variabilidade induzida pelo homem. Efeitos como as explosões dos vulcões podem produzir um esfriamento da atmosfera que pode durar até dois anos, mas o aquecimento continua depois. Níveis de confiança nas previsões podem ser maiores se for considerado o impacto de incremento nas concentrações dos gases de efeito estufa nas mudanças dos componentes dos balanços de energia e hidrológicos globais, enquanto que pode haver pouca confiança em previsões de mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos de tempo e clima (*El Niño*, períodos secos, chuvas intensas, frequência e intensidade de ciclones tropicais e furacões, tornados, etc.).

Estudos da Oscilação em Ciclos de 25-30 anos da temperatura do Pacífico (PDO) e do Atlântico Norte (NAO), conhecidas e monitoradas desde 1880, as quais apresentavam uma forte correlação com flutuações glaciais e os *sunspots* (manchas escuras que aparecem no Sol), que correspondem a fortes campos magnéticos (primeiramente observadas por Galileo Galilei em 1610, e monitoradas diariamente desde 1749) <http://icecap.us/images/uploads/GSA.pdf>, foram validados e anunciados pelo JPL-NASA,

comprovam que as previsões catastróficas do aquecimento global feitas pelo IPCC são altamente inaccuradas e imprecisas, evidenciando-se o oposto, com maior clareza para as projeções feitas até 2040, que estamos terminando um ciclo de aquecimento e iniciando décadas de resfriamento global, com base nos estudos do Prof. Don Easterbrook, em 2001, 2006, 2007, publicados na GSA.

CENÁRIOS FUTUROS

Com os dados disponibilizados nas pesquisas, os cientistas preparam modelos de previsão simulando cenários futuros que podem se apresentar mais ou menos favoráveis.

Dentre tais cenários, o IPCC estima que até o fim deste século a temperatura da Terra deva subir entre 1,8° C e 4° C, o que aumentaria a intensidade de tufões e secas, ameaçando cerca de um terço das espécies do planeta, juntamente com uma maior vulnerabilidade das populações frente às doenças e escassez de comida.

O grupo também calcula que o derretimento das camadas polares pode fazer com que os oceanos se elevem entre 18 cm e 58 cm até 2100, fazendo desaparecer pequenas ilhas e obrigando centenas de milhares de pessoas a engrossar o fluxo dos chamados “refugiados ambientais” – pessoas que são obrigadas a deixar o local onde vivem em consequência da piora do meio ambiente.

A estimativa do IPCC é de que mais de um bilhão de pessoas poderiam ficar sem água potável por conta do derretimento do gelo no topo de cordilheiras importantes, como Himalaia e Andes. Essas cordilheiras geladas servem como “depósitos naturais” que armazenam a água da chuva e a liberam gradualmente, garantindo um abastecimento constante dos rios que sustentam populações ribeirinhas.

Em seu segundo relatório, o IPCC alerta que partes da Amazônia podem virar savana e que há a possibilidade de 50% da maior floresta tropical do mundo se transformarem parcialmente em cerrado. Há riscos também para o Nordeste brasileiro, que poderia ver, no pior cenário, até 75% de suas fontes de água desaparecerem até 2050. Os manguezais também seriam afetados pela elevação do nível da água.

MARENGO (2006) afirma que, apesar de a contribuição do Brasil para a concentração global de gases de efeito estufa ser menor que a dos países industrializados, a contribuição devido a queimadas (fumaça e aerossóis) é bastante elevada. O Brasil é o quarto maior emissor do planeta, quando são levados em conta os gases lançados na atmosfera em consequência de queimadas que ocasionam desmatamento.

AÇÕES PROPOSTAS

Há várias maneiras de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, como diminuir o desmatamento, incentivar o uso de energias renováveis não-convencionais, prática da eficiência energética e reciclagem de materiais,

melhoria do transporte público, programas de educação ambiental etc.

Outras ações passíveis de serem adotadas por um cidadão comum, por mais simples que sejam, quando visto de forma coletiva, também contribuem para a diminuição do aquecimento do planeta. Essas ações incluem: economia de energia, redução do desperdício de água, substituição de carros populares por transporte coletivo eficiente ou veículos que utilizem combustíveis menos poluentes, como o biocombustível ou álcool, utilização de energias limpas, recuperação e preservação de áreas verdes das grandes cidades.

Como consequência de uma série de eventos envolvendo diversos países, deu-se início, a partir de 1997, em Kyoto (Japão), à discussão e assinatura de um tratado internacional que visasse à redução da emissão de gases que provocam o efeito estufa (GEE). Esse tratado, conhecido como “Protocolo de Kyoto”, prevê o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como um dos mecanismos de flexibilização para auxiliar no processo de redução desses gases na atmosfera.

Com esse mecanismo, os países desenvolvidos têm até 2012 para reduzir suas emissões em 5,2%, na média, com relação aos níveis de 1990, para dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, e aos níveis de 1995 para hexafluoreto de enxofre – SF₆ e famílias de hidrofluorcarbonos – HFC e perfluorcarbonos – PFC.

Além de cortar localmente suas emissões, os países desenvolvidos podem também comprar uma parcela de suas metas em créditos de carbono gerados em projetos em outros países.

O Protocolo de Kyoto entrou em vigor a partir de 16 de fevereiro de 2005, com o objetivo de diminuição da temperatura global nos próximos anos. Entretanto, a Austrália e os Estados Unidos (EUA) não aceitaram o acordo, alegando que este prejudicaria seus respectivos desenvolvimentos industriais, sendo os EUA o país que mais emite poluentes no mundo.

Após a conclusão da quarta avaliação do IPCC em 2007, membros da UNFCCC na 13ª Conferência das Partes sobre o Clima (COP-13), realizada em Bali na Indonésia, aprovaram o Mapa do Caminho. Esse documento define o conteúdo e o prazo das negociações que, em 2009, definirão o novo regime de proteção ao clima e ao combate do aquecimento global após 2012, quando expira o Protocolo de Kyoto.

Em nível nacional, foi criado o Grupo de Pesquisa em Mudança Climática (GPMC), que tem como objetivo o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema, incluindo estudos de monitoramento para caracterizar o clima do presente e sua variabilidade em longo prazo, assim como projeções de cenários futuros para modelamento do clima até o final do século, de acordo com variadas taxas de emissões de gases de efeito estufa. O GPMC é liderado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Entre os membros, há pesquisadores que trabalham nas áreas de mudanças de clima, análises de vulnerabilidade, estudos de impactos de diversas instituições, incluindo: universidades públicas federais, como a Universidade de São Paulo (USP); fundações, como a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS); instituições do governo federal, como Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Fundação Osvaldo Cruz (FIOCRUZ), Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), dentre outras; centros estaduais de meteorologia e organizações não-governamentais, como World Wide Fund for Nature (WWF), Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) e Greenpeace. O grupo também trabalha em conjunto com o Programa Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil e com programas nacionais de alguns países da América do Sul.

Geoindicadores

Outra importante ferramenta que tem sido divulgada nos últimos anos pela comunidade científica se refere à utilização de geoindicadores. Com base nos trabalhos de BERGER & IAMS (1996) e BERGER (1997), a IUGS, através da (Comission on Geological Sciences for Environmental Planning (COGEOENVIRONMENT), promoveu diversos encontros que culminaram na Iniciativa GEOIN <http://www.lgt.lt/geoin/>, que estabeleceu 27 geoindicadores básicos que foram usados em diversos trabalhos no Brasil e em diversos países, sobre diversos temas relacionados às mudanças climáticas, seus impactos e ações de adaptação, principalmente, e prevenção.

Os Geoindicadores são medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de processos geológicos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre ou próximo a esta, sujeitos a mudanças significativas para o entendimento de mudança ambiental em períodos de, no máximo, 100 anos (podendo se estender para 100-200 anos). Seu conhecimento e monitoramento é um importante subsídio para as medidas de adaptação e ao desenvolvimento sustentável. Tais indicadores são baseados em métodos padronizados e procedimentos de monitoramento multidisciplinares, com base científica, a partir de dados de geologia, geoquímica, geomorfologia, geofísica, hidrologia e outras ciências da Terra, no intuito de se avaliar as condições de ambientes terrestres e costeiros, tanto em nível local quanto global, para então entender as causas e efeitos produzidos por esforços antrópicos ou naturais adicionados ao sistema.

As colunas da direita do Quadro 11.1 são uma tentativa de mostrar a importância relativa das forças naturais, em contraste com as tensões induzidas pelo homem, nas causas da mudança que um determinado geoindicador controla (BERGER, 1998).

A aplicação desses parâmetros, que determinam alterações nas paisagens, tanto em áreas urbanas quanto ru-

Quadro 11.1 – Lista dos geoindicadores e respectivas influências das tensões humanas e das forças naturais

Geoindicadores	Mudanças ambientais que refletem	Forças naturais	Tensões humanas
Zonas áridas e semi-áridas			
Crostras e fissuras em superfície desértica	Aridez	1	2
Formação e reativação de dunas	Velocidade e direção dos ventos, umidade, aridez, disponibilidade de sedimentos	1	2
Magnitude, duração e frequência de tempestade de areia	Transporte de areia, aridez, uso do solo	1	2
Erosão eólica	Clima, uso do solo, cobertura vegetal	1	2
Criosfera			
Atividade de solo congelado	Clima, hidrologia, movimento de talude	1	2
Flutuações de geleiras	Precipitação, insolação, fluxo de derretimento	1	3
Zonas costeiras e marinhas			
Química do coral e padrão de crescimento	Temperatura da água de superfície e salinidade	1	1
Nível relativo do mar	Subsidência e elevação costeira, clima, extração de fluidos, sedimentação e compactação	1	2
Linha da costa	Erosão costeira, transporte e deposição de sedimentos, uso do solo, nível do mar, clima	1	1
Lagos			
Níveis e salinidade de lagos	Clima, uso do solo, fluxo de água (vazão), circulação da água subterrânea	1	1
Rios e riachos			
Fluxo de corrente	Clima, precipitação, bacia de drenagem, uso do solo	1	1
Morfologia de canal	Carga de sedimento, velocidade de fluxo, clima, uso de solo, subsidência	1	1
Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	Transporte de sedimento, taxa de fluxo, bacia de drenagem, uso de solo	1	1
Áreas úmidas			
Extensão, estrutura e hidrologia de terras úmidas	Uso do solo, clima, produtividade biológica, vazão de fluxo	1	1
Águas de superfície e subterrâneas			
Qualidade de água de superfície	Clima, uso do solo, interações água-solo-rocha, velocidade de fluxo	1	1
Qualidade da água subterrânea	Uso do solo, contaminação, alteração de rocha e solo, radioatividade, precipitação de ácidos	2	1
Química da água subterrânea na zona não saturada	Alteração de solos e rochas, clima, uso do solo	1	1
Nível da água subterrânea	Clima, impermeabilização e recarga	2	1
Atividade cárstica	Química e fluxo da água subterrânea, clima, cobertura vegetal, processos fluviais	1	2
Solos			
Qualidade do solo	Processos químicos, biológicos e físicos no solo, uso do solo	2	1
Erosão de solos e sedimentos	Clima, tempestade de água, vento, uso do solo	1	1
Riscos naturais			
Deslizamento de encostas	Estabilidade de taludes, movimentos lentos e rápidos de massa, uso do solo, precipitação	1	1
Sismicidade	Natural e induzida pelo homem liberando tensões da Terra	1	2
Atividade vulcânica	Movimento de magma próximo à superfície, liberação de gases magmáticos, fluxos de calor	1	3
Outros			
Seqüência e composição de sedimentos	Clima, uso do solo, erosão e deposição	1	1
Regime de temperatura de subsuperfície	Clima, fluxo de calor, uso do solo, cobertura vegetal	1	2
Deslocamento da superfície	Sublevação e subsidência da Terra, falhamento, extração de fluidos	1	2

Nota: 1 = Forte influência; 2 = Pode influenciar; 3 = Pouca influência
 Fonte: BERGER (1997, 1998).

rais, tem sido uma importante ferramenta entre gestores e pessoas que tomam decisões. Os geoindicadores podem ajudar a determinar impactos ambientais, monitorar ecossistemas de forma contínua, selecionar práticas de reflorestamento e determinar condições de base prévias para todo o planejamento de exploração mineral, usos da terra, construções de vias, canais, desvios de rios etc.

No caso de um país de dimensões continentais como o Brasil, com grande diversidade de paisagens, clima, fauna, flora, uso do solo etc., é de extrema necessidade, a partir de ações integradas entre órgãos governamentais, universidades e organizações e pesquisadores autônomos, o estabelecimento de uma rede nacional de geoindicadores integrada às demais redes internacionais. Dos 27 geoindicadores propostos por BERGER (1997), com exceção daqueles relacionados às atividades vulcânicas ou geleiras, praticamente todos podem ser incorporados à realidade brasileira.

O conhecimento de nosso ambiente, a partir de métodos científicos, precederia às tomadas de decisões necessárias, tanto para minimizar os impactos antrópicos causados no meio, quanto ao desaceleramento das mudanças, ainda que ocorram a partir de causas naturais, ou até para a adaptação humana às novas condições ambientais, quando estas se tornam irreversíveis.

Sugestões de Medidas de Adaptação no Brasil

Apesar das críticas ao modelo do IPCC por não considerar os dados das ciências da Terra e estabelecer cenários em parte inconsistentes, a intervenção do homem no meio ambiente é notória e, assim, no Brasil, segundo BRANCO e MARQUES (2008), deve-se já ir pensando na adaptação com vistas a se adequar aos impactos causados pela mudança global do clima, por meio da formulação e implementação de um conjunto de estratégias setoriais, que consequentemente darão maior capacidade de adaptação às populações, principalmente as que são mais carentes e habitam em regiões sujeitas a um maior impacto das intempéries.

Essa adequação se baseia na identificação da vulnerabilidade dos biomas brasileiros ao aumento da concentração de gases de efeito estufa, e dos impactos decorrentes na sociedade brasileira, particularmente nas áreas de zonas costeiras, saúde, biodiversidade, agropecuária, florestas, recursos hídricos e energia.

Primeiramente, é absolutamente necessário aprimorar a coleta de dados e dispor de modelos para elaboração dos cenários futuros do clima no território nacional, de tal forma a permitir melhores avaliações das vulnerabilidades e dos impactos das mudanças climáticas globais, e permitir assim a priorização de estratégias de adaptação.

Neste sentido é importante ressaltar que os modelos do IPCC são construídos com base em pesquisas e trabalhos localizados quase que totalmente (aproximadamente

95%) realizados no Hemisfério Norte, o que torna esses modelos enviesados do ponto de vista estatístico.

No que diz respeito ao estudo dos paleoclimas, é importante a contribuição da Paleontologia, o estudo dos espeleotemas e outras formas existentes nas cavernas em ambiente cárstico, através de datações com isótopos de C_{14} , O_{18} , U absoluto.

O monitoramento da mobilidade da linha de costa, para distinguir tendências de ciclos e, assim, melhor orientar as ações de gerenciamento costeiro e ordenamentos municipais de ocupação urbana, é outro elemento importante.

Como instrumento de gestão para a previsão de impactos e estabelecimento de estratégias de adaptação de estabelecimentos agrícolas às mudanças climáticas, resalta-se a importância de integração de zoneamentos ecológicos e edafoclimáticos, que sinalizem para o uso sustentável dos recursos naturais e dos ecossistemas, sobretudo em áreas mais vulneráveis.

No que diz respeito aos recursos hídricos, recomenda-se aplicar instrumentos de gestão, notadamente a gestão integrada de bacias hidrográficas, a fim de facilitar a adaptação aos efeitos da mudança climática sobre os regimes hidrológicos. O aumento populacional no planeta não condiz com o aumento na demanda por recursos hídricos. Há necessidade de mudança de hábitos de consumo, ou seja, mudança de paradigmas. A gestão dos recursos hídricos e o planejamento do desenvolvimento urbano são estratégias para essa mudança.

Examinar os impactos ambientais considerando a frequência e intensidade de desastres naturais para as populações pobres rurais e urbanas e sobre a infra-estrutura urbana.

E, o uso racional de fertilizantes nitrogenados em atividades agrícolas e pecuárias.

BIBLIOGRAFIA

- AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.
- BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. *Environmental Geology*, v. 32, n. 1, p. 36-44, 1997.
- _____. Environmental change, geoindicators, and the autonomy of nature. *GSA Today*. Geological Society of America, v. 8, n. 1, p. 3-8, p. 1998.
- _____; IAMS, W. J. (Eds.). *Geoindicators-assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: Balkema, 1996. 466 p.
- BERNER, R. A.; LASAGA, A. C.; GARRELS, R. M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. *Amer. J. Sci.*, n. 283, p. 641-683, 1983.
- BRANCO, P.C. ; MARQUES V.J. Contribuição dos Geocientistas ao Conhecimento as Mudanças Climáticas no Brasil - Proposta de Ações de Mitigação. Palestra e Painel no 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, 2008.

CAIN, M. A.; MOLNAR, P. Closing of the Indonesian seaway as a precursor to east African aridification around 3-4 million years ago. *Nature*, n. 411, p. 157-162, 2001.

ENDAL, A. S.; SCHATTEN, K. H. The faint young sun-climate paradox: continental influences. *J. Geophys.*, 1982.

GERHARD, L.C. Geologic Constraints on Global Climate Variability. 2007. <http://www.warwickhughes.com/geol/index.htm>.

GORE, A. *Uma verdade inconveniente: o que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global*. São Paulo: Manole, 2006.

GROISMAN, P. Possible regional climate consequences of the Pinatubo eruption: an empirical approach. *Geophysical Research Letters*, v. 19, p. 1603-1606, 1992.

HECHT, J. Asteroidal bombardment wiped out the dinosaurs. *New Scientist*, n. 138, p. 14, 1993.

HENDERSON-SELLERS, A.; ROBINSON, P. J. *Contemporary climatology*. 2. ed. Inglaterra: Longman, 1999.

IPCC. *IPCC Special Report: aviation and the global atmosphere*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 373 p.

_____. HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; XIAOSU, D. (Eds.). 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 944 p.

_____. *Sumário para os formuladores de políticas*. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório

de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 10ª sessão do Grupo de Trabalho I do IPCC, Paris, fev. de 2007. Disponível em: <<http://www.natbrasil.org.br>>. Acesso em: mar. 2008.

KIOUS, W. J.; TILLING, R. I. *This dynamic earth: the story of plate tectonics*. Reston, Va., U.S. Geological Survey General Interest Publication, 77, 1996.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 212 p. il. color.; 21 cm. (Série Biodiversidade, v. 26).

OLIVEIRA, G. S. *O el niño e você: o fenômeno climático*. São José dos Campos: Transtec, 1999. 116 p.

ROBOCK, A.; LIU, Y. The volcanic signal. In: Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model simulations. *Journal of Climate*, v. 7, p. 44-55, 1994.

SELF, S.; ZHAO, JING-XIA; HOLASEK, R. E.; TORRES, R. C.; KING, A. J. The atmospheric impact of the 1991 mount Pinatubo eruption. In: NEWHALL, C. G.; PUNONGBAYAN, R. S. (Eds.). *Fire and mud: eruptions and lahars of mount Pinatubo*, Philippines. Seattle: University of Washington Press, 1996. 1126 p.

SUGUIO, K. *Mudanças ambientais da Terra*. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 356 p.

WORSLEY, T. R.; NANCE, R. D.; MOODY, J. B. Tectonic cycles and the history of the earth's biogeochemical and paleoceanographic record. *Paleoceanography*, v. 1, p. 233-263, 1986.



MARIA ANGÉLICA BARRETO RAMOS

Geóloga formada (1989) pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre (1993) pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na CPRM/BA em 1994, onde atuou em Mapeamento Geológico no Projeto Aracaju ao Milionésimo. A partir de 1999, na área de Gestão Territorial, participou dos projetos Acajutiba-Aporá-Rio Real e Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia, onde também passou a atuar na área de Geoprocessamento, integrando a equipe de coordenação do Programa GIS do Brasil e do Banco de Dados GEOBANK. Atualmente, exerce a Coordenação Nacional de Geoprocessamento do Projeto Geodiversidade do Brasil no Departamento de Gestão Territorial (DEGET).



SAMUEL MAGALHÃES VIANA

Graduado em Geologia (1999) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre (UERJ/2003). Doutor em Ciências (UERJ/2008), com área de concentração em Análise de Bacias e Faixas Móveis. Iniciou suas atividades profissionais como geólogo de Engenharia em Projetos de Usinas Hidrelétricas. Entre 2005 e 2006, exerceu pela UNAP atividades de perfuração em poços *off shore* para exploração de petróleo. Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 2007. Desde então, desenvolve suas atividades no Departamento de Gestão Territorial (DEGET), com atividades aplicadas a riscos geológicos envolvendo escorregamentos e inundações.



ELIAS BERNARD DA SILVA DO ESPÍRITO SANTO

Graduado em Geografia (2004), pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Especialização em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (UEFS 2006). Professor de Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento pela Faculdade Maria Milza (2006 – 2007). A partir de 2005 passou a atuar na equipe da Divisão de Geoprocessamento da CPRM-DIGEOP.

12

ECOLOGIA HUMANA NA GEODIVERSIDADE

Suely Serfaty-Marques (*suely_serfaty@be.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Escopo, Conceitos e Objetivos	176
Campo de Aplicação	177
Abordagem Metodológica	177
Desafios e Contribuições	178
Enfoque Humanístico	178
A Ética na Ciência	179
Lições de Ética	179
Conclusão	180
Bibliografia	180

A geodiversidade e sua aplicação representam a fusão do conhecimento das geociências, que, juntamente com o saber das demais áreas científicas, são indispensáveis ao planejamento e ocupação do território nacional, em prol da sociedade brasileira.

Não obstante, cabe refletir sobre a conduta ética desejável nos programas e projetos de desenvolvimento que projetem a plena realização dos mais nobres desejos de uma população jovem, que almeja um meio ambiente natural e social harmonioso, com espaço para a convivência pacífica entre todos.

Desse modo, urge que se adote um novo paradigma que apregoe o bem-estar coletivo como política máxima, sobrepondo-se a visões demagógicas, setoriais ou individualistas.

Para que se obtenha tal avanço e consolidação, precisa-se estudar e diagnosticar a atuação das sociedades humanas sobre os territórios e a aplicação desses conhecimentos no planejamento dos programas e projetos de desenvolvimento econômico e social.

