

# GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

Volume 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS

EDITORES

**Antonio Manoel dos Santos Oliveira**  
**João Jerônimo Monticeli**



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

## COLABORADORES

---

A ABGE agradece aos profissionais que gentilmente colaboraram para a 1ª Edição do livro “Geologia de Engenharia e Ambiental”, cujos perfis estão apresentados no Painel de Consultores, ao final do Volume 1.

Adalberto Aurélio Azevedo

Alberto Coppedê Junior

Alberto Pio Fiori

Álvaro Rodrigues dos Santos

Carlos Manoel Nieble

Edézio Teixeira de Carvalho

Eduardo Goulart Collares

Eraldo Luporini Pastore

Erik Wunder

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Fábio Soares Magalhães

Fernando Facciolla Kertzman

Fernando Olavo Franciss

Francisco Nogueira de Jorge

Giuliano De Mio

Guido Guidicini

Jair Santoro

Jehovah Nogueira Junior

João Luiz Armelin

João Marcos de Siqueira

José Antonio Urroz Lopes

Lídia Keiko Tominaga

Luiz Antonio Pereira de Souza

Luiz Augusto Barreto de Lucena

Luiz Ferreira Vaz

Márcio Angelieri Cunha

Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá

Maurício Malanconi

Maurício Rubio

Mauro Hernandez Lozano

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Paulo Cesar Abrão

Paulo Roberto Costa Cella

Renata Augusta Rocha Naves de Oliveira

Ricardo Antônio Abrahão

Rita Moura Fortes

Silvia Maria Kitaraha

Tarcísio Barreto Celestino

Wilmar Tenório de Barros

Wilson Shoji Iyomasa

Waldemar Pastore

# GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



## PATROCINADORES



Copyright 2018. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE

**Produção editorial:**

*Editores/Direção e Gerência Editorial:* Antonio Manoel dos Santos Oliveira e João Jerônimo Monticeli

*Projeto Gráfico/Diagramação e Capa:* Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

*Assistência editorial:* Mirian Mercia Lazaretti (secretaria geral), Mirna Ferracini (desenhos) e Vilma Tavares Teles Varalta (revisão bibliográfica).

Gráfica Assahi, São Paulo: impresso em papel couchê, 120g, fosco, fonte Minion Pro.

**Primeira edição impressa em 2018: 2.000 exemplares**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Geologia de engenharia e ambiental, volume 2 :  
métodos e técnicas / editores Antonio Manoel dos  
Santos Oliveira, João Jerônimo Monticeli. --  
São Paulo : ABGE - Associação Brasileira de  
Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018.

Vários autores.

ISBN 978-85-7270-074-0

1. Geologia de engenharia 2. Geotecnia 3. Meio  
ambiente I. Oliveira, Antonio Manoel dos Santos.  
II. Monticeli, João Jerônimo.

18-14594

CDD-624.151

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Geologia de engenharia 624.151

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

A ABGE, os autores e os editores não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens, originados do uso desta publicação.

**Todos os direitos reservados à ABGE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

GESTÃO 2016 – 2018

**Presidente:** Adalberto Aurélio Azevedo  
**Vice Presidente:** Lídia Keiko Tominaga  
**Diretor Secretário:** Alessandra Cristina Corsi  
**Diretor Secretário Adjunto:** Deyna Pinho  
**Diretor Financeiro:** José Luiz Albuquerque Filho  
**Diretor de Cursos:** Ivan José Delatim  
**Diretora de Eventos:** Fábio Augusto Gomes Vieira Reis  
**Diretora de Eventos Adjunto:** Renata Augusta Rocha N. de Oliveira  
**Diretor de Comunicação:** Marcelo Denser Monteiro  
**Diretor de Comunicação Adjunto:** Tiago Antonelli  
**Diretor de Publicação:** Andrea Bartorelli  
**Diretor de Publicação Adjunto:** Edilson Pissato

**CONSELHO DELIBERATIVO**

Adalberto Azevedo, Alessandra Corsi, Andrea, Bartorelli, Deyna Pinho, Edilson Pissato, Fábio Reis, Flávio Almeida, Gláucia Cuchierato, Ivan Delatim, José Luiz Albuquerque Filho, Leandro Castro, Lídia Tominaga, Luiz Fernando, Marcelo Denser, Mateus Delatim, Renata Rocha, Silvia Kitaraha e Tiago Antonelli.