O resultado da evolução da consciência individual e coletiva sobre o papel homem-natureza é essencial em qualquer estudo; só assim serão soterrados os modelos cartesianos, com relação aos meios físico, biótico e social.

A ecologia humana estuda o comportamento do homem sob variáveis ambientais. É alicerçada por conceitos da biologia e compreende três abordagens: de sistemas, evolutiva e aplicada ou demográfica. Seu estudo da “relação do homem com o ambiente” repercute em ponderações econômicas, sociais e psicológicas, transcendendo a singular visão da ciência ecológica.

A adaptação do indivíduo ou do grupo significa para a espécie humana uma das maiores razões para o sucesso reprodutivo. Quanto ao ambiente, é comum incluir-se “ambiente social” como uma variável ambiental, o que significa ampliar-se o conceito de ambiente ao aplicá-lo às populações humanas. Assim sendo, identificam-se várias “ecologias humanas”, provenientes da junção de áreas dessemelhantes, muitas vezes conceitualmente indefinidas ou pouco claras.

O planeta Terra remonta uma história geológica, cuja matéria mineral, mínero-orgânica, primordialmente não-viva, evoluiu para um sistema orgânico, comumente chamado de vida orgânica. Trata-se de uma película que envolve um esqueleto essencialmente abiótico – a hipótese de Gaia, a Terra viva.

O conjunto dos componentes da Terra interage segundo vinculações sistêmicas, disso sucedendo que essa é a forma mais correta de abordagem do temário, que diz respeito ao conhecimento das inter-relações.

Embora sua idade seja superior a quatro e meio bilhões de anos, o *homo sapiens*, que provém de uma linhagem evolutiva, somente nela apareceu há cerca de seis milhões de anos. Apesar disso, essa espécie, nos últimos 100.000 anos, desenvolveu grande habilidade para sobreviver às mais extremas mudanças climático-ambientais. Su-

cessivas tecnologias permitiram-lhe habitar praticamente todos os recantos dos cinco continentes, em quase todas as altitudes e latitudes, o que representa um incomparável feito em termos biológicos.

No que tange à agricultura e à pecuária, o homem produziu inúmeras e potentes ferramentas e tecnologias, que se vêm constituindo em importantes agentes ambientais sobre os ecossistemas. Por essa razão, muitos geólogos especializados em geologia do Cenozóico aceitaram o período de 10.000 a.P. (antes do presente) como o limite para o Quinário ou Tecnógeno (TER-STEPANIAN, 1988), em que o papel desempenhado pelo homem moderno, depois que começou a praticar a agricultura, representa um evento geológico de magnitude global.

Nesse ponto, cabe argumentar que, filosoficamente, a sociedade atribui à espécie humana um grande diferencial em relação aos demais animais, seja por sua inteligência ou pela dotação de uma alma de origem divina. Contudo, não se podem desconhecer as relações de interdependência entre o homem e os fenômenos planetários e cosmo-sféricos. Os geólogos perceberam e enfatizaram o quanto o desenvolvimento das espécies vegetais e animais co-evoluiu com os geossistemas, ao longo de bilhões de anos.

Entretanto, o antropocentrismo obliterou a transferência dessa “verdade” para as relações da espécie humana com o meio ambiente. Com exceções a culturas pouco tecnológicas ou científicas, os povos que se expandiram e dominaram continentes agiram como se estivessem no centro da criação, em que o meio ambiente existia para servir a seus propósitos, segundo desígnios superiores.

Assim, o tratado das civilizações humanas é pontilhado de grandes desastres ecológicos e sociais, refletindo a progressiva degradação dos recursos ambientais, como decorrência da má ocupação do meio ambiente, destacando-se o declínio das grandes civilizações mediterrâneas e mesopotâmicas, que foram o berço da humanidade. Por exemplo, no século XII, a Europa já sofria um desmatamento desenfreado.

Somente a partir do século XIX, com o crescimento explosivo da população mundial, surgiu a consciência das limitações dos recursos ambientais e da singularidade do meio ambiente.

ESCOPO, CONCEITOS E OBJETIVOS

A “ecologia humana” foi criada por Juan José Tapia Fortunato (1993), com uma enorme massa de dados próprios e oriundos de diversas teorias, tais como: Psicologia Analítica de Jung, Programação NeuroLingüística (PNL), Aprendizagem Acelerativa, Análise Transacional, Física Quântica, Teoria Holotrófica da Mente e muitas outras, formando um verdadeiro arsenal de tecnologia aplicável ao desenvolvimento da ética individual, a partir de enfoques educacionais, organizacionais e psicoterápicos, usando todos os meios disponíveis de comunicação.

É uma ciência transdisciplinar, com ascendência a todos os demais campos da ciência, no que tange ao processo evolutivo do homem em relação ao planeta Terra. Seu objeto de estudo é a relação do ser humano com o seu ambiente natural.

Assim sendo, a ecologia humana é uma hipótese sobre a convivência, a ética e a condição humana, cujo conhecimento e treinamento sistemático, em prol da boa relação humana, objetivam recuperar a harmonia com o meio ambiente e cultivar os deveres, o respeito e a ética individual e coletiva.

Os ecossistemas humanos ou antrópicos conjugam tanto os elementos naturais (orgânicos e inorgânicos) quanto os culturais (hábitos, valores e tecnologias). São responsáveis pelo suporte à vida humana, cujo enfoque antropocêntrico se caracteriza pela busca ao atendimento das necessidades físicas e psicológico-mentais.

Dessa forma, o ambiente afetado pela população humana poderá ser mais ou menos favorável à conservação dos serviços ambientais benéficos à saúde, ao fornecimento de matérias-primas essenciais ao bem-estar ou manutenção das civilizações, despontando nesse quesito a água, os solos e os recursos minerais.

O homem exerce influência em outra variável essencial ao suporte da vida, que é o clima, uma questão considerada, até então, de fundamental interesse geológico (mudanças lentas, segundo períodos ou eras). A partir dessa percepção, os primeiros exercícios concernentes às contabilidades ambientais demonstraram que o estilo de vida "industrial", que hoje se propaga por quase todo o planeta, é ambientalmente insustentável, considerando-se os atuais níveis tecnológicos predominantes.

CAMPO DE APLICAÇÃO

Não há um consenso universal sobre qual deva ser o papel da ecologia humana, coexistindo várias linhas contemporâneas. A interação de populações humanas com o meio ambiente é analisada sob o ponto de vista da ecologia e de disciplinas afins, como a antropologia, geografia, sociologia e psicologia.

Por outro lado, apesar da tentação de encarar-se a ecologia humana como um ramo da ecologia, implicando a aplicação de métodos dessa ciência, isso não é correto, uma vez que ela inclui fatores econômicos, sociais e psicológicos, que incluem as variáveis que nos diferenciam, em termos de comportamento, de outras espécies animais.

É justamente essa sobreposição da capacidade de mudar e adaptar o meio ambiente às suas necessidades, em um sentido mais amplo que apenas a satisfação das necessidades básicas, que faz com que a ecologia humana se revista de tantos desafios para a compreensão e o modelamento.

A ecologia humana inclui o mapeamento da diversidade cultural em todos os seus aspectos, mas também é mais do que apenas um retrato, um instantâneo, na me-

didada em que a cultura evolui conforme evolui mentalmente o individual e o coletivo; nesse sentido, ocorre uma dificuldade intrínseca, que é a incapacidade de realizar experimentos em larga escala ou que possam ser reproduzidos com o grau de confiabilidade das chamadas ciências exatas – e a economia é pródiga.

Os resultados auferidos por meio de documentos históricos não são suficientes para que se afirme a sua reprodução, uma vez que os sistemas vivos têm a peculiar capacidade de aprender e o *homo sapiens* em particular. É como se disséssemos que o presente não é a chave do passado, mas a decorrência, o resultado de concepções e ações tomadas anteriormente. Da mesma forma que o futuro não é uma simples projeção do passado, ou como diria GODET (1985, 1997): "o futuro é uma construção social" que é uma das pedras de suporte do raciocínio que conduz às técnicas de elaboração de cenários futuros.

ABORDAGEM METODOLÓGICA

Metodologicamente, devem-se recuperar algumas abordagens interessantes aos estudos do homem. Assim, MARGALEFF (1977) apresenta dois enfoques: a) o homem como mais uma espécie componente dos ecossistemas; b) o homem e a natureza, como sistemas individuais. O primeiro é mais científico e, o segundo, mais prático. Na realidade, o primeiro enfoque tem sido característico das ciências biológicas e o segundo, das sociais.

No caso dos esforços de órgãos de planejamento para coordenar e ordenar a ocupação do território brasileiro, sobretudo na Amazônia, inicialmente se adotou o segundo enfoque, na medida em que as zonas ecológico-econômicas seriam definidas a partir da intersecção de elementos do meio físico-biótico (sustentabilidade e vulnerabilidade) e do meio social (potencialidade).

Essa abordagem, ainda que útil, não consegue capturar todos os elementos necessários para um zoneamento que conduza ao desenvolvimento sustentável. Conseqüentemente, os trabalhos conduzidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), sobretudo na Amazônia, valeram-se dos conceitos desenvolvidos por ODUM (1983, 1985). Eles propõem que a natureza, em sua estrutura e função, consista de animais, plantas e microorganismos adaptados ou em adaptação ao meio físico e ao clima, ou seja, um ecossistema e sociedades humanas, em que as partes vivas são interligadas por um fluxo de substâncias químicas e energia, enquanto na porção antrópica ocorrem trocas de informações e trocas econômicas (monetárias).

Tal percepção conduziu à busca simultânea de se desenvolverem modelos capazes de tornar previsível o comportamento da biodiversidade e do meio físico e de técnicas que permitissem auscultar o futuro não como uma projeção do passado, mas como uma construção social, fruto da interação dos entes sociais ao longo da trajetória a ser descrita.

Desse modo, adotaram-se técnicas de elaboração de cenários alternativos às práticas de zoneamento ecológico-econômico, fundamentais para uma sociedade em processo de modernização, mas com graves problemas sociais. Correspondem a modelos de desenvolvimento viáveis, em uma projeção para as próximas décadas, sendo fortemente influenciados pela apropriação de recursos naturais, sobretudo de recursos minerais, petróleo e água, solos (agroflorestais) e serviços ambientais.

Assim sendo, é eminente o papel dos recursos da geodiversidade como elementos estratégicos para o desenvolvimento econômico e social do país. Não se restringe, portanto, à descoberta e aproveitamento dos recursos da biodiversidade, mas a utilizá-los dentro de uma perspectiva cujo contexto seja ambientalmente sustentável, economicamente viável e socialmente justo, ou seja, efetivamente humano, conforme as mais modernas concepções.

O bom êxito depende do correto planejamento e da construção coletiva, elaborados a partir de uma visão do futuro desejado, com base nesses conceitos, definindo as oportunidades e prevenindo acidentes de percurso internos e ameaças externas, que produzirão os caminhos críticos ou eixos de desenvolvimento desejáveis que contemplem um cenário futuro de bem-estar coletivo (felicidade social).

Em verdade, poder-se-ia dizer que dentro de uma visão filosófica, os recursos da biodiversidade devem ser encarados como um capital natural, posto à disposição da humanidade para que esta dele se utilize em prol de seu desenvolvimento físico, mental e espiritual.

DESAFIOS E CONTRIBUIÇÕES

Aqueles que se debruçam sobre a geodiversidade facilmente se apercebem que o território brasileiro realmente abarca uma grande variedade de ambientes e recursos minerais, combustíveis fósseis, solos, água, energia eólica, belezas cênicas e outros, sob forma de metais, petroquímicos, energia, transporte. Apesar disso, a sociedade, como um todo, desconhece a real importância da atividade mineral e a falta que faz o discernimento geológico em todas as suas atividades, predominando, assim, uma visão simplista de que ela destrói o meio ambiente.

Por outro lado, com relação ao setor mineral, há a necessidade de se internalizar a ocupação humana em áreas ínvias, desprovidas de logística, diferentemente da agricultura, por exemplo. A mineração é capaz de criar imensos pólos de riqueza (PIB) que funcionam como promotores de uns poucos milhares de empregos bem remunerados, cercados por um halo de pobreza, formado pelos excluídos dos processos produtivos no campo e na cidade, emergentes de todo o país.

Onde está, então, o problema, no que tange à mineração organizada, geradora de riqueza, que vem pagando os devidos impostos e contribuindo para o balanço de

pagamentos? Naqueles que, não tendo mais o que perder, vivem a expensas das sobras do megaempreendimento? Para onde foram destinados os impostos oriundos da mineração, às vezes por décadas? A resposta se resume na governabilidade ou qualidade da governança, o que significa que, embora sem riqueza, pode-se satisfazer às necessidades básicas de todos, desde que haja uma boa gestão, sem a qual jamais se poderão obter resultados satisfatórios.

Todo esse infortúnio se justifica pela ausência de bons projetos de desenvolvimento, capazes de mobilizar a sociedade, melhorando a rentabilidade dos investimentos, com políticas públicas embasadas na ética, no potencial econômico e nas possibilidades intelectuais e culturais. Dessa forma, precis-se complementar uma visão ecológico-preservacionista aos aspectos psicológicos das populações afetadas, em termos de perdas culturais, hábitos de sobrevivência humana, auto-estima e dignidade; variáveis ou indicadores que ainda não conseguem competir, no mesmo nível, com os fatores econômicos clássicos.

O maior dos desafios consiste em se estabelecer modelos econômicos adequados às sociedades que irão impactar, como elemento primário para a racionalização dos processos desenvolvimentistas. A construção social de um futuro comum, de alta qualidade, deve ser, obrigatoriamente, o objetivo maior a ser perseguido. Para alcançá-lo, torna-se necessário definir as habilidades e especificidades contidas no ramo do conhecimento das engenharias construtivas, ambientais, sociais, bem como a ética coletiva na implementação de programas econômicos. Sempre se devem implementar estudos com base em uma nova engenharia, que defina, nesta ordem, os processos sociais, econômicos e ambientalmente sustentáveis, e não modelos aleatórios.

ENFOQUE HUMANÍSTICO

A análise sistêmica demonstra que existem profundas correlações entre o macro- e o microcosmo, assim como entre as segmentações convencionais do conhecimento que chamamos de “ciências”.

A análise transacional, por exemplo, que tem como fundador Eric Berne, representa uma ferramenta importante ao autoconhecimento e à expansão da consciência; proporciona às pessoas uma visão real do todo, imprimindo-lhes o dever de aceitação e de boa convivência com o diferente, dentro da imensa diversidade do Universo, buscando, assim, a obtenção da eficiência na vida e nas organizações.

A trabalhabilidade é um conceito criado para descrever uma nova condição do trabalhador ou das instituições (e grupos de trabalho) diante do mercado de trabalho. Consiste em que, a cada indivíduo ou coletivamente, cabe assumir a responsabilidade de gerenciar o desenvolvimento e aperfeiçoamento de suas competências duráveis e atualizar, de forma constante, as competências transitóri-

as ou renováveis, competências essas que possuem um valor de mercado (econômico *latu sensu*) e poderão ser utilizadas tanto na relação empregatícia como em outras formas de atividade remunerada, ou seja: existe mercado para o que se produz?

Pessoas e instituições que investem em suas competências duráveis e, por isso, têm condições de constantemente atualizar-se, possuem maior amplitude de opções, elevando assim sua probabilidade de sucesso.

Em termos de análise transacional, há um modelo teórico da personalidade individual ou coletiva, segundo o qual o estado de ego desempenha a função de executivo da personalidade. Os três estados de ego, descontaminados, atuam com base nos dados da realidade interna e externa, fruto do diálogo entre o que permite às pessoas tomarem suas decisões de forma consciente, responsável e gratificante.

Competências duráveis são capacidades, conhecimentos, aptidões e experiências que proporcionam às pessoas suficiente estabilidade e equilíbrio interno para lidar com a instabilidade e a imprevisibilidade externa.

As competências duráveis manifestam-se por meio de comportamentos, visão de mundo, posicionamentos, decisões e trajetória de vida, que refletem a coerência praticada entre as palavras e as ações, fruto de um processo de integração e equilíbrio entre os aspectos afetivos, comportamentais e cognitivos.

São elementos construtivos das competências duráveis: autoconhecimento; competência interpessoal; sensibilidade e intuição; conectividade; versatilidade/adaptabilidade; capacidade de negociação e de administrar conflitos; abertura e disposição para aprender e reconstruir experiências.

O elemento-síntese, que congrega todos os demais, é a capacidade de criar e manter redes de relacionamento (o outro intangível), engajar pessoas em objetivos comuns, estabelecer vínculos duradouros e autênticos com uma ampla gama de pessoas, parcerias, alianças e contatos diversificados.

A conectividade está intimamente ligada à competência interpessoal, autenticidade, empatia, credibilidade, entusiasmo, amplitude de interesses e sensibilidade.

E, por assim ser, a análise transacional é uma teoria que se vem difundindo globalmente, com seu jeito simples e prático de ajudar o ser humano; dessa forma, está-se tornando efetiva no apoio à vida e às organizações.

A ÉTICA NA CIÊNCIA

A ética é a teoria ou ciência do comportamento moral dos homens em sociedade, ou seja, é ciência de uma forma específica de comportamento humano (Aristóteles, 384-322 a.C.).

Ainda segundo Aristóteles, toda a atividade humana, em qualquer campo, tende a um fim que é, por sua vez, um bem: o bem supremo ou sumo bem, que seria resultado do exercício perfeito da razão, função própria do homem.

O estudo dos juízos referentes à conduta humana é vital na produção da realidade social. Relaciona-se ao desejo de realização plena da vida.

Todas as atividades envolvem uma carga moral, interligando a ética ao comportamento humano. Valores sobre o bem e o mal, certo e errado, permitido e proibido definem diferentes protótipos.

O Homem só realiza sua existência no encontro com seu semelhante, sendo que todas as suas ações e decisões afetam as outras pessoas. Algumas regras coordenam e harmonizam essa inter-relação de convivência e coexistência. Elas indicam os limites de submissão ou sobreposição de cada indivíduo e representam os códigos culturais, que protegem ao mesmo tempo em que obrigam.

A moral tem um poderoso caráter social. Ela é adquirida como herança e preservada pela comunidade. Apóia-se na cultura, história e natureza humana.

LIÇÕES DE ÉTICA

Sobre o estabelecimento da ética nas atividades relacionadas ao Homem, depreendem-se algumas conclusões fundamentais.

Do ser humano, há de se fazer aflorar seu potencial de individualidade e autonomia. Para isso, precisa ser cultivado o limiar de sua auto-estima, que advém de uma conduta esmerada, por meio de uma disciplina individual e coletiva despertada pela consciência sobre o fundamento de cada coisa, do pontual para o todo e deste para o detalhe.

Incidentes traumáticos, decorrentes da falta de humanismo, do ódio, da fome, da corrupção ou da guerra, ameaçam toda a espécie humana. Sem dúvida, afetam a inteligência, o rendimento e a motivação para a vida.

Objetivamente, na superfície do planeta, todas as ações devem ter como prioridade a solução para a fome básica, ou seja, a preservação da sobrevivência. A seguir, deve-se levar em conta a supervivência (evolução humana).

Aliado a isso, o espaço e o território são instrumentos fundamentais à teoria e técnicas da ecologia humana. Por meio deles, descobre-se o “entorno” essencial, onde se desenvolve o processo de mudança do ser humano. Consiste no alcance, em profundidade, do que é viver ecologicamente consigo mesmo, com os outros e com o universo.

O meio ambiente humano combina, assim, tanto os elementos naturais (orgânicos e inorgânicos) quanto os culturais, que dão suporte à vida humana nos diversos ambientes em que ela se desenvolve e pode ser observado nas mais diferentes escalas espaciais.

É fundamental a conscientização de que há uma série de atitudes não descritas nos códigos de todas as profissões, mas que são inerentes a qualquer atividade.

Portanto, não se pode dissociar o sucesso contínuo do comportamento eticamente adequado.

CONCLUSÃO

Do exposto, conclui-se que a compreensão do fenômeno humano, quanto ao atendimento a suas necessidades e potencialidades, é fundamental à implementação de programas e projetos que disponham sobre os recursos da natureza, inclusive os da geodiversidade.

Tais programas e projetos precisam de interação e sobreposição analogamente a uma pirâmide, que vai do atendimento às necessidades básicas, na base, culminando, no topo, para as aspirações mais elevadas.

Em síntese, é preciso que os cientistas, os técnicos e a população em geral adquiram a consciência de que não há um futuro pronto que os espere. Ao contrário, o futuro, com relação ao ambiente natural e social-econômico, será consequência das ações no percurso de cada indivíduo ou sociedade.

O homem, que é parte constituinte de um sistema ecológico, deve cingir-se segundo as relações evolutivas de seus subsistemas físico, mental e espiritual.

Do ponto de vista da avaliação e planejamento do uso e desenvolvimento do território (geodiversidade), é preciso conhecer adequadamente os componentes físicos e bióticos, bem como mapear os atores sociais, sua potência, motricidade, tendências e interações segundo o seu grau de incerteza, conjugados com os estados (hipóteses) críticos.

De posse de um modelo estruturado, construído por meio de uma conduta eticamente adequada, transformar-se-ão as incertezas em significativas probabilidades, proporcionando, assim, o máximo de felicidade ao maior número de pessoas.

BIBLIOGRAFIA

BECK, D. E.; COWAN, C. C. *Dinâmica da espiral: dominar valores, liderança e mudança*. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.
BELLEN, H. M. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2007.
BUARQUE, S. C. *Construindo o desenvolvimento local sustentável: metodologia de planejamento*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

GODET, M. *Prospective et planification stratégique*. Paris: CPE, 1985.

_____. *Manuel de prospective stratégique*; v. 1: Une indisciplinée intellectuelle. Paris: Dunod, 1997.

HOGAN, D. J.; VIEIRA, P. F. *Dilemas socioambientais e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: EDUNICAMP, 1995.

KORMONDY, E. J.; BROWN, D. E. *Ecologia humana*. São Paulo: Atheneu, 2002.

MARGALEFF, R. *Ecologia*. Madrid: Interamerican, 1977.

MARQUES, V. J.; SERFATY-MARQUES, S. Uma visão geocientífica para o zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2002, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002.

_____; _____. O zoneamento ecológico-econômico como ferramenta do planejamento e da gestão territorial. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2002, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002.

_____; _____. Construção de cenários alternativos para o planejamento estratégico dos recursos minerais e hídricos da Amazônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., 2006, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006.