**CONSELHO CONSULTIVO**

Carlos Manoel Nieble, Fernando Facciola Kertzan, Fernando Paes de Barros, Jaime de Oliveira Campos, Giacomo Ré, Guido Guidicini, Kenzo Hori, João Jerônimo Monticeli (Presidente), Luiz Ferreira Vaz, Luiz Francisco Saragiotto, Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, Tarcísio Barreto Celestino, Murillo Dondici Ruiz, Nivaldo José Chiossi e Wilson Shoji Yiomasa.

**Núcleo Rio de Janeiro** – Aline Freitas das Silva (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Aline Freitas Silva, Hugo Machado, Rodrigo França, Rodney Nascimento, Rúbia Azevedo e Thiago Santos

**Núcleo Minas Gerais** – Fábio Magalhães (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Alberto Amaral, Fábio Magalhães, Gilvan Sá, Luis Bacellar, Maria Giovana Parizzi, Sandra Fernandes e Thiago Teixeira

**Núcleo Sul** – Malva Andrea Mancuso (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Alberto P. Fiori, Andrea V. Nummer, Débora Lamberty, Eduardo C.B. Carvalho, Erik Wunder, Hermann Vargas, Juan Antonio A. Flores, Luiz A. Bressani e Malva Andrea Mancuso.

**Núcleo Centro Oeste** – Ingrid Lima (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Bruno Diniz, Dário Peixoto, Getúlio Ezequiel, Ingrid Lima, João Armelin, Kurt Albrecht, Juliana Sobreira e Ricardo Vilhena

**Núcleo Norte** – Cláudio Szlafstein (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Cláudio Szlafstein, Dianne Danielle Farias Fonseca, Lenilson José Souza de Queiroz, Luciana de Jesus P. P. Miyagawa, José Antonio da Silva, Renato R. Mendonça, Jubal C. Filho, Nilton de Souza Campelo, Loury Bastos, Patrícia Mara Lages Simões, Raimundo Almir C. da Conceição, Sheila Gatinho Teixeira, Túlio A. de Araújo Mendes.

**Núcleo Nordeste** – Carlos Henrique Medeiros (Presidente)

**Conselho Deliberativo:** Edval Lopes da Silva, Fagner França, Francisco Said Gonçalves, Heitor Neves Maia, José Braz Diniz Filho, Kleiton Cassimiro, José Vitoriano de Britto Neto, Marcos Paulo Souza Novais, Olavo Santos Junior, Ubiratã Maciel, Ricardo Farias do Amaral e Vanildo Fonseca