_____; _____. *A gestão pelos sistemas*. Belém: MME/CPRM, 2004 (no prelo).

_____; _____. *Planejamento territorial e o desenvolvimento sustentável*. Brasília: MMA/SDRS, 2006.

MUELLER, C. H. *Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente*. Brasília: Ed. UnB, 2007.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1983.

_____. *Fundamentos da ecologia*. 4. ed. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1985.

TAPIA, J. J. *O prazer de ser: a essência da ecologia humana*. São Paulo: Gente, 1993.

TER-STEPANIAN, G. Beginning of the tecnogene. *Bulletin I.A.E.*, n. 38, p. 133-142, 1988.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1982. 91p.

_____; KIEWIETDEJONG, C. *Ecogeography and rural management*. Longman: Essex, 1992.

SUGUIO, K.; SUZUKI, U.S. *A evolução geológica da Terra e a fragilidade da vida*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.



SUELY SERFATY-MARQUES

Graduada (1975) em Geologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Especialização em Petrologia e Engenharia do Meio Ambiente. Atualmente, trabalha como geóloga da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), onde exerce a função de assistente da chefia da Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Durante todo o período universitário, trabalhou como estagiária no Projeto RADAM. Nos primeiros 15 anos de carreira, dedicou-se à análise petrográfica e a estudos de Petrologia e Mineralogia, tendo atuado nos estados do Pará e Goiás em diversos órgãos geocientíficos governamentais, tais como: SUDAM, IDESP (POLAMAZÔNIA), UFPA/FADESP, NUCLEBRAS, DNPM/CPRM. A partir de 1991, voltou-se para os estudos ambientais. De 1992 a 1997, dedicou-se ao abastecimento hídrico e à gestão municipal. A partir de 1997, vem-se envolvendo com o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia (Organização dos Estados Americanos – OEA), especialmente nas faixas de fronteiras com os países da Pan-Amazônia, onde atuou como assistente da coordenação brasileira nos projetos de cooperação com a Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. Recentemente, vem direcionando seus esforços à divulgação do papel e aplicação do conhecimento da Ecologia Humana, na gestão territorial voltada para o desenvolvimento sustentável.

13

APLICAÇÕES MÚLTIPLAS DO CONHECIMENTO DA GEODIVERSIDADE

Cassio Roberto da Silva (cassio@rj.cprm.gov.br)
Valter José Marques (vmarques@be.cprm.gov.br)
Marcelo Eduardo Dantas (mdantas@rj.cprm.gov.br)
Edgar Shinzato (shinzato@rj.cprm.gov.br)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Instrumento de Planejamento, Gestão e Ordenamento

Territorial	183
Ordenamento urbano	185
Ocupação e uso do território	186
Descoberta de concentrações minerais	188
Recursos Minerais do Mar	190
Grandes Obras de Engenharia	191
Agricultura	191
Disponibilidade de Água e Adequada Utilização	192
Saúde	193
Evolução da Terra e da Vida	194
Meio Ambiente	196
Prevenção de Desastres Naturais	196
Avaliação e Monitoramento das Mudanças Climáticas	199
Geoconservação e Geoturismo	199
Educação	201
Políticas Públicas	201
Bibliografia	202

A geodiversidade se manifesta, no ambiente natural, por meio das paisagens e das características do meio físico dos locais em que vivemos. Uma intervenção inadequada na geodiversidade pode gerar problemas críticos para a nossa qualidade de vida e, também, para o meio ambiente. Somos, assim, bastante dependentes das características geológicas dos ambientes naturais – a geodiversidade –, na medida em que dela extraímos as matérias-primas vitais para a nossa sobrevivência e desenvolvimento social. É mister, assim, conhecer e entender seus significados, já que, uma vez modificados, removidos ou destruídos, quase sempre os aspectos da geodiversidade sofrerão mudanças irreversíveis. Devido à íntima relação entre os componentes do meio físico (suporte) – geodiversidade – e os componentes bióticos (biodiversidade), deve-se encarar de maneira sistêmica as relações de estabilidade entre esses dois grandes componentes ambientais.

Modernamente, veio a se ter a compreensão de que as relações mantidas entre o homem (meio social) e a natureza, em seus aspectos culturais e econômicos, devem estar inseridas em análises ambientais, configurando-se o que se convencionou denominar “ecologia profunda”. Para realizarmos intervenções no território, devemos adotar uma visão a mais abrangente possível, sistêmica, integrando a geodiversidade (meio físico), a biodiversidade (meio biótico), as questões sociais, culturais e econômicas (sociodiversidade).

A comunidade geológica ingressa nesse rico debate a partir da década de 1980, na medida em que busca aproximar a geologia das demandas da sociedade, com a emergência da “geologia social” (BERBERT, 1995), via estudos vinculados à geologia ambiental. A partir de então, o conhecimento geológico passa a ser intensamente utilizado nas análises voltadas para estudos ambientais, incorporando-se, ao domínio comum, conceitos fundamentais como os de exaustão dos recursos naturais e de ética e sustentabilidade ambiental (CORDANI, 2002; KELLER, 1996).

No que tange à demarcação do campo de atuação da denominada geologia ambiental, esta congrega todas as aplicações da ciência geológica, em um enfoque sistêmico (o sistema Terra), aos estudos de gestão ambiental e planejamento territorial (CORDANI, 2000; DOROTHY, 1998). Nesse sentido, a geologia se revelou uma ciência profícua e de múltiplas aplicações, principalmente no que concerne ao desenvolvimento de alguns campos específicos do conhecimento geológico, como: prospecção mineral, mapeamento geológico, geofísica, geologia de pla-

nejamento, geologia de engenharia, geotecnia, pedologia, hidrologia; paleoclimatologia, paleontologia, espeleologia, geoquímica prospectiva e ambiental, geologia urbana, riscos geológicos, geologia médica; geologia costeira e marinha, ordenamento territorial geomineiro, geoconservação, geoturismo, dentre outros (Figura 13.1).

Dentre as múltiplas contribuições do profissional em geologia às esferas social, econômica, cultural e ambiental, destacam-se: análise de desastres naturais (deslizamentos, inundações, abalos sísmicos, colapso de terrenos etc.) em áreas de risco geológico; disponibilização e preservação de água subterrânea oriunda de aquíferos subterrâneos para abastecimento humano, industrial, irrigação, dessedentação etc.; investigação de fatores que comprometem a saúde pública, decorrentes de excesso ou carência de determinados elementos químicos, ou a causas naturais (intemperismo ou contaminação natural a partir do substrato rochoso), ou a razões antrópicas (poluição doméstica ou industrial); aplicação dos estudos do meio físico, *lato sensu*, para subsidiar políticas de uso e ordenamento do território (BENNETT e DOYLE, 1997; CORRÊA e RAMOS, 1995; DANTAS et al., 2001; DINIZ et al., 2005; KELLER, 1996; SILVA, 2008; THEODOROVICZ et al., 1999).

A partir da elaboração do conceito de geodiversidade, as geociências desenvolveram um novo e eficaz instrumento de análise da paisagem de forma integral, ou ecótopo (Figura 13.2), utilizando o conhecimento do meio físico a serviço da conservação do meio ambiente, em prol do planejamento territorial em bases sustentáveis, permitindo, assim, avaliar os impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico.



Figura 13.1 – Principais aplicações da geodiversidade.

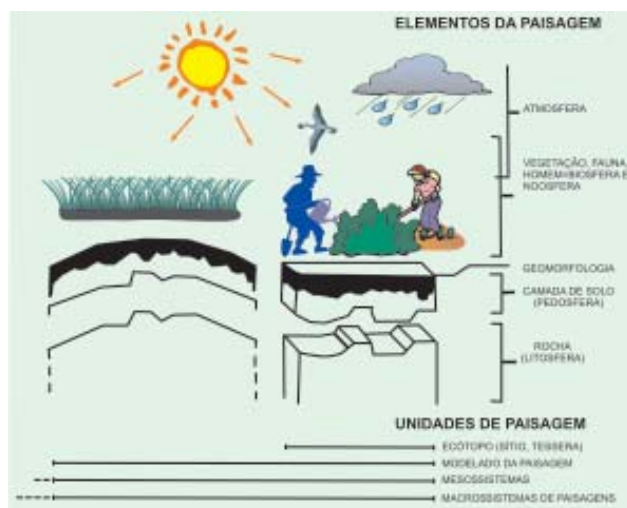


Figura 13.2 – Ecótipos e níveis hierárquicos (adaptado de ZONNEVELD, 1989).

INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E ORDENAMENTO TERRITORIAL

De acordo com a metodologia adotada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), ao se proceder a um estudo da geodiversidade, os diversos componentes do meio abiótico que constituem a paisagem do meio físico são analisados de acordo com um conjunto de parâmetros geológicos, geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos. Nesse sentido, o mapa geológico reveste-se de fundamental importância, por ser a infra-estrutura dos demais, os quais estão intrinsecamente relacionados e dependentes deste.

Os resultados, mapas e textos caracterizam-se por uma linguagem simples e objetiva das informações sobre o meio

físico, objetivando subsidiar o planejamento e a gestão do território brasileiro em bases sustentáveis, principalmente quanto às obras de infra-estrutura, exploração do potencial mineral, práticas agrícolas, uso dos recursos hídricos e riscos de contaminação dos solos e águas subterrâneas frente a fontes poluidoras (THEODOROVICZ et al., 1999) e o aproveitamento do potencial de geoturismo (geoparques, sítios geológicos, minas antigas, monumentos paleontológicos e espeleológicos), apontando as adequabilidades e limitações para o uso e ocupação dos territórios.

Essa abordagem vem sendo adotada por diversos pesquisadores de várias partes do Brasil e de outros países, sob a denominação de geologia ambiental ou geo-ambiental, a partir dos enfoques clássicos desenvolvidos pelas disciplinas do meio físico, tendo por objetivo a geração de informações voltadas para o planejamento e desenvolvimento sustentado do território.

Dessa forma, os estudos da geodiversidade têm-se revelado um excelente instrumento de planejamento e ordenamento territorial, fornecendo subsídios técnicos para vários setores como: mineração (recursos minerais); energia (petróleo, gás, carvão, turfa, hidrelétricas, nuclear, eólica, solar); agricultura (fertilidade do solo, fertilizantes, corretivos de solos, disponibilidade hídrica); saúde pública (qualidade das águas, solos, ar); urbanismo (indicação de limitação ou expansão); moradia (material de construção); defesa civil (escorregamentos, inundações, abalos sísmicos, abatimento de terrenos); transporte (obras viárias); turismo (áreas de belezas cênicas); meio ambiente (diagnóstico e recuperação de áreas degradadas) e planejamento, bem como para diversas instituições públicas, comitês de bacias hidrográficas, empresas privadas e também para programas de governo, como zoneamento ecológico-econômico, ordenamento territorial, estudos da plataforma continental e ambientes costeiros (Quadro 13.1).

Quadro 13.1 – Quadro exemplificativo das interfaces do conhecimento geológico (geodiversidade) com setores produtivos, do conhecimento e planejamento

Sector	Contribuição	Resultados
Mineral	Mapeamento geológico, geofísico, geoquímico, bancos de dados. Metalogênese. Mapeamento das variáveis ambientais	Aumento das reservas minerais e da produtividade do setor. Adoção de modelos sustentáveis.
Agricultura	Hidrologia, hidrogeologia, hidrogeoquímica e geoquímica ambiental, insumos agrícolas, erosão, monitoramento de bacias	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis.
Política agrária	Recursos minerais e hídricos para assentamentos; sustentabilidade ambiental, monitoramento.	Melhoria da produtividade, adoção de modelos sustentáveis. Solução de problemas sociais.
Urbanismo	Hidrologia urbana, hidrogeologia, abastecimento hídrico, geotecnia.	Melhoria da qualidade de vida, aumento da produtividade e adoção de modelos sustentáveis.
Desenvolvimento nacional	Hidrologia e hidrogeologia, recursos minerais, para apoiar os projetos de desenvolvimento, ao longo dos macroeixos de desenvolvimento. Modelamento e monitoramento de bacias.	Adoção de modelos sustentáveis. Redução dos custos de implantação e manutenção das condições ambientais.
Geopolítica e soberania nacional	Avaliação integrada dos recursos naturais, para o desenvolvimento sustentado. Modelamento de bacias, geoquímica ambiental, modelos sedimentométricos, balanço de massa.	Adoção de modelos sustentáveis. Melhoria da imagem nacional, perante as demais nações.
Geomedicina	Geoquímica ambiental, modelamento de bacias. Na análise sistêmica, aplicada à previsão de áreas de risco de endemias.	Melhoria da qualidade de vida e aumento da eficiência dos recursos aplicados na área de saúde, sanitarismo e urbanismo.

Como exemplo da utilidade das informações da geodiversidade para fins de uso e ocupação, apresenta-se o caso recente da Vila Pan-Americana do Rio de Janeiro – que sofreu episódios de afundamento de suas vias internas – e o afundamento de uma das pistas da Avenida Ayrton Senna, principal via de acesso à Barra da Tijuca (RJ), a 10 dias do início dos XV Jogos Pan-Americanos Rio 2007 (Figura 13.3). O “Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro” (DANTAS et al., 2001) contém informações de trabalhos de campo na escala 1:250.000, tendo sido disponibilizado, em 2000, na escala 1:500.000, para vários órgãos do estado, prefeituras e universidade. O mapa apontava para a unidade geoambiental 2b, onde se encontram a Vila Pan-Americana e a Avenida Ayrton Senna, a ocorrência de solos orgânicos de baixa capacidade de carga, constituídos por argilas moles, que condicionaram o processo de recalque diferencial que afetou o arruamento e estruturas de um dos prédios da Vila Pan-Americana (Figura 13.4). O mapa indicava a inadequação daqueles materiais para a ocupação e constru-



O BURACO provocado pelo rompimento de tubulações do emissário da Barra, administrado pela Cedae, na Avenida Ayrton Senna, por onde passam por dia cerca de mil veículos

Uma cratera no caminho do Pan

Afundamento de pista deixará interditado até 4 de julho um dos principais acessos à Barra

■ O rompimento de tubulações da Cedae na Barra da Tijuca provocou o afundamento de um trecho da Avenida Ayrton Senna, que permanecerá com duas pistas interditadas, no sentido Linha Amarela, pelo menos até 4 de julho, no dia seguinte à

chegada das delegações dos Jogos Pan-Americanos. A Vila do Pan, que vai hospedar os atletas, fica em frente à Ayrton Senna, um dos principais acessos à Barra, por onde passam cerca de mil veículos por dia. As pistas começaram a afundar na ma-

drugada de sábado, depois que tubulações do emissário se romperam, no terceiro incidente do tipo registrado este ano. Para realizar os reparos, a Cedae teve de fazer escavações, aumentando o tamanho do buraco, que chegou a dez metros

de largura e quatro de profundidade ontem. A chuva do início da manhã e pequenos acidentes na Avenida Brasil, na Linha Vermelha, na Auto-Estrada Lagoa-Barra e na Avenida Maracanã contribuíram para dar um nó no trânsito. **Página 16**

Figura 13.3 – Reportagem do jornal “O Globo”, às vésperas do início dos XV Jogos Pan-Americanos Rio 2007.

ção, sem a devida adoção de métodos construtivos específicos das fundações, que atendessem às características dos riscos geológico-geotécnicos naquele local (Figura 13.5).

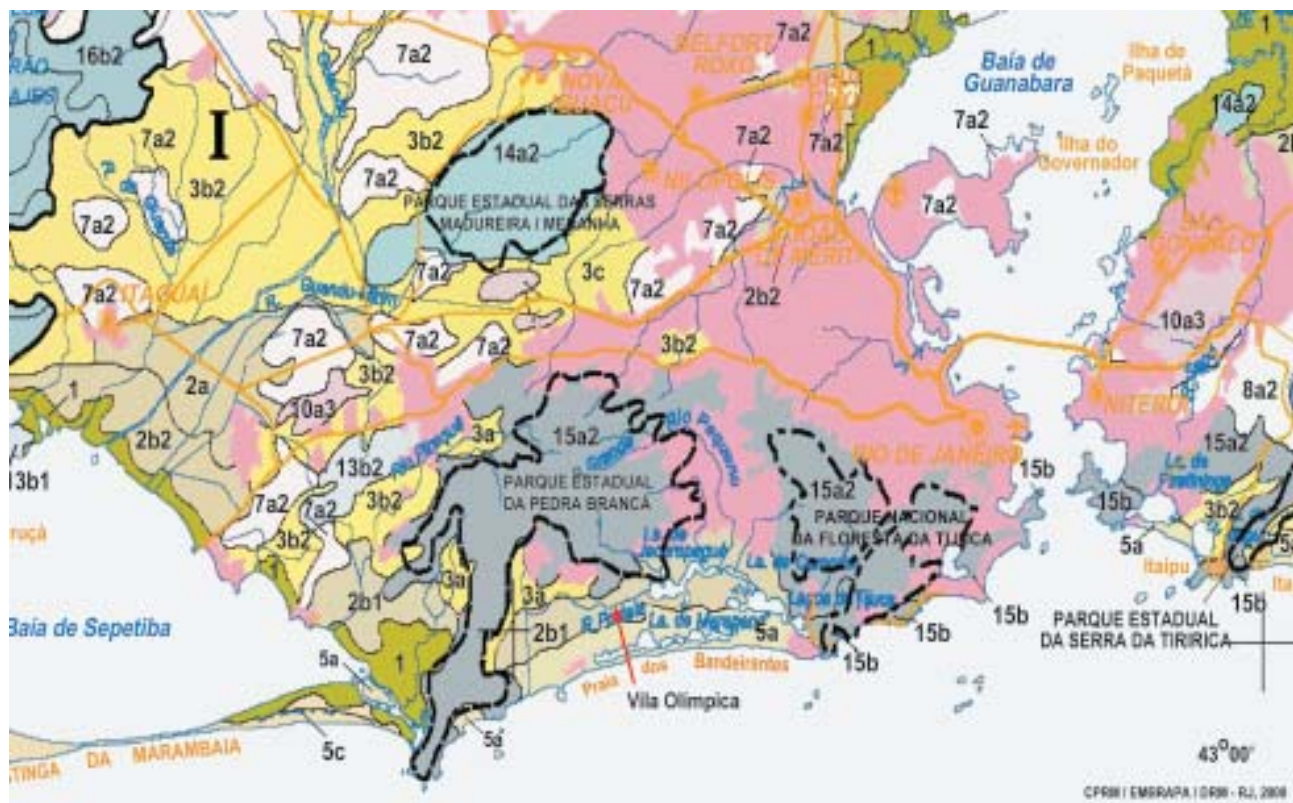


Figura 13.4 – Detalhe do Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:500.000, onde foi mapeada a Unidade Geoambiental Planícies Flúvio-Lagunares 2b, na qual está inserida a Vila Pan-Americana, na Barra da Tijuca (DANTAS et al., 2001).

Unidades Geoambientais	Descrição
2b Planícies Flúvio-lagunares (brejos)	Planícies flúvio lagunares com sedimentos quaternários, argilo-arenosos ou argilosos ricos em matéria orgânica. Ambiente redutor, com Solos Gleis Pouco Húmicos salinos, Gleis Húmicos Tiomórficos e Solos Orgânicos Tiomórficos. Campos hidrófitos de várzea (2b1) e campos halófitos de várzea (2b2) ocupados por pastagens. A precipitação média anual varia de 700 a 1.300mm. Esta subunidade é expressiva nos baixos cursos dos rios São João, Una, Macaé e Macabu, nas áreas mais próximas à linha de costa das baixadas flúviomarinhas de Sepetiba e de Guanabara e nas baixadas flúviolagunares de Jacarepaguá, Maricá, Saquarema e entorno da Lagoa Feia.
Limitações Terrenos inundáveis, com baixa capacidade de carga. Solos com altos teores de sais e enxofre (Solos Tiomórficos), com elevado risco de acidificação nas drenagens. Inaptos na agricultura e pastagem plantada. Lençol freático subafiorante. Inadequados na urbanização, obras viárias e disposição de resíduos sólidos. Aquíferos livres, rasos, com potencial restrito e águas freqüentemente salinizadas. Teores altos de Pb, Al e Se nas águas de Araruama, Al e F na foz dos rios S. João e Una, Zn e F na água e sedimentos de corrente da Região de R. dos Bandeirantes.	Potencialidades Pastagens naturais. Atividade pesqueira nas lagunas. Na Baixada Campista, ocorrem aquíferos confinados e semiconfinados de potencialidade hidrogeológica.
	Recomendações Preservação e recuperação ambiental de lagunas, brejos e banhados. Cuidados para evitar contaminação e rebaixamento do lençol freático.

Figura 13.5 – Recorte da legenda do Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, que descreve a subunidade geoambiental 2b1, contendo muita matéria orgânica no solo. Em “Limitações”, observa-se que a área é inadequada para urbanização, obras viárias e disposição de resíduos sólidos (DANTAS et al., 2001).

Ordenamento Urbano

Nesse estrato do planejamento e gestão, o conhecimento geológico ilumina um amplo campo de aplicações, principalmente nas regiões metropolitanas, que se caracterizam por apresentarem expressivo adensamento populacional e uma considerável concentração de renda, além de graves distorções tipicamente urbanas, como o crescimento físico desmesurado e desordenado, conurbação, conflitos entre diversas atividades econômicas, retenção especulativa do solo urbano e produção de vazios sem infra-estrutura, uso e ocupação de solos inadequados, crescimento físico nas periferias urbanas, com formação de cidades-dormitório e segregação espacial da população de baixa renda, aumento da poluição e da agressão ao meio ambiente, com o comprometimento dos recursos naturais.

Inúmeros são os casos documentados, na literatura geológica, de áreas que possuíam depósitos minerais passíveis de serem usados pela indústria da construção civil (areia, saibro, seixo, argila, brita) e que foram ocupados

por vilas populares, obrigando a sociedade a se valer de jazidas cada vez mais distantes dos centros consumidores, a custos crescentes, com prejuízos sociais expressivos.

É importante racionalizar a utilização dos recursos naturais existentes na região, necessários para o incremento da produção mineral, principalmente, de materiais para a construção civil, abastecimento de água e insumos básicos para a atividade industrial, de forma a compatibilizar a aptidão do meio físico e a preservação ambiental com o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população. Por falta de planejamento, é comum a ocorrência de áreas adequadas à agricultura (cinturão verde) e nascentes de rios urbanizadas de forma inconseqüente. É também corriqueira, infelizmente, a ocorrência de aterros sanitários/lixões e cemitérios às margens de rios ou em solos que facilitam a contaminação dos lençóis de águas subterrâneas, bem como ocupação humana em áreas de riscos geológico-geotécnicos (deslizamento, afundamento, inundação) (Figuras 13.6 e 13.7).



Figura 13.6 – Disposição de lixo nas margens de lagoa em Rio Branco (AC). Fotografia: Amilcar Adamy.



Figura 13.7 – Implantação de cemitério em topo de duna fixa, parcialmente desmatada (município de Baixo, litoral norte da Bahia). Fotografia: L.C.B. Freitas.

Essas situações, comuns à grande maioria das regiões metropolitanas, tipificam um verdadeiro caos ambiental e são devidas à falta de um planejamento adequado, para o qual é de fundamental importância a disponibilidade de informações básicas sobre as características do meio físico, contemplando aptidões e restrições ao uso e ocupação.

Ocupação e Uso do Território

O conhecimento da geodiversidade é um aspecto essencial para que se proceda à ocupação segura dos diversos terrenos e paisagens. A desconsideração dessa afirmativa tem sido responsável por inúmeros prejuízos ambientais, econômicos e sociais por parte da sociedade brasileira, como estão a atestar inúmeras experiências históricas e recentes na ocupação do território brasileiro.

Um dos exemplos didáticos é a alocação de colonos ou de empreendimentos agrícolas de forma inadequada, previsivelmente insustentável do ponto de vista da disponibilidade hídrica, dos potenciais solos, ou da estabilidade dos terrenos, frente à retirada da vegetação (Figura 13.8).

Outra situação que, de maneira análoga, influencia o tipo de manuseio e finalidade do território, diz respeito às características estruturais e morfológicas dos terrenos localizados na porção ocidental do estado do Acre, afetados por importante tectônica reflexa, oriunda da formação da Cadeia Andina (Figuras 13.9, 13.10, 13.11 e 13.12).

A ocupação das áreas litorâneas é sensível aos fenômenos geológicos naturais, como a tectônica moderna (recente), a qual é responsável pelo modelado costeiro em tempos históricos, bem como as atividades induzidas pelo homem por meio de obras civis e as modificações

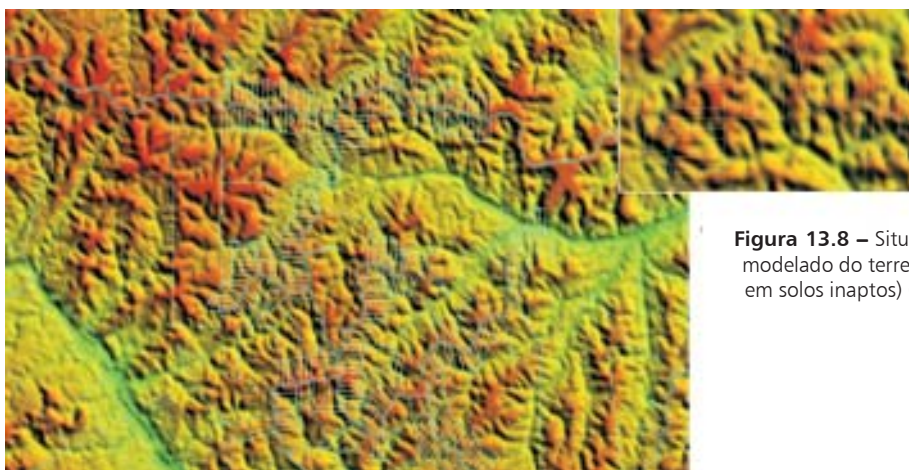


Figura 13.8 – Situação dos lotes frente às características do modelado do terreno (áreas planas, platôs, áreas íngremes e em solos inaptos) (região norte da cidade de Manaus, AM).



Figura 13.9 – Imagem orbital TM-7 e fotografia de campo, ilustrando o efeito da neotectônica sobre terrenos quaternários, de topografia suave, tornando-os susceptíveis à erosão, sobretudo após a retirada da vegetação. Fotografia: V. J. Marques.

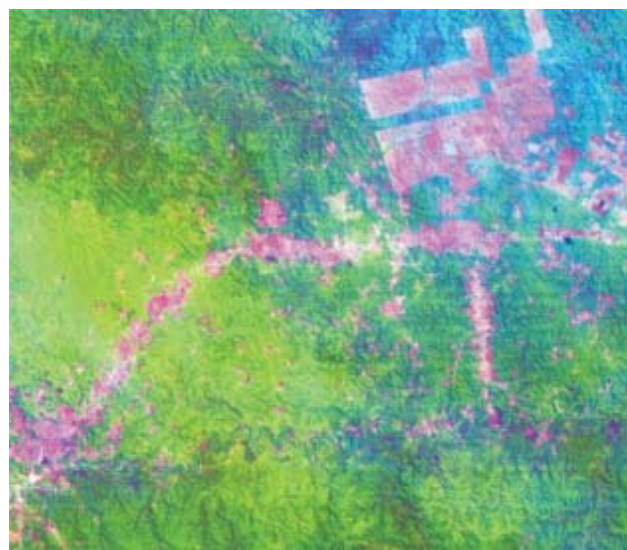


Figura 13.10 – Região periurbana de Brasília (AC), a oeste da imagem anterior, observando-se a transição para terrenos morfológicamente mais acidentados, frágeis do ponto de vista da capacidade de suporte à intervenção.

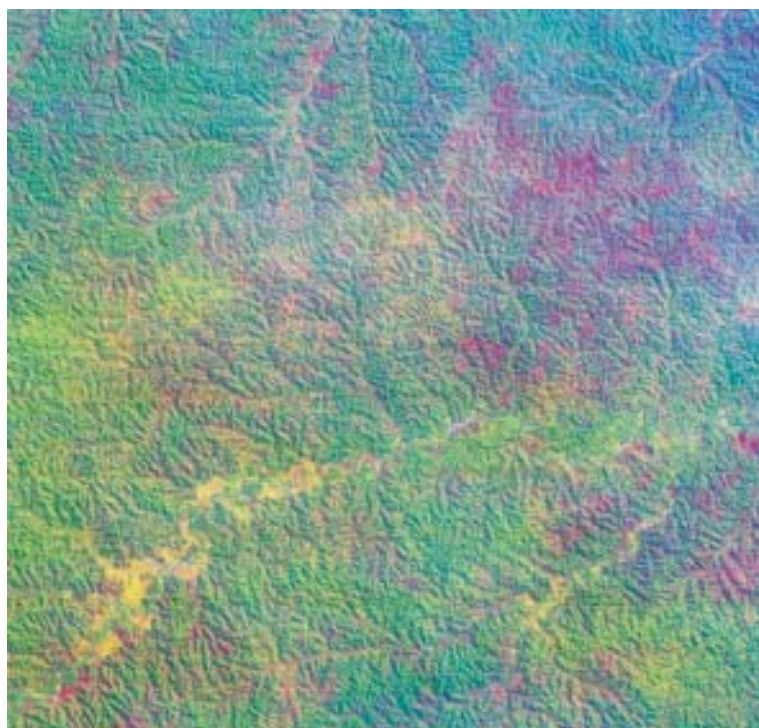


Figura 13.11 – Imagem orbital TM-7 e fotografia de campo ilustrando as faixas de maior tectonismo moderno, sobre as unidades quaternárias (Formação Solimões) no estado do Acre (perfil na Rodovia Assis Brasil–Brasília, AC).
Fotografia: Cláudio Sczlafcztein.

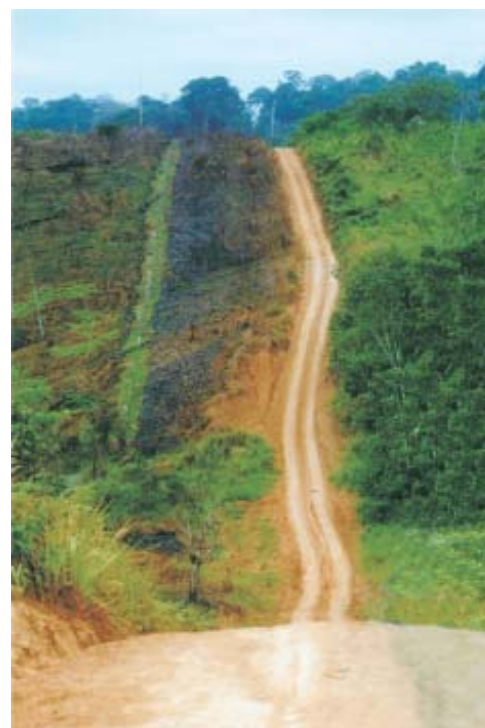


Figura 13.12 – Região de Assis Brasil (AC), junto à fronteira com o Peru, observando-se topografia acidentada, com drenagens bem encaixadas, devido à intensa atividade neotectônica registrada na região.

dos ecossistemas costeiros – a ocupação urbana e a remoção ou manipulação de mangues. Dessas “intervenções”, decorrem mudanças drásticas nas taxas de sedimentação e erosão costeiras, capazes de pôr em risco ou mesmo destruir o modelado atual, com grandes prejuízos ecológicos e financeiros.

Um exemplo dessa situação é observado na região do delta do rio Parnaíba (MA). As dunas se situam sobre blocos relativamente estáveis e com baixa declividade; as falésias, ao contrário, localizam-se em rampas com movimento positivo. As taxas de movimentação são elevadas e a ocupação do litoral exige o seu reconhecimento e monitoração (Figura 13.13).

Registra-se outro exemplo de erosão no litoral do Maranhão. Segundo moradores, a linha de costa sempre foi regressiva, com uma taxa de mais ou menos 3 m/ano; contudo, há 2 anos diminuiu bruscamente para a taxa atual. A causa mais provável seria que o refluxo da maré tornou-se muito mais forte, devido à diminuição das áreas de salgueiro, pela construção dos diques dos criatórios de camarão. Estima-se que a altura das marés aumentou 1,5 m no período (Figura 13.14).

A ciclicidade dos fenômenos de elevação e abaixamento de blocos no litoral nor-

destino, compondo uma “tectônica do tipo teclas de piano”, pode ainda ser comprovada pelos registros de afogamento e exumação de florestal de mangue (Figuras 13.15 e 13.16).



Figura 13.13 – Região do delta do rio Parnaíba (MA). Imagem Landsat TM. Observa-se o elevado grau de controle tectônico da localização dos campos de dunas e mangues.



Figura 13.14 – Erosão do litoral do Maranhão – delta do rio Parnaíba. Porção de costa apresentando processo erosivo violento (700 a 800 m em dois anos), destruindo uma rodovia. Coordenadas: W 41° 27'06"; S 2° 54'23,3". Fotografia: V. J. Marques.



Figura 13.15 – Ocorrência de uma extensa floresta de mangue afogada por areia. Fotografia: V. J. Marques.



Figura 13.16 – Observa-se, por algumas centenas de metros, a presença de restos de vegetação, salientando-se os abundantes troncos de árvores soterrados por areias praias. Coordenadas: W 41° 41'44" ; S 2° 50'05". Fotografia: V. J. Marques.

DESCOBERTA DE CONCENTRAÇÕES MINERAIS

Na busca de depósitos minerais (prospecção e pesquisa mineral), aplicam-se os conhecimentos geológicos para se delimitar, em mapa, os vários tipos de rochas, suas características e potencialidades de conterem minerais de interesse econômico (Figura 13.17). Por exemplo, uma rocha granítica que não tenha sido submetida a grandes deformações em estágio rúptil e sendo constituída por minerais que não se alterem facilmente, poderá ser indicada para uso ornamental (pisos, paredes, mesas, pias etc.), de acordo com sua resistência e beleza natural. Após essas indicações, são efetuadas sondagens para identificar extensão, profundidade e largura dessa jazida, para verificar a economicidade do empreendimento.

Concomitantemente à confecção do mapa geológico, é elaborado o mapa de potencial mineral, com o cadastramento das ocorrências e depósitos minerais, bem como das minas que já se encontram em exploração. Esse mapa apresenta dados factuais que facilitam a delimitação de alvos com alta potencialidade em conter depósitos minerais (Figura 13.18).

Outras ferramentas, como as imagens de satélites, são utilizadas para inferir áreas mineralizadas por meio da geoquímica, analisando-se as águas e sedimentos dos rios, para verificar se apresentam valores anômalos para elementos metálicos como chumbo, zinco e cobre, por exemplo. Ao se verificarem valores anômalos e a localização da origem desses elementos, efetuam-se análises de solos para delimitar com maior precisão o local onde ocorre o depósito mineral. Realiza-se, também, a geofísica para confirmar, indiretamente, a extensão do corpo em profundidade. Em seguida, dá-se início à fase de sondagem, para delimitar o corpo de minério em profundidade, em que são realizadas análises dos testemunhos de sondagem para verificação do teor de minério, para, a partir daí, proceder-se a estudos de viabilidade econômica (Figura 13.19).

A geofísica (métodos sísmicos) é muito utilizada na pesquisa de petróleo e gás. Consiste na emissão de ondas de choque e medição de sua velocidade nos diversos meios rochosos em profundidade. Como cada tipo de rocha apresenta velocidades específicas, essa leitura permite que se mapeiem estruturas como dobras, falhas, empilhamento das rochas e delimitação dos corpos rochosos, onde se encontram os reservatórios de petróleo e gás.

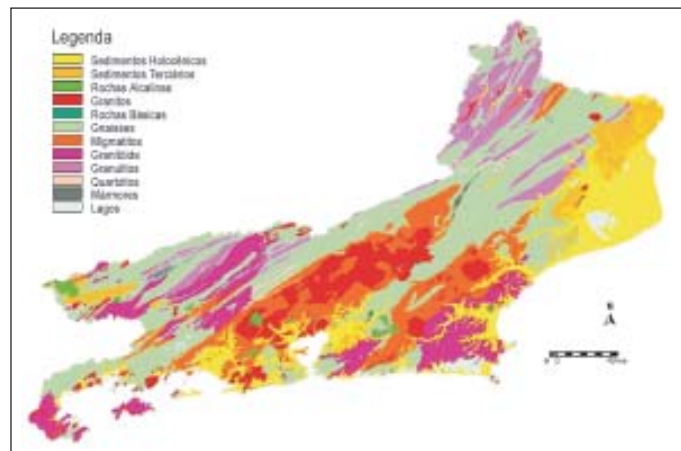


Figura 13.17 – Mapa geológico simplificado do estado do Rio de Janeiro (modificado de CPRM-DRM/RJ, 2000).

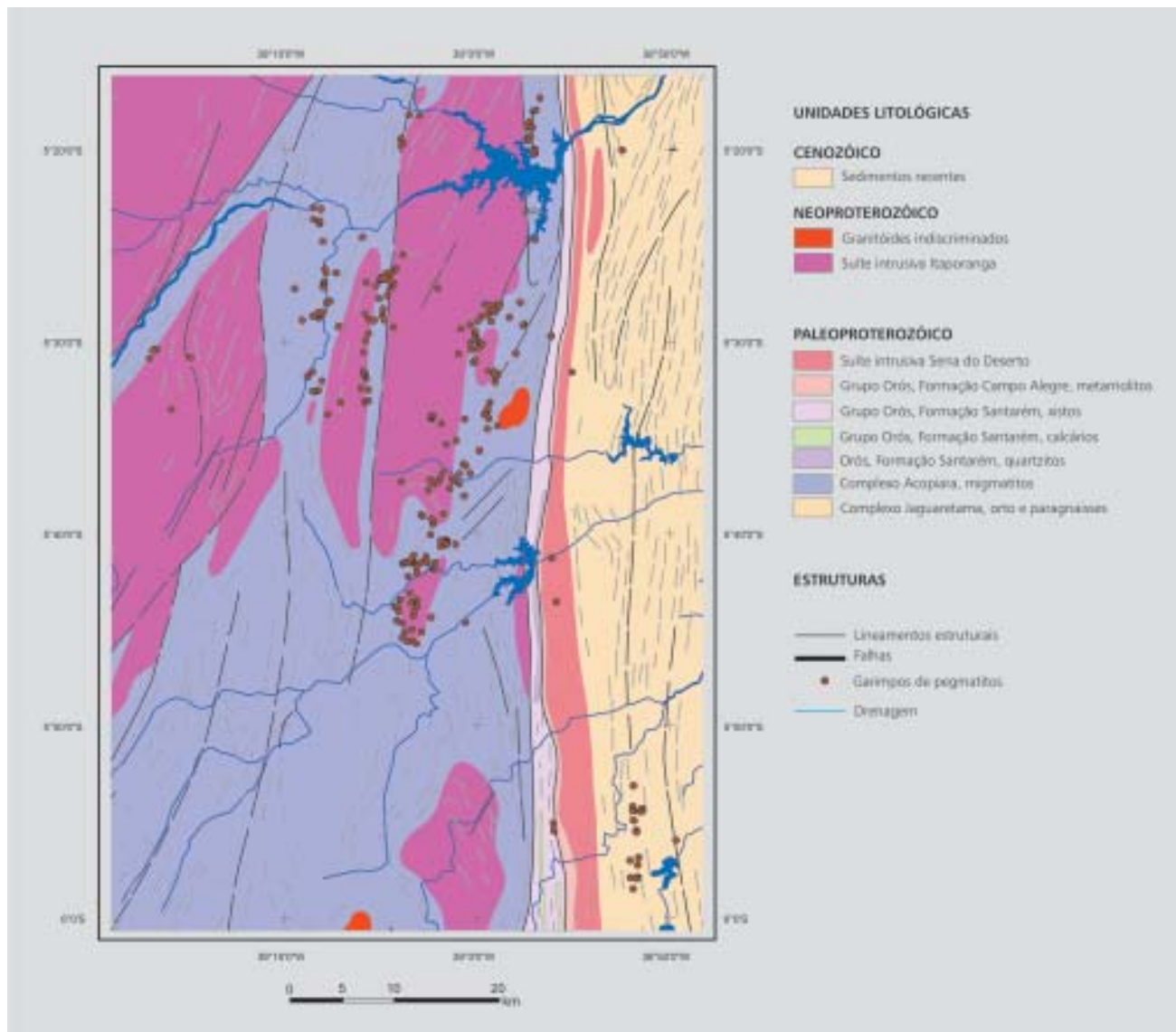


Figura 13.18 – Mapa do potencial mineral da região de Salanópolis – CE (CPRM, 2005). O mapa mostra a ocorrência de vários corpos de pegmatitos contendo gemas, rodeando, principalmente, os corpos graníticos intrusivos.



Figura 13.19 – Minério de lítio em veio pegmatítico de cor clara, encaixado em biotita-andaluzita-xistos escuros da mina Cachoeira (Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG).

Os bens minerais são de alto interesse social: veículos, trens, aviões, energia, eletrodomésticos, habitações, insumos para agricultura, água e nutrientes minerais para dieta alimentar dos humanos e animais. Em suma, a sociedade é totalmente dependente dos bens minerais para manter o seu bem-estar e a qualidade de vida (Figura 13.20).

RECURSOS MINERAIS DO MAR

Com vistas à futura exaustão de alguns bens minerais, parte das atenções mundiais está voltada para os recursos do mar. Atualmente, já ocorre expressiva mineração em mar aberto, tanto em quantidade como em valor. É composta de agregados (areia e cascalho) para a indústria da construção, seguida pelos pláceres submersos de estanho, carbonatos bioclásticos para corretivo de solo e cimento e acumulações fosfáticas para uso em fertilizantes. As lamas ricamente mineralizadas do mar Vermelho serão brevemente exploradas. As grandes quantidades de nódulos polimetálicos (Figura 13.21) também devem ser consideradas como contribuição valiosa para o suprimento mundial de níquel, cobre, cobalto e manganês. Acumulações de sulfetos mapeados no oceano Pacífico leste representam ocorrências a serem pesquisadas, embora o desenvolvimento de novas tecnologias venha a ser requerido, antes de serem minerados economicamente (MARTINS e SOUZA, 2008).

A exploração de minerais marinhos depende, em essência, do custo competitivo de outros recursos que, por sua vez, estão vinculados ao desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo, bem como de seu valor e quantidade acessíveis. Entre os muitos fatores que determinam a distribuição dos recursos minerais marinhos, a evolução



Figura 13.20 – Bens minerais utilizados em habitações (RODRIGUEZ, 1995).

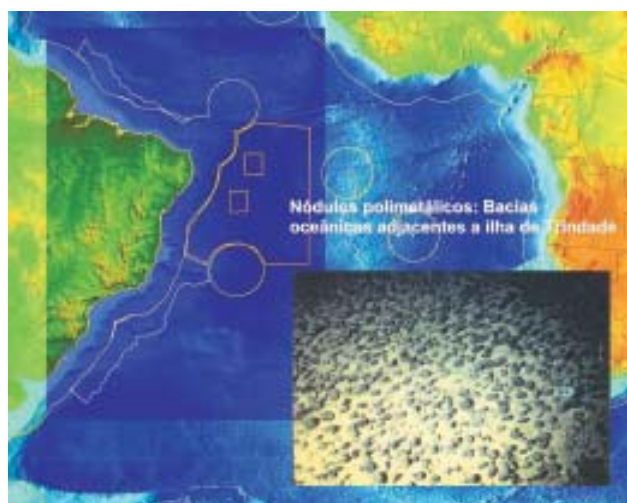


Figura 13.21 – Áreas de interesse do Brasil, no oceano Atlântico sul, para pesquisa mineral (SOUZA, 2007).

dos oceanos é determinante (MARTINS e SOUZA, 2008). Dessa maneira, a localização dos minerais, decorrente dos diferentes estágios de evolução oceânica, foi identificada a partir do conhecimento da evolução da geodiversidade dos fundos oceânicos.

O petróleo e gás, na plataforma continental brasileira, têm se mostrado estratégicos para o Brasil; a pesquisa efetuada pelos geólogos com métodos indiretos – como geofísica de alta resolução, interpretações dos ambientes de sedimentação e configuração geológico-estrutural – e métodos diretos, como testemunhos de sondagem, são fundamentais para as descobertas e avaliações de novos depósitos em águas profundas, a exemplo das camadas pré-sal, localizadas a mais de 7.500 m de profundidade.

GRANDES OBRAS DE ENGENHARIA

Obras de engenharia, como usinas hidroelétricas, rodovias, ferrovias, pontes, túneis, minas subterrâneas, gasodutos, oleodutos, minerodutos, grandes edifícios e edificações em geral, exercem cargas sobre os terrenos, tanto durante as etapas construtivas, quanto durante a operação a que são destinadas.

Os terrenos (rochas e solos), por sua vez, respondem às solicitações impostas de acordo com suas características geológico-geotécnicas intrínsecas, podendo, em caso de projetos inadequados, não resistirem às cargas que passam a atuar sobre eles, entrando em colapso e originando graves acidentes.

A geologia de engenharia é o ramo das ciências geológicas que tem como objetivo principal o conhecimento das características geológico-geotécnicas dos terrenos, adequando os projetos de obras de engenharia a essas características, dimensionando-os corretamente, dentro de uma margem de segurança, de tal forma que não haja

riscos de acidentes, com a perda de vidas humanas e prejuízos financeiros.

Do mesmo modo, a geologia de engenharia é chamada a atuar no sentido de avaliar e, quando necessário, corrigir ocupações inadequadas, colaborando com investigações específicas para o desenvolvimento de projetos corretivos das situações de risco criadas pelo uso incorreto do solo (Figura 13.22).



Figura 13.22 – Obra de contenção de encosta em área em que já havia ocorrido escorregamento em 2004 (Bairro Areal, Angra dos Reis, RJ). Fotografia: C. R. Silva.

AGRICULTURA

É indiscutível a importância do conhecimento do meio físico, dos recursos naturais, principalmente solos, para o desenvolvimento das atividades do homem no nosso planeta. Os solos representam a base de sustentação da agricultura e pecuária, além de comportarem toda a vegetação natural, estando intimamente ligados à biodiversidade. O conhecimento da geodiversidade, a qual inclui os solos, resulta no entendimento desse corpo de maneira integrada ao ambiente em que vivemos. Essa é a grande aplicação desse conhecimento que agrega aos solos outras variáveis correlatas, inclusive aqueles fatores de sua própria formação, como geologia, relevo, clima, organismos e tempo.

Considerando os aspectos da integração de dados e análises multitemáticas, o uso da geodiversidade no campo da agricultura torna-se bastante útil, pois ela, além de transformar a linguagem pedológica em linguagem mais acessível, atualiza conceitos da integração solos x geotecnia x hidrologia, necessários ao planejamento e conservação dos recursos naturais.

À medida que nos aproximamos de escalas maiores de estudos, a integração temática torna-se também mais complexa. Da mesma forma, nos estudos da geodiversi-

dade os solos passam a ter maior importância nessa integração. Podemos citar alguns usos mais importantes da geodiversidade sobre o ponto de vista da agricultura:

- Desenvolvimento de projetos de pólos agrícolas, considerando os aspectos relacionados às próprias limitações e potencialidades dos solos da região, associados aos centros de produção de insumos agrícolas.
- Desenvolvimento de projetos agrícolas, relacionando as informações de disponibilidade hídrica, tanto superficial quanto subsuperficial (hidrologia e hidrogeologia).
- Desenvolvimento de projetos agrícolas sustentáveis, considerando as informações do meio físico (geologia, geomorfologia, recursos hídricos, clima etc.) e de infraestrutura.
- Aplicação dos conhecimentos para assentamentos rurais, recuperação de áreas degradadas, reflorestamento, dentre outros.

DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E ADEQUADA UTILIZAÇÃO

As águas de superfície e subterrâneas são essenciais para a sobrevivência humana e demais seres vivos. O conhecimento dos processos hidrológicos, como o ciclo da água, o regime de chuva, o balanço hídrico, associados à quantidade e qualidade das águas, à localização, ao escoamento e evaporação e às condições das áreas de recarga dos aquíferos, é necessário para o adequado gerenciamento desse recurso natural.

O ciclo hidrológico completo apresenta três fases distintas: atmosférica, superficial e subterrânea.

A fase atmosférica se inicia com a evaporação da água de lagos, mares e oceanos ou da evapotranspiração da vegetação. Essa água ascende à atmosfera em forma de vapor (estado gasoso); no momento em que atinge determinada altitude, o correspondente rebaixamento da temperatura torna a massa de ar instável, pois atinge o ponto de saturação (temperatura de ponto de orvalho). Nesse momento, o vapor d'água se condensa, formando nuvens (microgotículas de água ou microcristais de gelo).

A partir do momento em que a quantidade de umidade nas nuvens excede sua capacidade de sustentação, ocorre o processo de precipitação (por meio de aglutinação de microgotículas ou coalescência a partir de partículas). A precipitação pode ocorrer em estado líquido (chuva) ou sólido (neve ou granizo); a precipitação terminal é o início da fase superficial do ciclo hidrológico.

Quando a chuva atinge o solo, sofre processo de interceptação vegetal (interceptação dossel, fluxo de atravessamento, fluxo de tronco, interceptação da serrapilheira). Nesse momento, a água pode tomar três caminhos: infiltração; escoamento superficial; retorno à atmosfera por meio da evapotranspiração.

Em solos expostos ou com baixa taxa de cobertura vegetal, predominam os processos de escoamento superficial, que alimentam os canais fluviais, drenando bacias de drenagem até atingir lagos, mares e oceanos. É nessa fase do ciclo hidrológico que a água – como recurso hídrico – é mais consumida em sociedades agrárias ou urbano-industriais em seus usos múltiplos.

A infiltração da água na matriz do solo inicia a fase subterrânea do ciclo hidrológico. Parte da água infiltrada é absorvida pelas raízes e retorna à atmosfera via evapotranspiração. Outra parte recarrega o lençol freático, que corresponde ao aquífero livre ou nível saturado do solo.

A água no lençol freático tem dois caminhos: sua descarga nos canais de drenagem, retornando à fase superficial do ciclo hidrológico; ou a recarga de aquíferos confinados profundos (podendo ser aquíferos fissurais, em rochas cristalinas; aquíferos porosos ou intergranulares, em rochas sedimentares; ou aquíferos cársticos, em rochas carbonáticas). Na fase subterrânea do ciclo hidrológico, o movimento da água é extremamente lento, mas produz grandes reservas potenciais de água doce, ainda pouco utilizada pela atividade humana.

Os estudos hidrológicos e hidrogeológicos propiciam os conhecimentos necessários, com base em ações que identifiquem as vazões, os sedimentos em suspensão, a dinâmica fluvial e o monitoramento da vazão e profundidade dos rios (Figura 13.23), como também os mananciais subterrâneos, as atuais condições de exploração e a disponibilidade hídrica dos aquíferos. Tais ações consistem em: programas de cadastramento de fontes de abastecimento por águas subterrâneas; pesquisas e estudos sobre a dinâmica de aquíferos; avaliação das potencialidades de aquíferos. A integração desses dados se dá por meio de sistema de informações geográficas (SIG), visando à elaboração de modelos que propiciem uma efetiva gestão dos recursos hídricos, no que tange a seus usos múltiplos, tais como: abastecimento humano; agricultura (irrigação); hidroeletricidade; navegação e transporte por cabotagem; pesca e aquíicultura; dessedentação animal; uso industrial; lazer ou recreação; turismo; mineração.

Na questão das águas subterrâneas é vital, ainda, o monitoramento com vistas a possíveis contaminações, principalmente das áreas de recarga dos aquíferos. A mencionar, ainda, a superexploração das águas subterrâneas ou superficiais em áreas cársticas que pode levar ao colapso obras de infra-estrutura, casas, prédios, como também a perdas de solos e acidentes com animais domésticos. Por outro lado, em regiões costeiras, a exploração descontrolada dos recursos hídricos subterrâneos pode ocasionar a salinização dos aquíferos por intrusão de água proveniente do mar, a exemplo do que ocorre atualmente em Recife.

Assim como hoje – quando já vivenciamos problemas de acesso à água –, no futuro, a qualidade e disponi-



Figura 13.23 – Estação de medidas de descarga líquida e altura do nível da estação Carrapato (Brumal) no ribeirão Santa Bárbara (município de Santa Bárbara, MG) (CPRM/ANA).

bilidade de água terão papel preponderante na qualidade de vida da sociedade; conseqüentemente, torna-se vital o gerenciamento adequado desse bem mineral. Para tanto, o conhecimento da geodiversidade que abriga e rodeia os mananciais superficiais e subterrâneos deverá ser bem aplicado.

Os impactos socioambientais e econômicos devido à inexistência de gerenciamento dos recursos hídricos têm acarretado sérios problemas, em especial, nas metrópoles. Há uma forte correlação entre a adoção e implementação de políticas de saneamento ambiental e a redução da incidência de internações por doenças de veiculação hídrica ou infecto-contagiosas em uma determinada região. O saneamento ambiental promove uma drástica redução dessas enfermidades, contribuindo para a diminuição dos índices de mortalidade infantil e aumento da qualidade de vida da população. Historicamente, no Brasil, a implementação do saneamento ambiental (construção de sistemas de distribuição de água tratada e de coleta e tratamento de esgoto) é priorizada nas áreas nobres, lócus da elite social e econômica. Bairros periféricos de baixa renda são, em geral, desprovidos de infra-estrutura de saneamento ambiental, o que agrava, indiretamente e de forma perversa, a imensa desigualdade social existente em nosso país.

SAÚDE

A geologia médica, campo do conhecimento desenvolvido nos últimos anos pelos geólogos, pode ser definida como o estudo das relações entre os fatores geológicos naturais e a saúde, visando ao bem-estar dos seres humanos e outros organismos vivos. Outro entendimento mais conciso é de ser o estudo do impacto dos materiais e processos geológicos na saúde pública. De acordo com essa visão, a geologia médica

inclui a identificação e caracterização das fontes naturais e antrópicas de materiais nocivos no ambiente, buscando prever o movimento e alteração dos agentes químicos, infecciosos e outros causadores de doenças ao longo do tempo e espaço, bem como compreender como as pessoas estão expostas a tais materiais e o que pode ser feito para minimizar ou evitar tal exposição (SILVA et al., 2006).

A união proporcionada pela geologia médica entre geólogos e outros cientistas, como médicos, dentistas, veterinários e biólogos, em um esforço para resolver as questões de saúde, local e globalmente, objetiva fortalecer e integrar as pesquisas que possam reduzir as ameaças ambientais à saúde e bem-estar dos seres humanos e à biodiversidade.

As questões associadas à saúde geralmente se referem a seres humanos e outras criaturas vivas, em tempos recentes, ao passo que o foco da geologia repousa sobre o substrato inanimado e o passado. Assim, embora possam estar em áreas distintas do conhecimento ou requeiram diferentes abordagens de investigação, as relações diretas entre essas duas disciplinas não podem ser ignoradas. Segundo SILVA et al., (op cit.), “a vida desenvolve-se numa matriz de materiais da terra – rochas, minerais, solos, água, ar – cuja disponibilidade exerce um profundo controle sobre o que todas as criaturas vivas ingerem e como elas se desenvolvem biológica e culturalmente [...] somos o que comemos e bebemos”.

O ar que respiramos, a água que bebemos e os nutrientes que consumimos dependem do ambiente geológico, o qual podemos controlar somente de forma parcial. Como lutamos para nos adequar a um mundo que terá, em futuro próximo, cerca de 10 bilhões de pessoas, um melhor entendimento acerca dos processos pelos quais o ambiente natural (geossistema) influencia a nossa saúde permitirá decisões mais apropriadas. É consenso geral que mudanças globais estão relacionadas aos poderosos impactos produzidos pelo homem em sua vizinhança, a partir do Holoceno (10.000 anos AP), sobretudo após o início da era industrial. Justamente, os efeitos nocivos ou benéficos que, por vezes, os materiais e processos geológicos provocam sobre os seres humanos, constituem o tema central da geologia médica (Figura 13.24).

Sobre a fauna e a flora constata-se a influência dos materiais geológicos, inclusive sobre o desenvolvimento e concentração de indivíduos e biomas e seus fenótipos. Estudos recentes têm demonstrado a relação entre a produtividade de animais domesticados e o conteúdo geoquímico de elementos químicos decorrentes de sua distribuição natural.

Há grande expectativa no sentido de que os geocientistas, juntamente com os profissionais da saúde, venham a contribuir, significativamente, para a melhoria da qualidade da saúde pública das populações humanas e da biodiversidade.



Figura 13.24 – Tabela Periódica (elementos essenciais e tóxicos) e os possíveis efeitos biológicos (modificado de Plant et al., 2001).

EVOLUÇÃO DA TERRA E DA VIDA

Por meio de estudos paleontológicos, é possível reconhecer os processos e eventos geológicos e biológicos naturais ocorridos nos últimos 400 milhões de anos e correlacionar a evolução da crosta terrestre e a vida nos diversos continentes (Figura 13.25).

Esses estudos são efetuados com o conhecimento de fósseis da flora e fauna antigas, para estabelecer o empilhamento estratigráfico e a idade relativa das rochas sedimentares. Paleoambientes deposicionais têm mostrado o aparecimento, a evolução e o desaparecimento de várias espécies biológicas, permitindo a identificação, com precisão, de mudanças climáticas pré-territas, sua distribuição geográfica, suas causas e seus impactos sobre os ecossistemas. Desses estudos, é possível inferir-se preciosas lições quanto à intensidade, extensão superficial, duração e ciclicidade das grandes modificações ditas geológicas ou naturais, ocorridas no passado, inclusive em tempos históricos ou sub-históricos. É possível, inclusive, afirmar que, nessa visada, o “passado pode ser a chave do futuro”, na medida em que as análises se baseiam em observações que abrangem um tempo maior que apenas os últimos 100-200 anos, que é o campo da meteorologia, além de abrangerem a interação de um número maior de sistemas e dimensões (terrestres, aquáticos, marinhos, globais e até mesmo cósmicos). Dessa forma, o que se costuma de-

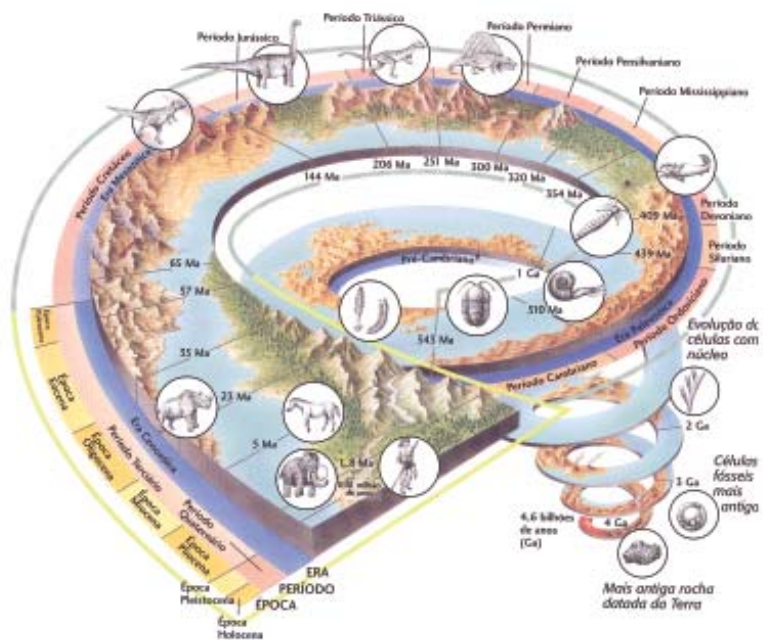


Figura 13.25 – Linha do tempo geológico da história da Terra. Abreviaturas: Ma (mega annu), milhões de anos; Ga (qiga annu), bilhões de anos (PRESS et al., 2006).

nominar geologia do Quaternário, sob essa ótica, passa a ter importância ressaltada.

A paleontologia também contribui para a identificação de ambientes propícios à ocorrência de materiais energéticos (petróleo, carvão, turfa), industriais (fertilizantes, barita) e para a construção civil (areia, argila).

Observa-se, portanto, que a abrangência do conhecimento geológico e, por certo, da geodiversidade, é muito mais amplo quando se refere ao passado, isto é, antes do presente, englobando todas as ciências naturais dos pro-

cessos geológicos atuais, em pedologia, geomorfologia, climatologia, biologia etc.

A coluna estratigráfica compreende, além dos registros biólogos de eventos extremos, como inovações e extinções, os registros paleoambientais de mudanças climáticas. Processos e eventos geológicos e biológicos naturais são registrados desde 400 milhões de anos atrás até o tempo atual, permitindo correlacionar os processos evolutivos da crosta terrestre e da vida, nos diferentes intervalos de tempo.

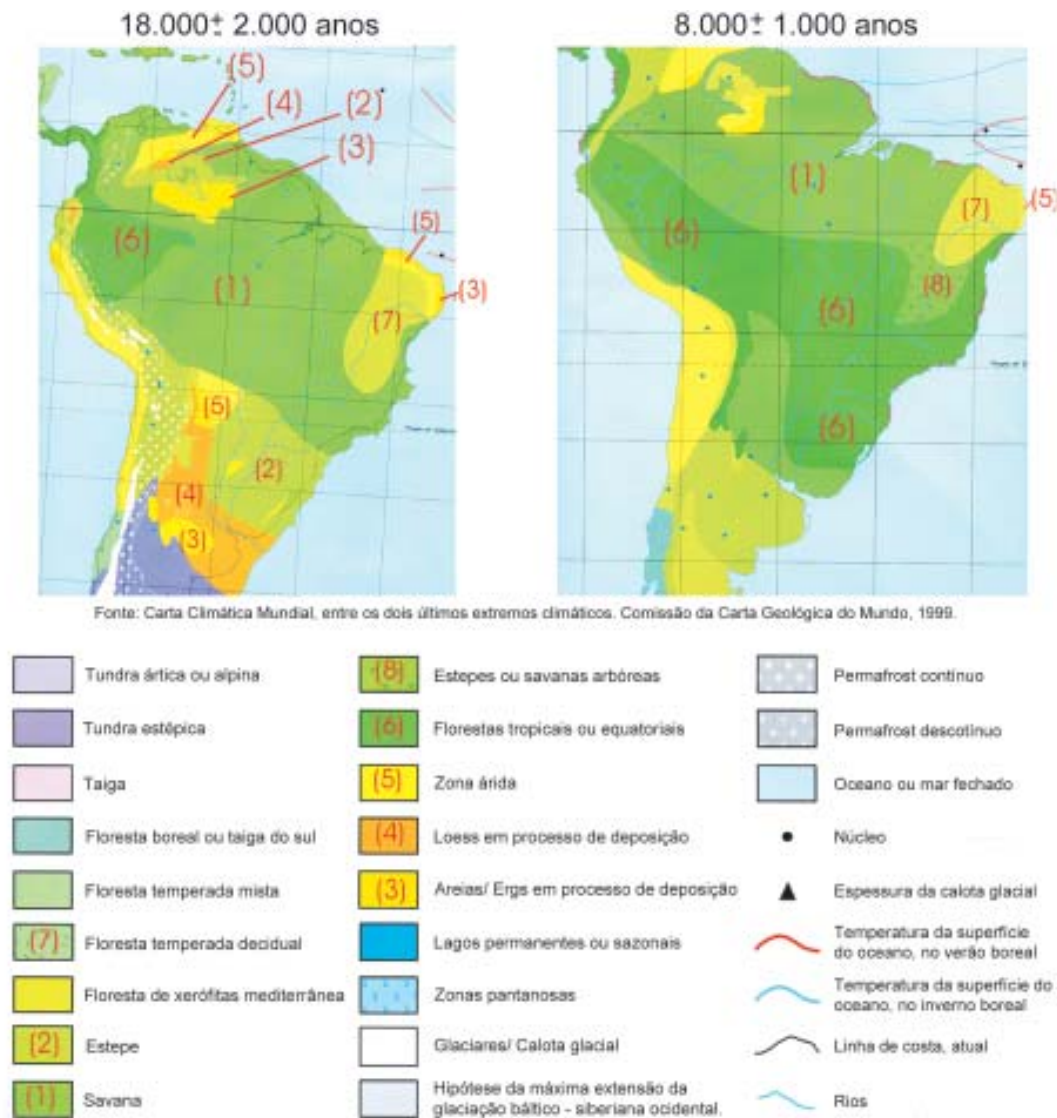
Essa é uma contribuição da paleontologia, para complementar os estudos de meio ambiente, para a compreensão dos processos geológicos e biológicos naturais do passado, nos atuais estudos para a preservação da vida existente no planeta, incluindo a vida humana. As mani-

festações de vida são recursos naturais renováveis, importantes para o presente e o futuro da humanidade.

A compreensão plena da geodiversidade somente é possível incorporando-se a história evolutiva do planeta, sobretudo os acontecimentos ocorridos nos últimos milhares de anos, cujas variabilidades e flutuações e respectivas conseqüências nos permitem ter referenciais isentos do quanto somos insignificantes perante os grandes eventos geológicos, apesar de nossa pretendida capacidade de controlar a natureza.

Como exemplo, observemos como o clima da América do Sul mudou nos poucos últimos milhares de anos e sua implicação sobre os ecossistemas terrestres, salientando-se a enorme expansão da floresta ombrófila amazônica a taxas elevadíssimas (Figura 13.26).

EVOLUÇÃO CLIMÁTICA DA AMÉRICA DO SUL



CPRM / DIGEAM: Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Jan./ 2001.

Figura 13.26 – Mapas dos paleoclimas da América do Sul.

MEIO AMBIENTE

O levantamento de informações da geodiversidade propicia a avaliação da intervenção do homem na natureza abiótica e suas conseqüências na biodiversidade. Os tipos de solos, rochas, relevo, águas fornecem subsídios para a elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e de Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA). Da mesma forma, a geoquímica – por meio de análises quantitativas de elementos químicos nos solos, sedimento de corrente, águas e ar – e a geofísica, por meio de métodos específicos, fornecem subsídios para avaliar a degradação ambiental de qualquer área ou região. Como exemplos, citam-se os aterros sanitários, lixões, cemitérios, dejetos industriais e domésticos, minas, agricultura (agrotóxicos, fertilizantes), águas superficiais e subterrâneas, postos de gasolina etc. (Figura 13.27).



Figura 13.27 – Área parcialmente degradada por atividade garimpeira (município de São João da Chapada, MT).

O conhecimento da geodiversidade contribui, substancialmente, para a preservação e proteção ambiental ao apontar as fragilidades e limitações do meio físico frente ao uso e ocupação potencial, bem como das áreas já ocupadas. Assim, por exemplo, paisagens naturais, em que a instalação de processos erosivos decorrentes de causas naturais (arqueamento tectônico) nos indica que cuidados muito especiais devem ser tomados no que concerne à ocupação desses terrenos (Figura 13.28).



Figura 13.28 – Processo erosivo provocado por arqueamento tectônico da crosta terrestre.

Em resumo, com o conhecimento do solo, subsolo, água e ar, torna-se possível elaborar diagnósticos a respeito da qualidade ambiental, como também apontar o tipo de degradação, a localização e as medidas a serem adotadas para recuperar ou mitigar os problemas encontrados.

PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

O homem, desde o seu aparecimento na Terra, há cerca de 6 milhões de anos, esteve sujeito a riscos advindos de fenômenos geológicos, como erupções vulcânicas, terremotos e maremotos, inundações, escorregamentos de encostas, erosão (Figura 13.29), corridas de lamas, desertificação (Figura 13.30), arenização e outros. Com o adensamento populacional das áreas rurais e urbanas, esse risco, além de aumentar estatisticamente, tendo em vista as alterações das condições naturais do meio ambiente, deu origem a perdas humanas, econômicas e ambientais, muitas vezes irreparáveis. Destarte, a previsão e a prevenção de desastres naturais foram características marcantes das mais diversas civilizações.

No Brasil, como em outros países, o crescimento populacional, sobretudo nas regiões urbanas, tem propiciado forte demanda de ações por parte dos governos, na medida em que se multiplicam as ocorrências de colapsos, afundamentos, movimentos de massa e inundações, com grandes perdas de vidas e prejuízos econômicos. Essa pressão social exercida sobre o meio ambiente, representada pela ocupação desordenada dos espaços territoriais inadequados à urbanização, tem resultado no agravamento do quadro social, sobretudo das grandes cidades.

O conhecimento das características geológico-geotécnicas dos terrenos, suas fragilidades e suscetibilidades frente aos processos dinâmicos, naturais ou induzidos, suas aptidões e capacidade de suportar as crescentes solicitações, tanto geradas pela expansão urbana, como pelo processo global de antropização dos espaços naturais, está relacionado ao ramo de geologia de engenharia e geotécnica e ao ordenamento territorial.



Figura 13.29 – Erosão desenvolvida a partir de desmatamento e falta de drenagens adequadas (município de Rio Branco, AC).
Fotografia: Amilcar Adamy.



Figura 13.30 – Fenômeno de desertificação em Gilbués (sul do estado do Piauí), onde os processos de erosão laminar e linear acelerados promoveram perda dos horizontes superficiais do solo e acarretaram assoreamento e desorganização da rede de drenagem, em uma condição de irreversibilidade do retorno da vegetação natural (caatinga). Fotografia: M. E. Dantas.

Assim, desenvolvem-se atividades específicas que envolvem, dentre outras: caracterização geológico-geotécnica dos terrenos; mapeamento de áreas de risco geológico; cadastramento de ocorrências de movimentos de massa (Figura 13.31); cadastramento de investigações geotécnicas, como sondagens e ensaios; concentração de esforços e subsídios, financeiros e humanos, para atendimento às necessidades de conhecimento das características do meio físico, com vistas à prevenção de desastres naturais e induzidos, com rebaatimento nas propostas de ordenamento territorial.



Figura 13.31 – Deslizamento em encostas, em janeiro de 2007 (Bairro Vilage, Nova Friburgo, RJ). Fotografia: Jorge Pimentel.

Levantamentos de medições sistemáticas da precipitação das chuvas e dos níveis e vazões dos rios, associados às análises climatológicas, possibilitam prever inundações com antecedência de horas/dias/meses, dependendo da região. Atualmente, há três sistemas em operação de previsão de alerta de enchentes e inundações, os quais beneficiam 1,4 milhão de habitantes: Bacia do rio Doce (MG) (Figura 13.32), região do Pantanal mato-grossense (Figura 13.33) e Manaus (AM) (Figura 13.34).

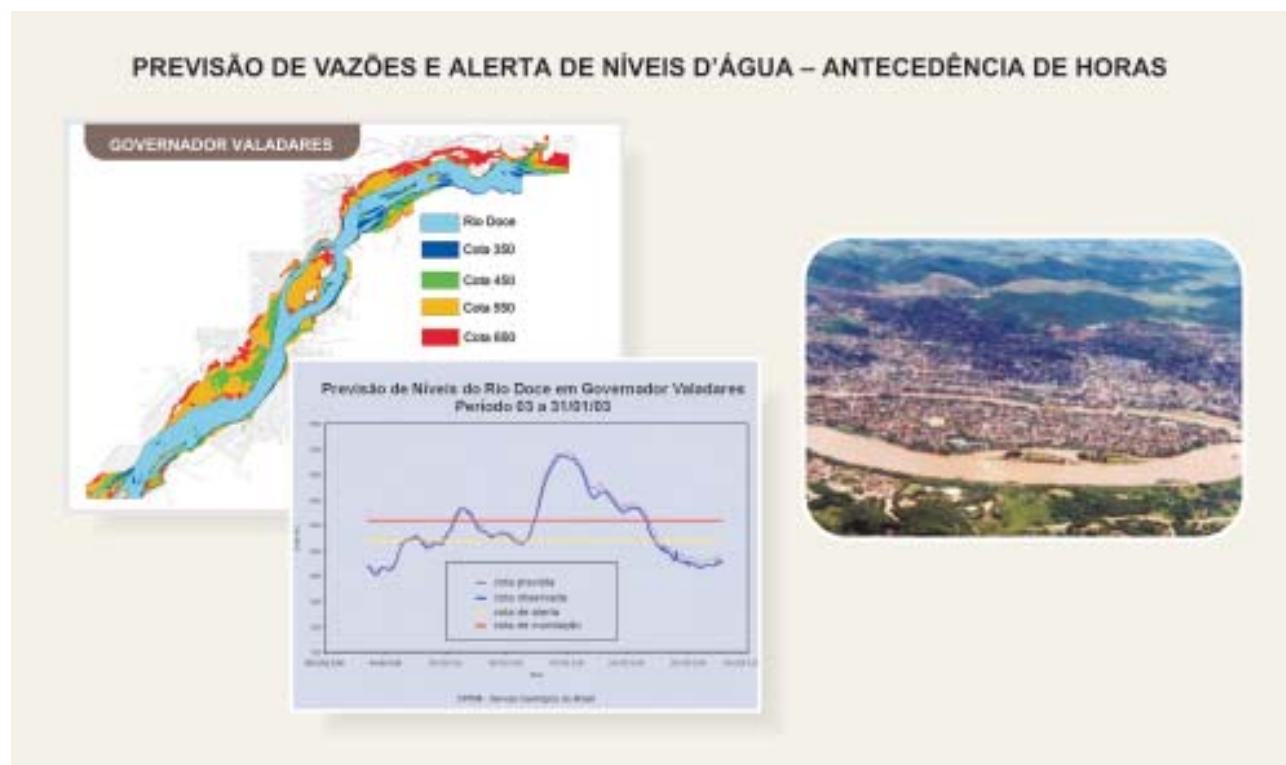


Figura 13.32 – Sistema de alerta da bacia do rio Doce que beneficia cerca de um milhão de habitantes (no canto inferior direito, vista panorâmica da cidade de Governador Valadares, MG). (CPRM/DEHID).



Figura 13.33 – Previsões de níveis de água com até quatro semanas de antecedência (região do Pantanal mato-grossense, municípios de Aquidauana, Barão de Melgaço, Bodoquena, Cáceres, Corumbá, Coxim, Ladário, Miranda, Poconé, Porto Murtinho, Rio Negro e Rio Verde de Mato Grosso, beneficiando 350.000 habitantes) (CPRM/DEHID).



Figura 13.34 – Previsão do nível d'água máximo com antecedência regressiva de 75, 45 e 15 dias, beneficiando 57.000 pessoas (Manaus, AM) (CPRM/DEHID).

Para os escorregamentos de encostas, que muitos danos e mortes têm causado às populações mais pobres, foram desenvolvidos os sistemas de alertas com previsão de horas e/ou dias, para as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Vitória. São utilizados os dados de mapeamento geotécnico, o qual apresenta a localização das áreas de riscos a deslizamento, associados às informações de precipitação das chuvas e análises climatológicas.

AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Para os geocientistas que objetivam mapear as evidências das mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta Terra, é necessária a utilização de geoindicadores – medidas de magnitudes, frequências, taxas e tendências de processos e fenômenos geológicos que ocorrem na superfície da Terra ou próximos a ela e que estejam submetidas a variações significativas em períodos de 100 anos ou menos (BERGER e IAMS, 1996). Tais indicadores são baseados em métodos padronizados e procedimentos de monitoramento multidisciplinares, a partir de dados de geologia, geoquímica, geomorfologia, geofísica, hidrologia e outras ciências da Terra. O objetivo é a avaliação das condições dos ambientes terrestres e costeiros, tanto em nível local quanto global, para se depreender as causas e efeitos produzidos por ações antrópicas e naturais, dentro do grande sistema planetário.

Geoindicadores passíveis de monitoramento são: formação e reativação de dunas; erosão eólica; química e padrão de crescimento dos corais; nível relativo do mar e da linha de costa; níveis e salinidade de lagos; fluxo de corrente das águas; morfodinâmica fluvial (morfologia e padrão de canal; vazão líquida e aporte de sedimentos; assoreamento e erosão fluvial); extensão, desertificação



Figura 13.35 – Solo em processo de desertificação no nordeste brasileiro (CPRM/DEHID).

(Figura 13.35), estrutura e hidrologia das terras úmidas; qualidade das águas superficiais e subterrâneas; química e nível das águas subterrâneas na zona não saturada; atividade cárstica; qualidade e erosão de solos e sedimentos; deslizamento de encostas; sismicidade; sequência e composição de sedimentos, regime de temperatura de subsuperfície; aparecimento e/ou extinção de espécies.

GEOCONSERVAÇÃO E GEOTURISMO

Segundo TRAININI (2003), “no Brasil existe uma tradicional exploração de grandes feições naturais como Vila Velha, no Paraná, Cataratas do Iguaçu, a região de Bonito, no Pantanal, as grutas calcárias, etc. Porém, mesmo aí, é falha a indicação do significado geológico destas feições, deixando-se de agregar um maior valor ao produto turístico. A simples indicação da história geológica das cenas agrega valor à paisagem, aumentando o seu potencial como produto gerador de turismo e renda”.

Para SILVA (2004), “as minas abandonadas e/ou desativadas, denominadas de passivo ambiental e vistas como problemas, devem ser protegidas e consideradas como Patrimônio Mineiro, tornando-se excelentes atrativos turísticos”.

Atualmente, o geoturismo voltado para a geoconservação tem-se expandido em grande escala em várias partes do mundo, principalmente nos países europeus e na América do Norte. Da mesma forma, também no Brasil o geoturismo vem se desenvolvendo rapidamente.

Os atrativos turísticos mais comuns são os monumentos geológicos (Pão de Açúcar e Pedra da Gávea, na cidade do Rio Janeiro; Pico Dedo de Deus, na serra dos Órgãos; Cabo Frio, no Rio de Janeiro; ou Vale dos Dinossauros, na Paraíba), geoparques, afloramentos, cachoeiras, cavernas, sítios fossilíferos, além de inúmeras minas desativadas/abandonadas, fontes termais, paisagens, trilhas etc. (Figuras 13.36 e 13.37).

Essas atividades têm grande importância para a conservação dos registros da evolução do planeta Terra e a divulgação das geociências, ao mesmo tempo em que propiciam a geração de empregos e renda para as populações locais.

Outras feições da geodiversidade, como os campos de dunas do Maranhão, conhecidos como Lençóis Maranhenses, já se tornaram, merecidamente, celebridades de nível internacional, em face de sua deslumbrante beleza exótica (Figura 13.38).

As cavernas constituem-se em outro objeto geológico de grande interesse para o turismo, tanto no que concerne à visitação com vistas ao lazer, como no conhecimento da nossa antropologia. Um dos pontos de grande interesse no território nacional é o Parque Nacional da Serra da Capivara, onde se pode visitar o Museu do Homem Americano e centenas de cavernas ricas em pinturas rupestres (Figuras 13.39 e 13.40).



Figura 13.36 – Exemplos de atrativos naturais, brasileiros, adequados ao geoecoturismo.



Figura 13.37 – Projeto Caminhos Geológicos, realizado pelo DRM-RJ e várias parcerias. O painel mostra uma síntese do conhecimento e da evolução geológica da região de Cabo Frio (RJ). Fotografia: Kátia Mansur.



Figura 13.38 – Campos de dunas barcanas, no litoral do estado do Maranhão. Fotografia: V. J. Marques.



Figura 13.39 – Museu do Homem Americano (Parque Nacional da Serra da Capivara, PI).



Figura 13.40 – Pintura rupestre (Parque Nacional da Serra da Capivara, PI).

EDUCAÇÃO

O conhecimento da origem do planeta, a co-evolução do meio físico e biótico, as forças geológicas externas que atuam sobre a superfície em que se localiza a camada biológica e as transformações internas promovidas pela dinâmica interna do planeta Terra precisam ser disseminadas desde a educação fundamental da nossa população. Somente assim, os conceitos de preservação e aproveitamento racional do meio natural – o desenvolvimento sustentável propriamente dito – poderão ser plenamente compreendidos em suas dimensões geológicas espaço-temporais.

Outra questão de relevante teor social é a conscientização da população em relação à ocupação das áreas de riscos a escorregamentos de encostas e inundações. Nesse sentido, diversas instituições atuantes na área das geociências têm elaborado cartilhas educativas e distribuído para os moradores em áreas de riscos (Figuras 13.41 e 13.42).



Figura 13.41 – Cartilha destinada a orientar a população para a adequada ocupação de morros (FIDEM, 2006).



Figura 13.42 – Cartilha de alerta aos hábitos da população que podem causar danos relativos a escorregamento de encostas e inundações (PIMENTEL et al., 2007).

POLÍTICAS PÚBLICAS

O conhecimento da geodiversidade em toda sua amplitude – com destaque para as informações sobre o comportamento dos terrenos frente à apropriação do território pela irrefreável pressão demográfica e mais diversas atividades econômicas, sobre suas limitações e potencialidades para serem aplicadas em vários setores e regiões de conflito ao uso, como urbanização, energia, saúde, habitação, agricultura, mineração, obras de engenharia, defesa civil, meio ambiente, terras das populações tradicio-

nais, regiões metropolitanas, turismo e educação – fornece subsídios básicos para o planejamento, gestão e ordenamento do território.

Entretanto, tem-se verificado que a maioria dos instrumentos de planejamento efetuados no Brasil vem deixando a desejar quanto ao uso das informações da geodiversidade brasileira.

Esta tem sido uma preocupação mundial por parte da União Internacional de Ciências Geológicas (International Union of Geological Science (IUGS)), que, juntamente com a UNESCO-ONU, estabeleceu 2008 como o Ano Internacional do Planeta Terra (International Year Earth Planet). As atividades de comemorações iniciaram em janeiro de 2007 e se estenderão até dezembro de 2009.

Assim, com a adoção do lema “Ciências da Terra para a Sociedade”, têm-se como objetivos principais demonstrar o grande potencial das ciências da Terra na construção de uma sociedade mais segura, sadia e sustentada e encorajar a sociedade a aplicar esse potencial, mais eficientemente, em seu próprio benefício (Figura 13.43).

Prevê-se, para as próximas décadas, que a busca por recursos naturais em termos globais será cada vez maior, em vista do aumento da população mundial, com o conseqüente incremento da demanda por alimentos, água, energia, minerais metálicos e construção de moradias, bem como da contínua urbanização e da degradação ambiental crescente nos países subdesenvolvidos.

A degradação dos recursos ambientais que atinge o globo terrestre demonstra que a natureza não possui condições de sustentar esse crescimento econômico desenfreado, principalmente o implementado pelas potências ocidentais desde a Revolução Industrial (com destaque para os Estados Unidos da América) e recentemente seguido pelos denominados “países emergentes” (em especial, a China). A exploração indiscriminada pode provocar uma situação de esgotamento ou deterioração irreversível desses recursos naturais, considerando-se que os processos de renovação natural não alcançam a mesma velocidade

da produção de matérias-primas, alimentos e da própria degradação.

O ordenamento territorial, precedido pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), constitui-se em uma ferramenta técnico-gerencial de caráter tecnológico, político, jurídico e educativo, que possibilita à sociedade tomar as melhores decisões para preservar os processos e mecanismos de renovação dos recursos naturais, conservando as condições ambientais sustentáveis para as gerações futuras. Portanto, ele deve ser planejado sobre bases concretas e bem definidas, considerando, em

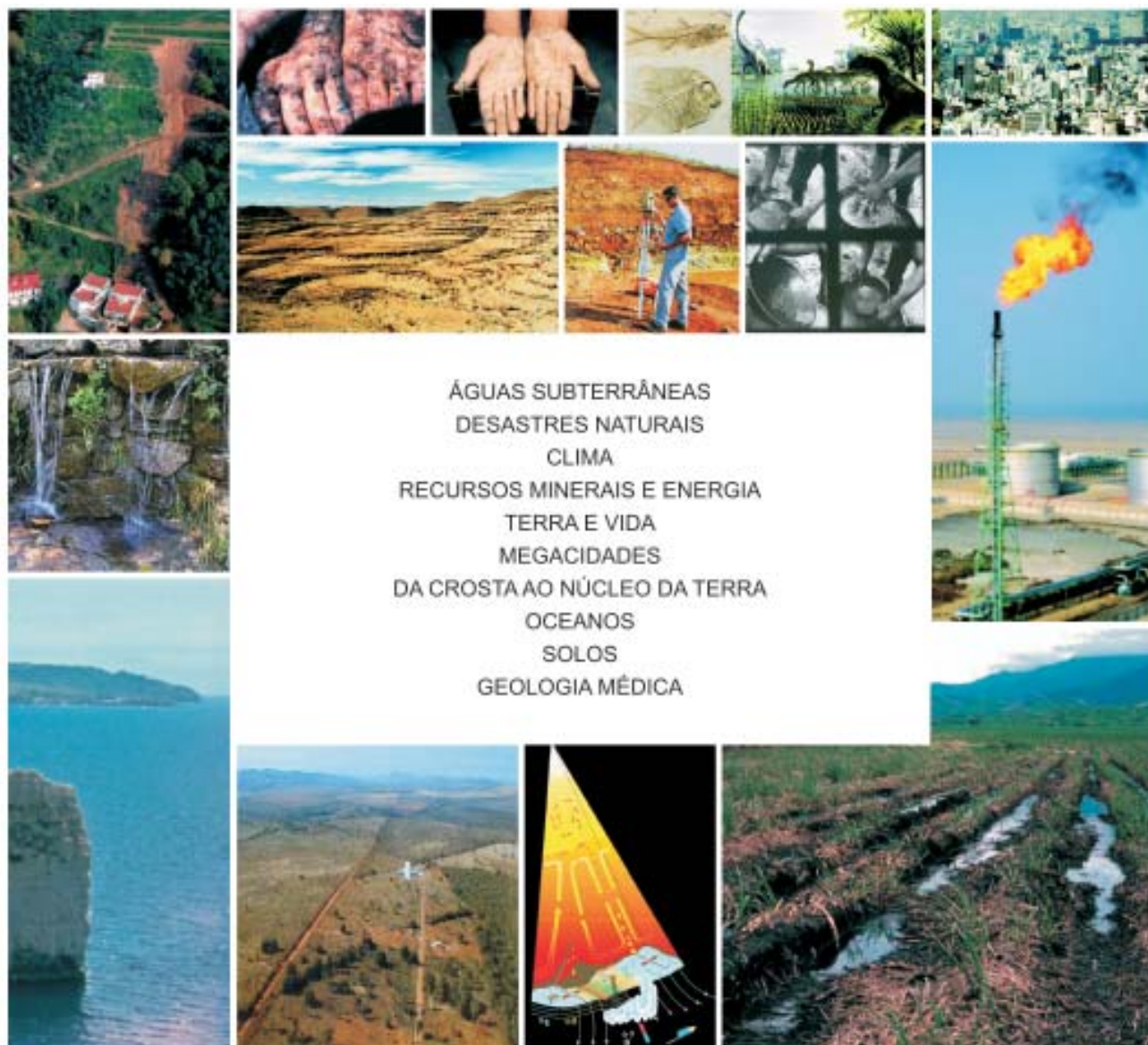


Figura 13.43 – Representação dos 10 temas considerados pelos geocientistas de relevante interesse para a sociedade (BERBERT, 2008).

um viés histórico, as variáveis da geodiversidade, os fatores sociais e econômicos, como também valores filosóficos, como holismo, ética e sustentabilidade ambiental.

Vislumbra-se, assim, que a geodiversidade – principalmente com a atuação de profissionais como geólogos, agrônomos e geógrafos – é de fundamental importância, propiciando a pesquisa de métodos e enfoques que objetivam a otimização do gerenciamento dos usos dos recursos naturais, compatibilizando-os com suas limitações ecológicas e incorporando a variável ambiental ao processo de ordenamento territorial.

Os referidos profissionais atuam em diversas linhas de pesquisa, tais como: monitoramento geoquímico da qualidade alimentar e disponibilidade de água potável; fornecimento de energia tradicional e alternativa; disponibilização de bens minerais e insumos agrícolas a custos

menores; prevenção de desastres naturais; avaliação de mudanças climáticas; elaboração de instrumentos de planejamento, gestão e ordenamento territorial.

Dessa forma, entendemos que o conhecimento da geodiversidade é instrumento indispensável para a definição e implantação de políticas públicas, para os governos federal, estaduais e municipais.

BIBLIOGRAFIA

- BENNETT, M. R.; DOYLE, P. *Environmental geology: geology and the human environment*. New York: John Wiley & Sons, 1997. 512 p.
- BERBERT, C. O. Geologia social: a nova visão dos serviços geológicos. *Terra em Revista*, Rio de Janeiro, ano I, n. 0, p. 9-10, ago. 1995. [Opinião].

- BERBERT, C. O. Ano Internacional do Planeta Terra: Ciências da Terra para a Sociedade. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL O PLANETA TERRA EM NOSSAS MÃOS. Câmara dos Deputados/Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Congresso Nacional, 2008.
- BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Eds.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996. 466 p.
- CORDANI, U. The role of the Earth sciences in a sustainable world. *Episodes*, v. 23, n. 3. p. 155-162, 2002.
- CORRÊA, P. R. S.; RAMOS, V. L. S. *Diagnóstico geoambiental*. Projeto Mapas Municipais – município de Morro do Chapéu (BA). Salvador: CPRM-SUREG/SA, 1995. p. 148-155. Mapa.
- CORRÊA, R. L. Espaço: um conceito-chave da geografia. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C.; CORRÊA, R. L. (Orgs.). *Geografia: conceitos e temas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 353 p.
- CPRM. Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000. Rio de Janeiro: CPRM-DRM/RJ, 2000.
- _____. *Mapa preliminar da potencialidade mineral de Salanópolis – CE*. Escala 1:100.000. Projeto Gemas e Minerais de Pegmatitos do Estado do Ceará. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2005.
- _____. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Brasília: SGM-MME/CPRM, 2006. CD-ROM [legenda expandida].
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. de M.; SILVA, C. R. da; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de. Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. *Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental*. Rio de Janeiro: CPRM; Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. CD-ROM. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000.
- DINIZ, N. C.; DANTAS, A. C.; SCLiar, C. Contribuições à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL MINEIRO. Rio de Janeiro: CPRM/CYTED, abr. 2005.
- DOROTHY, M. *Environmental geology: an earth system science approach*. New York: W.H. Freeman, 1998. 452 p.
- FIDEM. Guia de ocupação dos morros da região metropolitana do Recife. Recife: FIDEM/SEPLANTES, 2006.
- KELLER, E. A. *Environmental geology*. 7. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 562 p.
- MARTINS, L. R. S.; SOUZA, K. G. Recursos minerais do mar. In: SILVA, C. R. (Ed.) *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro*. Rio de Janeiro: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2008.
- PIMENTEL, J.; FERREIRA, C. E. O.; TRABY, R. D. J.; DINIZ, N. C. *Comunidade mais segura: mudando hábitos e reduzindo riscos de movimentos de massa e inundações*. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. 27 p.
- PLANT, J.A., ANNELLS, R.N., HASLAM, H.W., STEENFELT, A., VARET, J. Sustainability the earth's surface environment: a european geoscience perspective. British Geological Survey research report, rr/00/05, 2001.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. *Para entender a Terra*. 4. ed. Tradução Rualdo Menegat. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p. il.
- RODRIGUEZ, S. K. *Nossa Terra, nossa casa*. São Paulo: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1995. il. 24 p.
- SILVA, C. R. *Programa geoecoturismo do Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM, 2004. [documento interno].
- _____. Geodiversidade: instrumento para planejamento, gestão e ordenamento territorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG.
- _____; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M.; Geologia médica no Brasil. In: SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; CAPITANI, E. M.; CUNHA, F. G. da. (Eds.). *Geologia médica no Brasil: efeito dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2006. 220 p.
- SOUZA, K. G. *Conhecimento geológico da plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes*. SEMINÁRIO NACIONAL DE GEOCIÊNCIAS. Rio de Janeiro: CPRM/CETEM, 2007. [palestra].
- 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/Serviço Geológico do Brasil, 1999. 48 p.
- ZONNEVELD, I. S. The land unit: a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology*, v. 3, n. 1, p. 67-86, 1989.

**CASSIO ROBERTO DA SILVA**

Graduado em Geologia (1977) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestrado em Hidrogeologia e Geologia Econômica (1995) pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, cursa o doutorado na área de Geologia Médica na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 1978, atuando (por 13 anos) na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP) e na Residência de Porto Velho (5 anos). Há 12 anos no Escritório Rio de Janeiro, é responsável pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET). Tem experiência profissional na execução e no gerenciamento de projetos em Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Geologia Ambiental, além de prestar consultoria internacional em Mapeamento Geológico e Geologia Ambiental. Ministra palestras em várias entidades e eventos nacionais e internacionais sobre Geologia Ambiental, Geodiversidade, Geologia Médica e Informações do Meio Físico para Gestão Territorial. Editor do livro “Geologia Médica no Brasil”, co-autor do livro “Prospecção Mineral de Depósitos Metálicos, Não-Metálicos, Óleo e Gás”. Autor de 44 trabalhos individuais e outros 20 como co-autor. Atuação no CREA, Associações de Empregados e Profissional de Geólogos. Coordenador da Divisão da América do Sul da International Medical Geology Association (IMGA). Distinção com os prêmios Qualidade CPRM (1993), CREA-RJ de Meio Ambiente (2001) e Patrono da Turma de Formandos de Geologia de 2003 da UFRRJ.

**VALTER JOSÉ MARQUES**

Graduação (1966) em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Petrologia (1979), pela Universidade de São Paulo (USP), e em Engenharia do Meio Ambiente (1991), pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Nos primeiros 25 anos de carreira dedicou-se ao ensino universitário, na Universidade de Brasília (UnB), e ao mapeamento geológico na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), entremeando um período em empresas privadas (Mineração Morro Agudo e Camargo Correa), onde atuou na prospecção mineral por todo o país. De 1979 até o presente, desenvolve suas atividades na CPRM/SGB, onde exerceu diversas funções e cargos, dentre os quais o de Chefe do Departamento de Geologia (DEGEO) e o de Superintendente de Recursos Minerais. Nos últimos quinze anos, vem se dedicando à gestão territorial, com destaque para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), sobretudo nas faixas de fronteiras com os países vizinhos da Amazônia, atuando como coordenador técnico-científico dos projetos binacionais.

**MARCELO EDUARDO DANTAS**

Graduado em Geografia (1992) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre em Geomorfologia e Geoecologia (1995) pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), atuando como geomorfólogo até o presente. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHEs de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.

**EDGAR SHINZATO**

Natural de Campo Grande (MS). Formado em Engenharia Agrônoma (1990) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Agronomia (área de concentração: Solos e Meio Ambiente) pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) em 1998. Iniciou sua carreira profissional em 1990, na iniciativa privada, desenvolvendo estudos de solos, principalmente para Engenharia de Irrigação no Nordeste do Brasil. Em 1994, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), onde vem desenvolvendo estudos de solos e geoprocessamento voltados para a área ambiental. Como Coordenador Executivo do Departamento de Gestão Territorial (DEGET), desenvolve projetos referentes à área de Agronomia em integração com a Geologia. É membro do núcleo de discussão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Entre os principais trabalhos desenvolvidos, constam levantamentos de solos de Morro do Chapéu; Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia (BA); APA de Lagoa Santa (MG); APA Sul (BH); Cuiabá e Várzea Grande (MT); SUFRAMA (AM). É instrutor da área de geoprocessamento da CPRM/SGB, especializado nos softwares ArcGis e Envi.

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 subducção de placas tectônicas e, por consequência, 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-

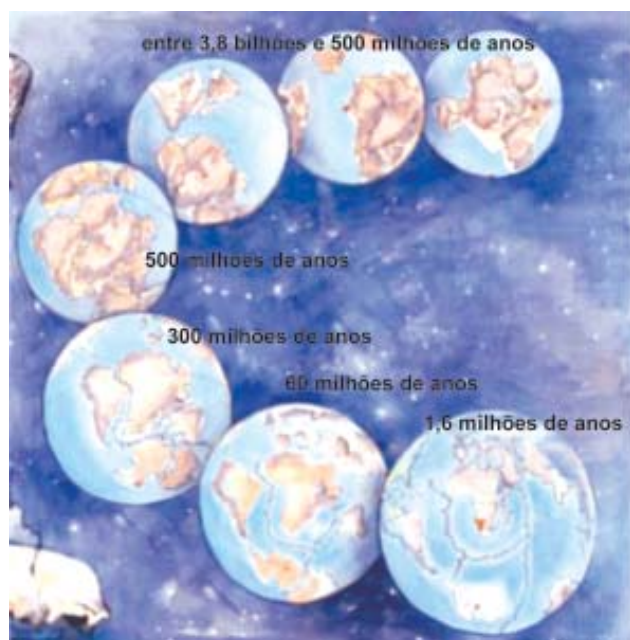


Figura 14.1 – Posição dos continentes nas diferentes eras geológicas da Terra, segundo a teoria da tectônica de placas.

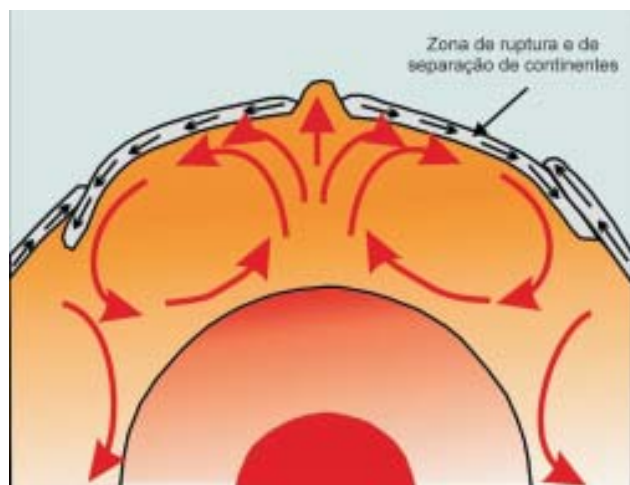


Figura 14.2 – Um processo de separação de continentes se inicia a partir da instalação de correntes de convecção, controlados pelo calor interno do globo, que empurram os blocos em sentidos opostos.

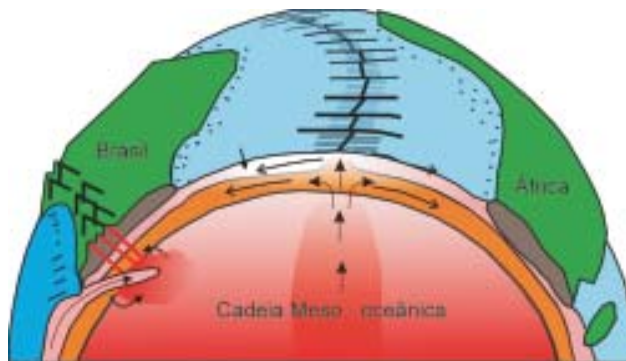


Figura 14.3 – É o processo descrito na figura anterior que faz com que, hoje, os continentes sul-americano e africano estejam, a partir da cadeia mesooceânica, separando-se um do outro.

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 consequência, 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 esquentar 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 meso-oceânica, 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 calmaria, 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 geo-ambientais 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 desestabilizações 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 matacões 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 matogrossense 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 Pariqueira-Açu, SP).

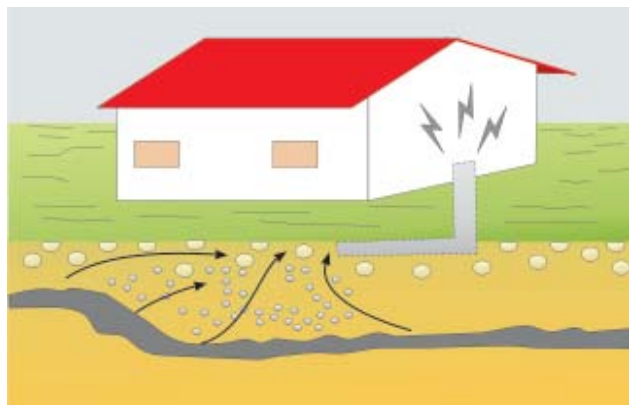


Figura 14.10 – Exemplo de infiltração de gás em tubulação de obra construída sobre uma camada rica em matéria orgânica.

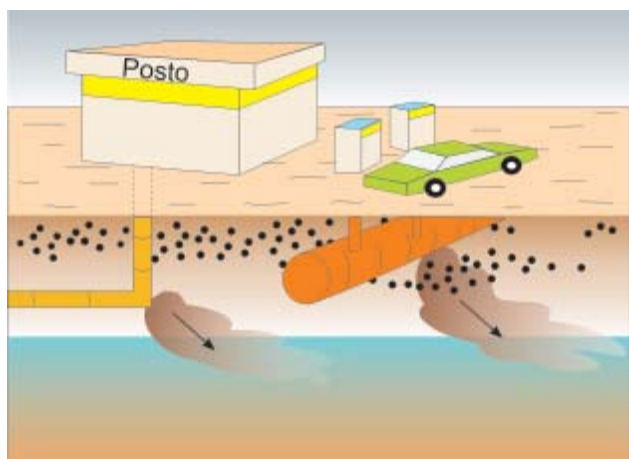


Figura 14.11 – Vazamento de poluente em áreas onde o lençol freático é pouco profundo.

- 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.



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

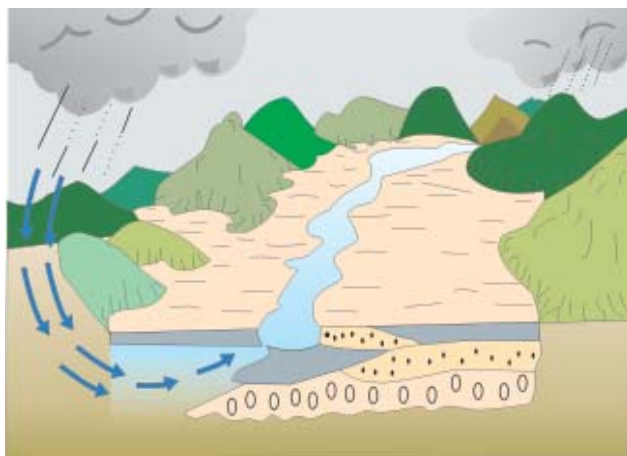


Figura 14.18 – Exemplifica-se porque a área de definição do geossistema 1 é favorável tanto à recarga como à descarga das águas subterrâneas.

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



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 extinguiram 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.

- 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 matações 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 Urucuia 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 consequência, 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. Consequentemente, 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.

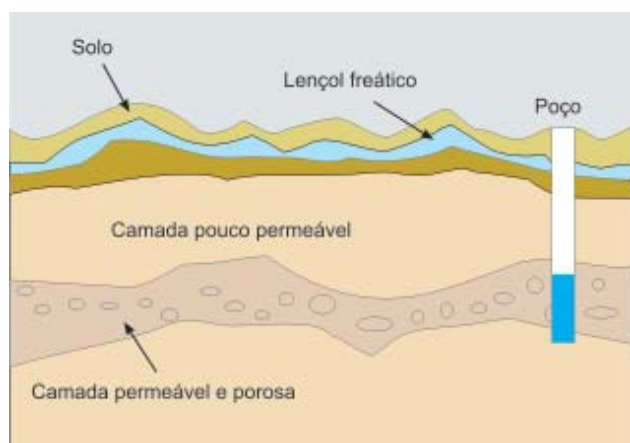


Figura 14.36 – Aquífero confinado.



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 esculpissem 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 consequente da alternância de sedimentos de diferentes composições (Formação Irati, SP).



Figura 14.41 – Folhelho finamente laminado, que 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

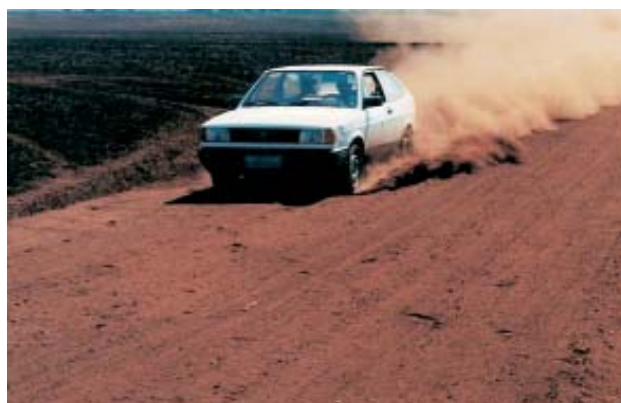


Figura 14.45 – Poeira levantada por tráfego em via de acesso construída sobre terrenos sustentados por sedimentos siltico-argilosos (Formação Aquidauana, SP).



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 areões 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 – Arenitos eólicos 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 desliz 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 km², estendendo-se pelo Brasil (840.000 km²), Paraguai (58.500 km²), Uruguai (58.500 km²) e Argentina (255.000 km²). 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.

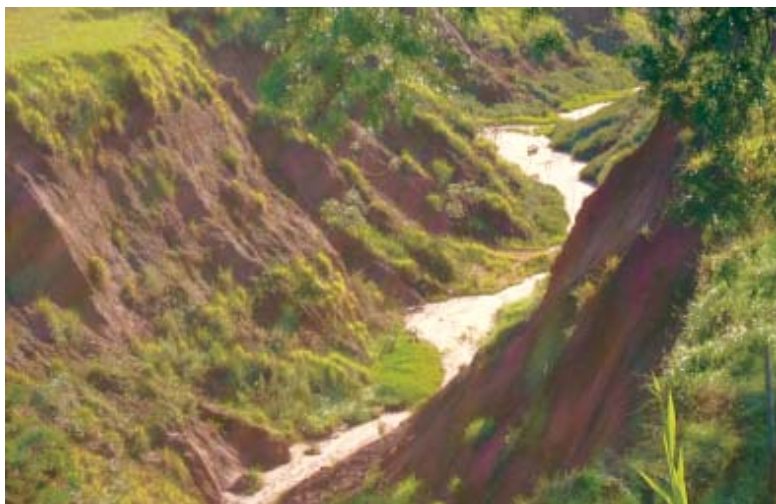


Figura 14.62 – Um curso d'água totalmente assoreado, associado aos arenitos da Formação Marília (SP).



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.

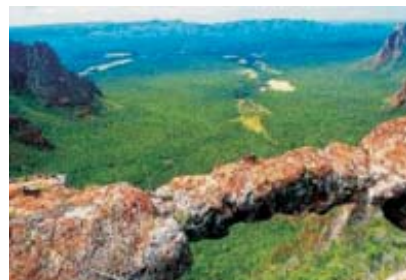


Figura 14.68 – Formas erosivas da Chapada dos Guimarães (MT), sustentadas, principalmente, por sedimentos devonianos da Formação Furnas.



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 paredões escarpados 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

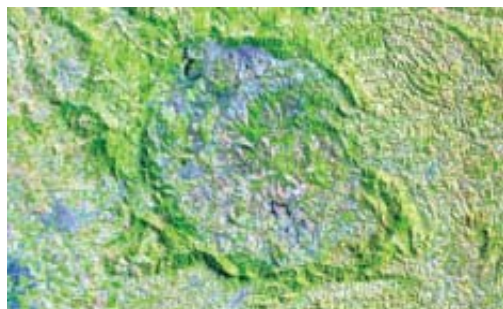


Figura 14.77 – Vestígios da grande cratera de vulcão de Poços de Caldas, que envolve terrenos dos estados de Minas Gerais e São Paulo.



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 vesiculoso 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 matacões 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 matacões arredondados de rochas de alta resistência ao corte e à penetração, os quais podem ocor-

rer 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 vazear 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 esférica, ou seja, alteram-se gerando escamas concêntricas que se soltam como as cascas da cebola. Em razão disso, os blocos e matacões 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).

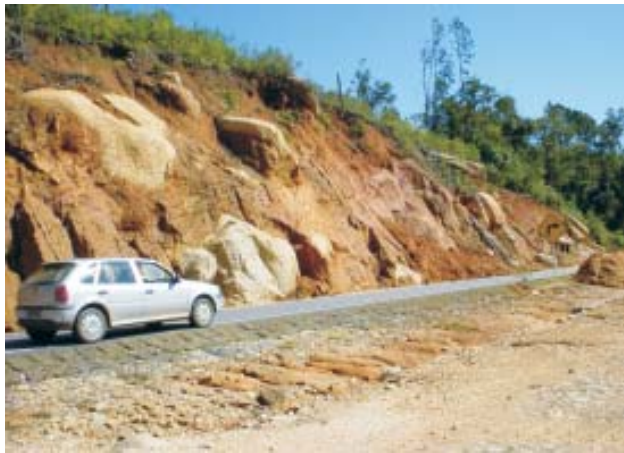


Figura 14.83 – Blocos e matacões relacionados ao vulcão extinto de Tunas do Paraná.



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).



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).

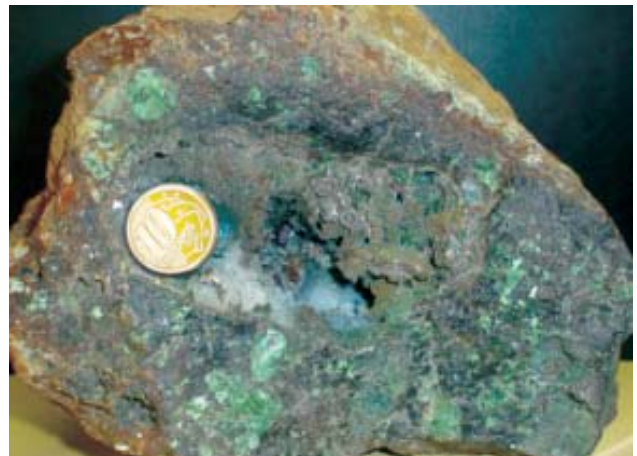


Figura 14.86 – Basalto vesiculado.

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 desliz 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 morfolitoestrutur 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 Iguaçu, 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 14.94 – Lavra de rocha alcalina associada ao vulcão extinto de Tunas do Paraná.



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 metamorfizaram 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 14.96 – 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).

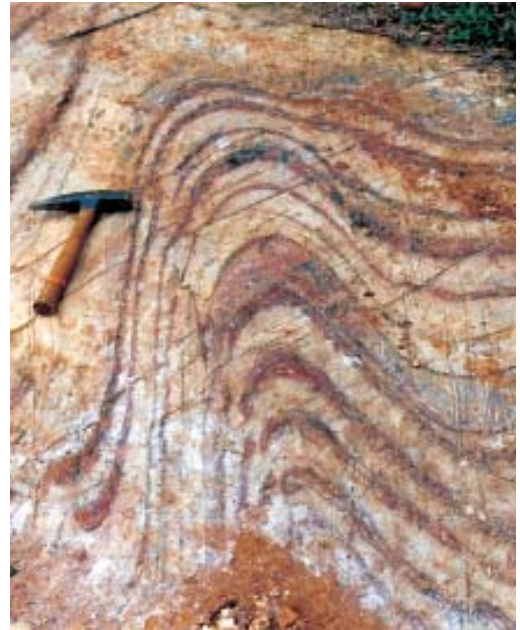


Figura 14.97 – Exemplar de um filito complexamente dobrado, um dos litótipos bastante comum na área de definição do geossistema 5. São produtos do metamorfismo de antigas camadas de argila que se depositaram em um ambiente marinho.



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 frequentes.

- 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).

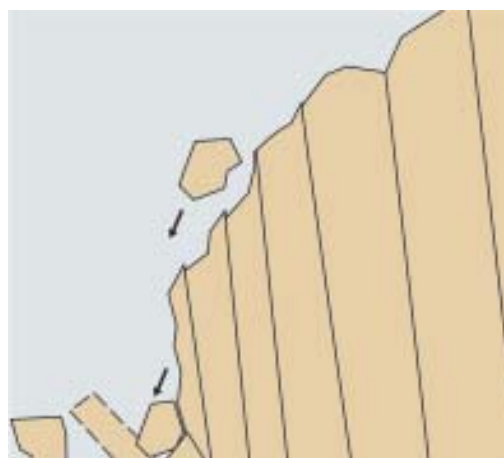


Figura 14.105 – Esquema mostrando o que acontece quando se fez um corte em posição concordante ao mergulho dos planos de fissilidade das rochas.

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 metamorfizadas, 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 siltico-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 fofa 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 siltico-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 siltico-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 siltico-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-

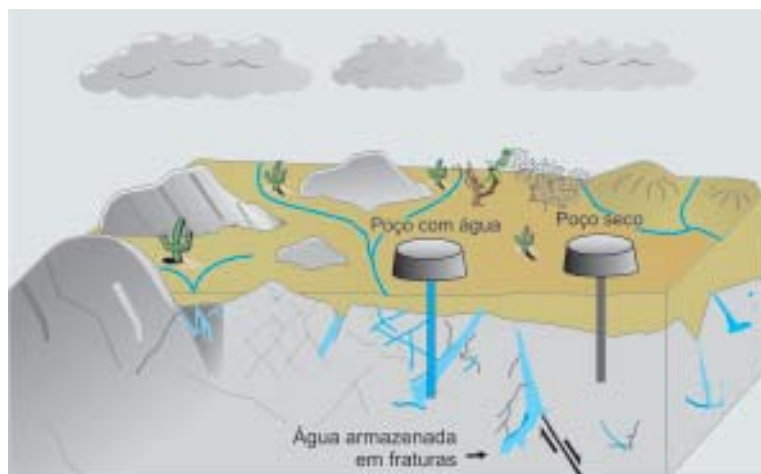


Figura 14.129 – Em um aquífero fissural, o potencial de exploração de água é bastante irregular, dependendo de o poço cruzar zonas fraturadas. Por isso, um poço pode apresentar excelente vazão e outro, ao lado, ser seco.



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 bas-

tante das condições climáticas locais e de o poço cruzar zonas fraturadas ou alcançar uma cavidade subterrânea que contenha água armazenada. Consequentemente, 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 consequente 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 Itaiacoca (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 entupí-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

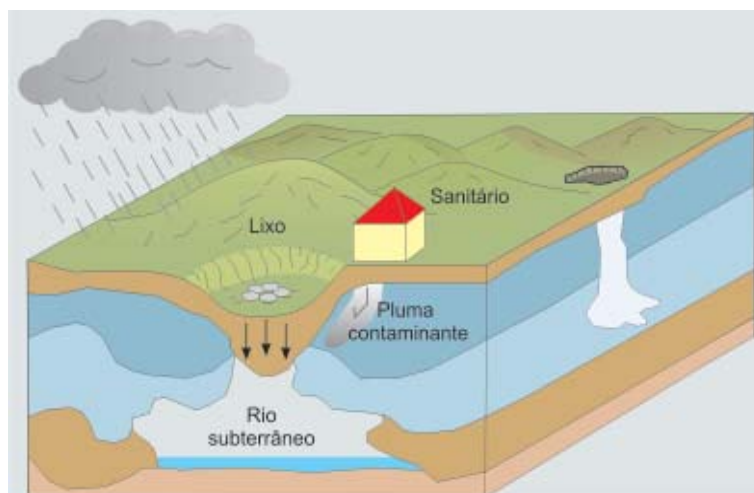


Figura 14.134 – Esquema de contaminação de águas subterrâneas, em caso de implantação de uma fonte poluidora sobre uma dolina ou em suas proximidades.



Figura 14.135 – Depósito de lixo que inclui vários elementos metálicos sobre o substrato metacalcário 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.

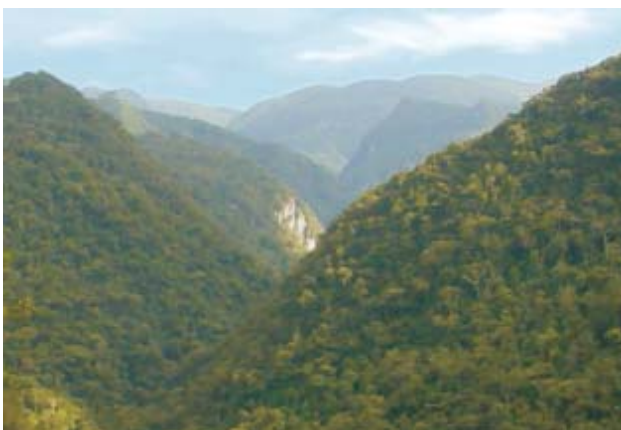


Figura 14.138 – Relevo montanhoso do Vale do Betari (SP), sustentado pelas seqüências que envolvem metacalcários do Grupo Açungui.

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

- O tectonismo diferenciado e a existência de intercalações 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).

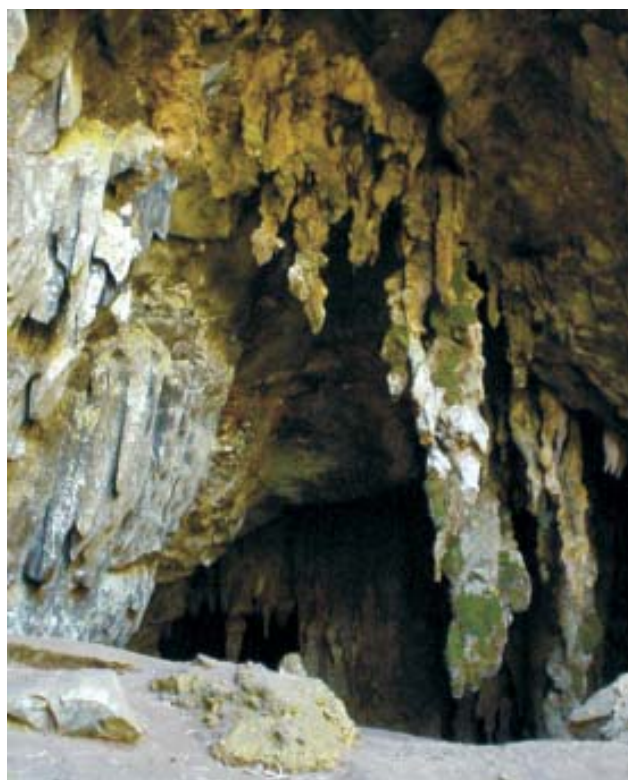


Figura 14.140 – A bela entrada da caverna do Morro Preto. É a entrada de caverna mais ornamentada do mundo (Vale do Ribeira, SP).

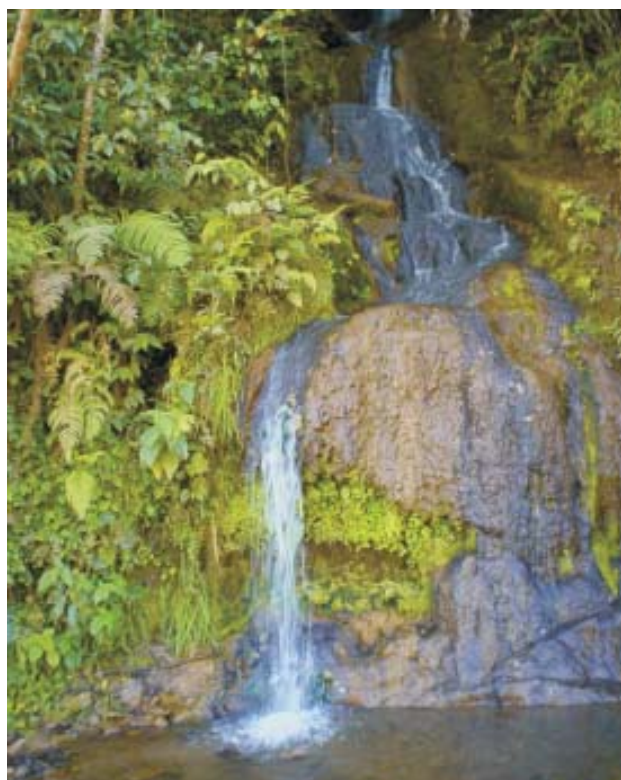


Figura 14.142 – Cachoeira situada na região do Perau (Vale do Ribeira, PR).

(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, recrystalizada 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, isotrópica, 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:

Figura 14.149 – Área de definição do geossistema 6.



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

- 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 14.151 – 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 – Matacões 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 matacões 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 matacões. 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.

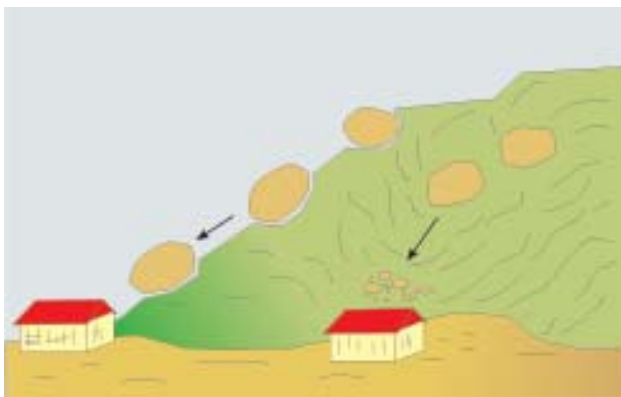
- A alta erosividade dos solos, aliada ao relevo geralmente acidentado dos terrenos graníticos, favorece os processos erosivos e os movimentos naturais de massa,



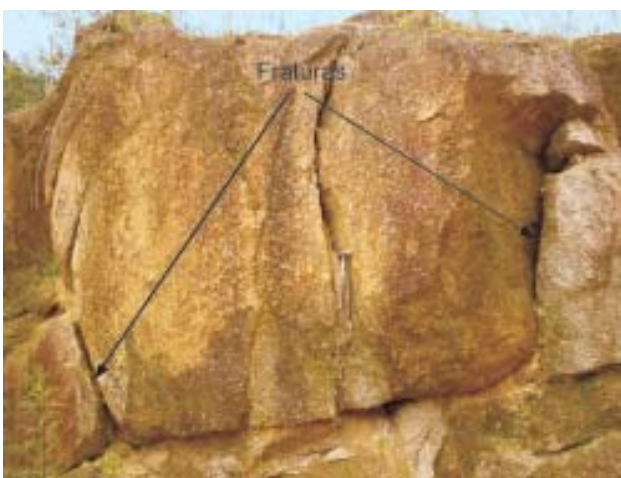
Figura 14.158 – Exemplo de situação possível de ocorrer com frequência em terrenos graníticos, especialmente no caso dos granitos pós-tectônicos.

inclusive envolvendo rolamento de blocos e grandes matacões.

- 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 isótropa (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. Consequentemente, 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-

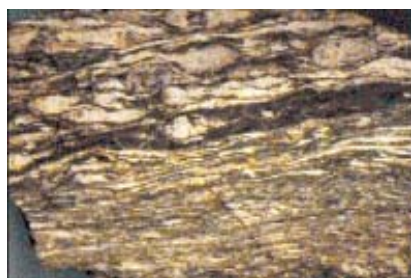


Figura 14.163 – Exemplar de granito pré-tectônico com a mineralogia fortemente e diferentemente deformada e estirada segundo uma direção preferencial. Isso é indicativo de que o granito se cristalizou ou se recrystalizou sob condições de elevadas temperaturas e pressões.



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 desliz 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). Nessas 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

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



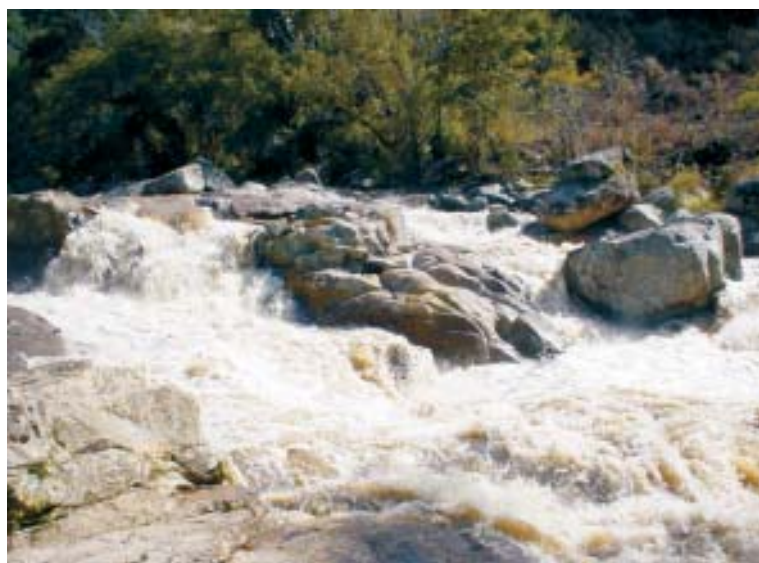
Figura 14.169 – Exemplo de como os poluentes se infiltram em locais em que os solos graníticos são pouco espessos e as rochas afloram.



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).

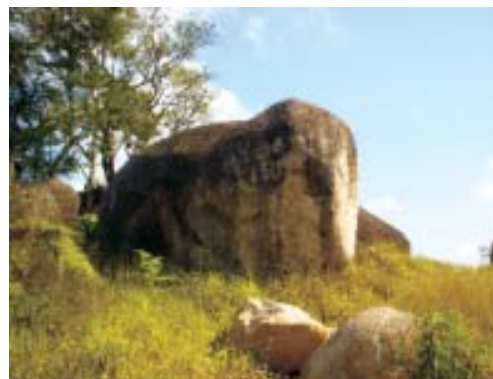


Figura 14.175 – Pedra do Elefante (Granito Piedade, SP).



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

ROCHAS GNAISSE-MIGMATÍTICAS (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 consequência, 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

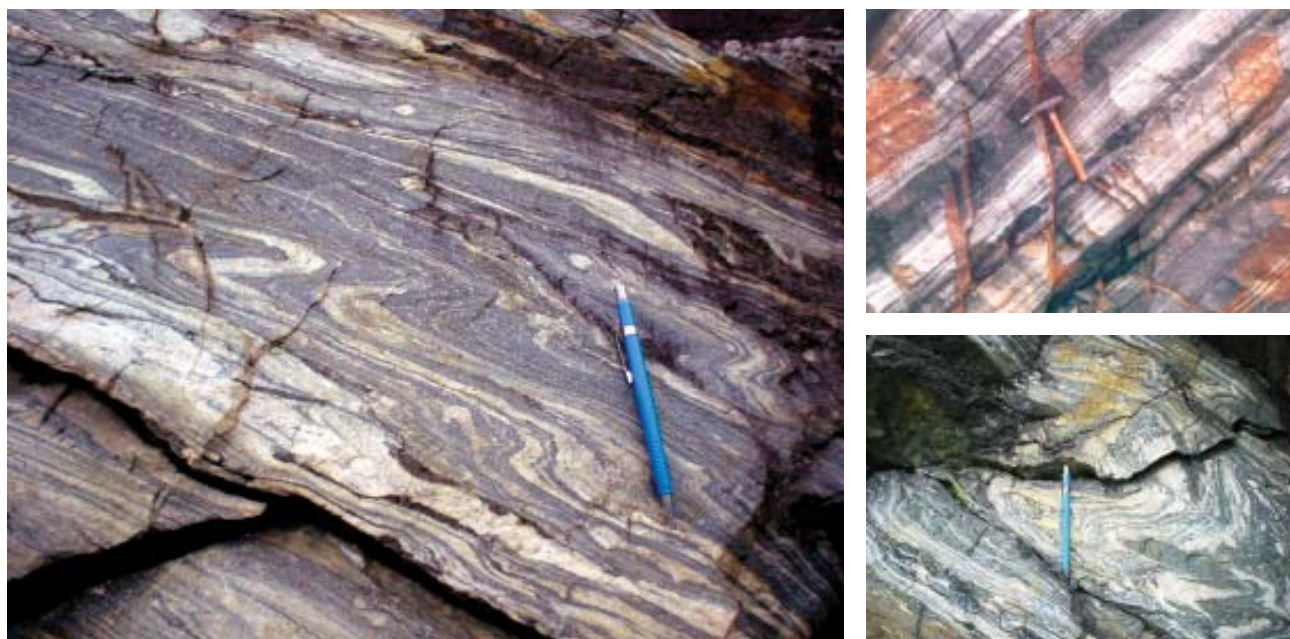
Frente à execução de obras

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 gnaiss-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 gnaiss-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 gnaiss-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.

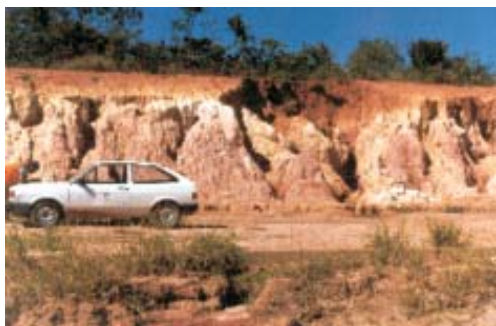


Figura 14.183 – Focos erosivos induzidos pela exposição de rochas gnaiss-migmatíticas parciais e diferentemente alteradas para solos que ainda preservam a estrutura mineral ou são portadores de argilominerais expansivos (Rodovia Régis Bittencourt, região metropolitana de Curitiba, PR).

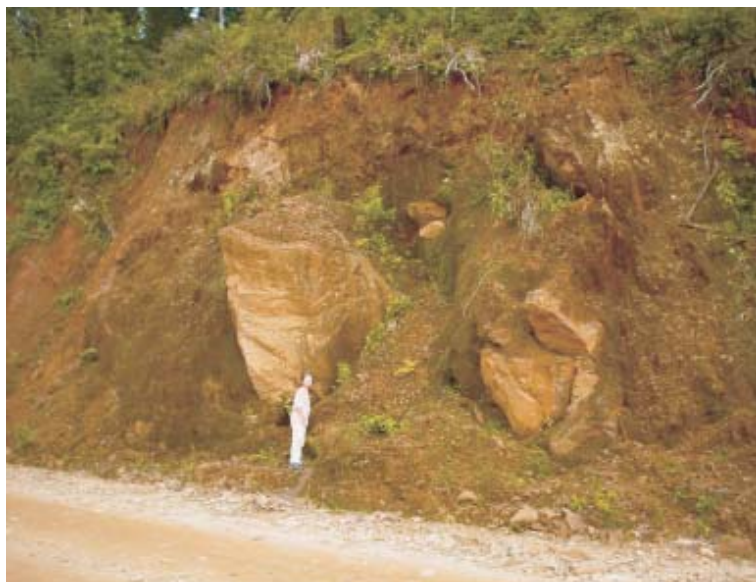


Figura 14.185 – Solo residual de rochas migmatíticas, com evolução pedogenética diferenciada e contendo blocos e matácões de rochas duras, é comum na área de definição desse geossistema. Deve-se evitar sua exposição em taludes de corte, em caso de edificações, como também tomar cuidados para que as fundações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

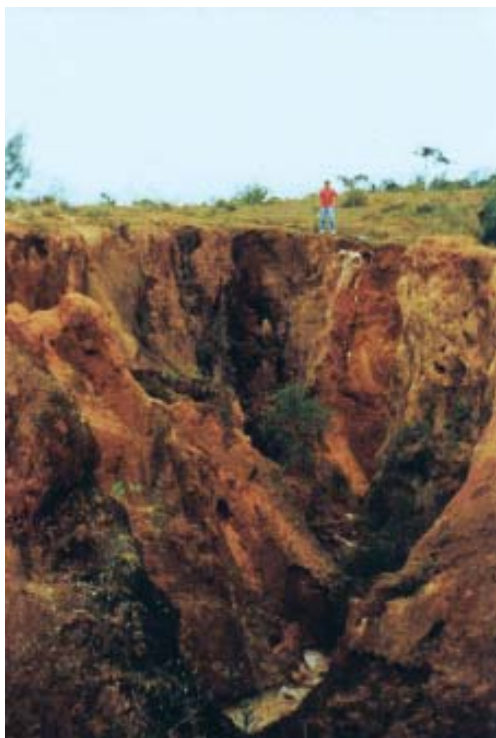


Figura 14.184 – Se as águas das chuvas se concentrarem e escorrerem paralelamente aos planos de foliação das rochas gnaiss-migmatíticas alteradas, pode haver a formação de processos erosivos tão grandes quanto os que se formam nos solos arenosos, a exemplo desse caso, na região metropolitana de Curitiba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

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. Ensaaios 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



Figura 14.188 – Cicatrizes de erosão induzidas pelo desmatamento e pisoteamento do gado sobre solos residuais de rochas gnaisse-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.

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 descontinuidades 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 oscila-

ções 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, estas se encontram mais preservadas. 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.

DE VOLTA PARA O FUTURO: UMA VIAGEM PELO TEMPO GEOLÓGICO

Sergio Kleinfelder Rodriguez (*sergiokr@sp.cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

No CD-ROM em anexo, é recontada, em 74 painéis, a história da origem e evolução do planeta Terra, dos primórdios aos dias de hoje.

É uma viagem com muitos inícios e fins: a origem da vida e as várias extinções que se sucederam; a formação dos continentes e sua fragmentação, formando novos continentes; os minerais e seus usos pelo homem. Temas antigos que hoje parecem novos – dinossauros, petróleo, terremotos, efeito estufa – são apresentados compondo a narrativa evolutiva de nosso planeta.

O surgimento das espécies. Os mamíferos, sua biodiversidade evolutiva e o aparecimento do homem quase no final dessa saga planetária.

Apertem os cintos e boa viagem!



SERGIO KLEINFELDER RODRIGUEZ

Graduado em Geologia (1983) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestrado (1993) e doutorado (1998) em Geologia Sedimentar, com a tese “Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo - SP”, pela Universidade de São Paulo (USP). Em 1994, ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP). Desde 1996, é Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento em São Paulo. Autor das cartilhas “Nossa Terra, Nossa Casa” e “Água é Vida”, bem como do capítulo “São Paulo de Milhões e Milhões de Anos: Evolução Geológica de São Paulo”, do Atlas Ambiental do Município de São Paulo, dentre outras publicações.

*A nossa história e a história da Terra estão intimamente ligadas.
As suas origens são as nossas origens.
A sua história é a nossa história e o seu futuro será o nosso futuro.*

(Trecho da Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra)

*Tudo o que acontece com a Terra, acontece com os filhos e filhas da Terra.
O homem não tece a teia da vida; ele é apenas um fio.
Tudo que se faz à teia, ele faz a si mesmo.*

(Ted Perry, inspirado no Chefe Seattle)