**Secretaria Executiva**

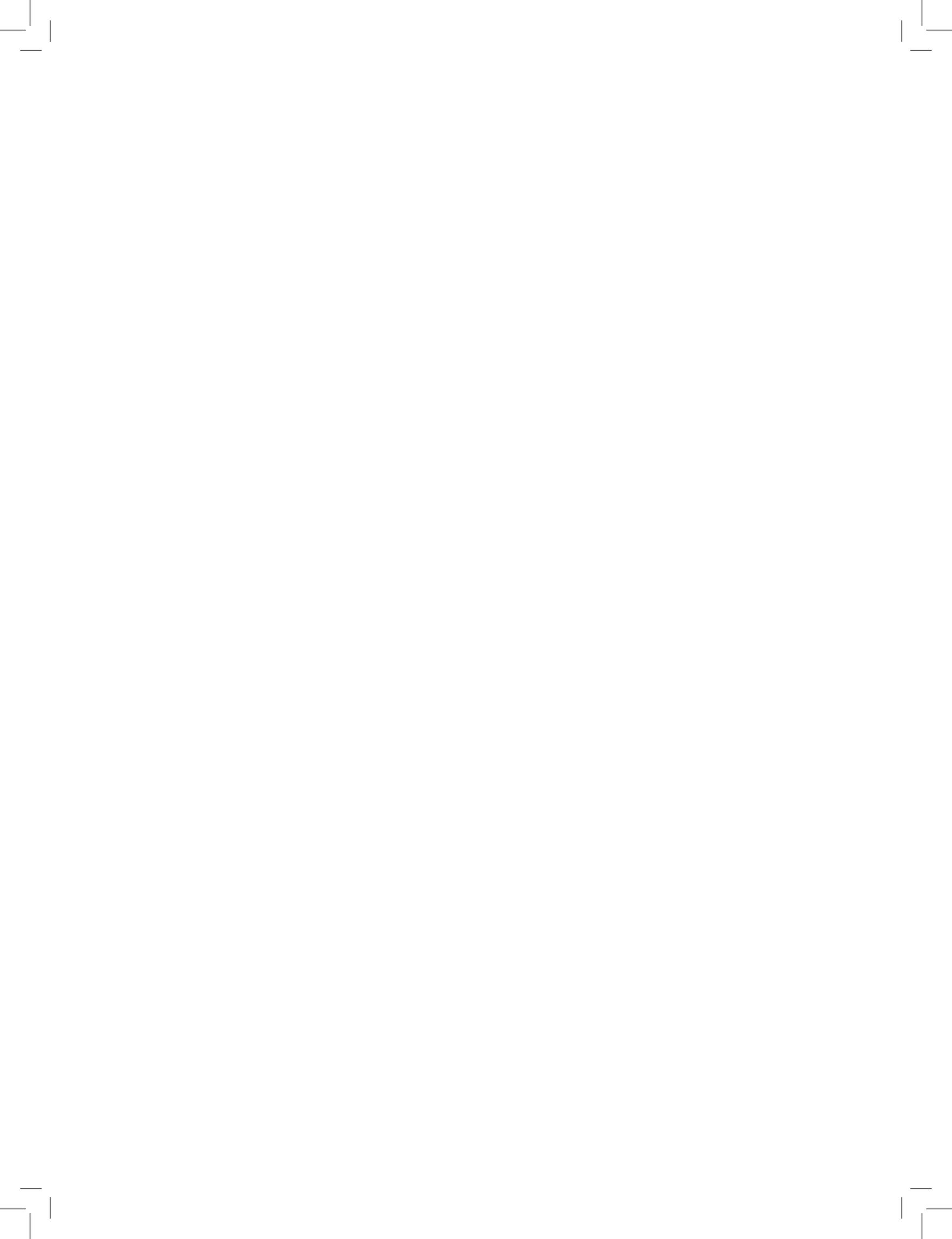
Luciana Marques (Gerente Executiva), Renivaldo Campos, Nill Cavalcante e Didiana Dórea.

Av. Profº Almeida Prado, 532 – IPT– Prédio 11

Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-901

Telefone: (11) 3767-4361 / (11) 3719-0661

Email: abge@abge.org.br – Home Page: www.abge.org.br

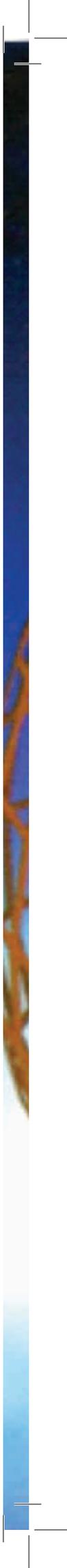


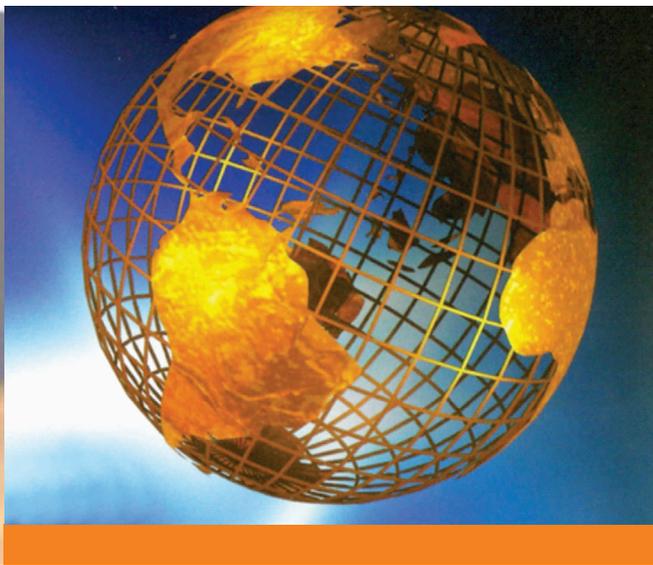
# GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

## Volume 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS

### SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução .....	9
Capítulo 2 – Clima .....	21
Capítulo 3 – Solos em Geologia de Engenharia .....	39
Capítulo 4 – Solos em Engenharia.....	53
Capítulo 5 – Solos em Pedologia .....	71
Capítulo 6 – Minerais e Rochas .....	87
Capítulo 7 – Caracterização de Agregados e de Materiais Rochosos para Construção.....	109
Capítulo 8 – Estruturas e Estado de Tensões de Maciços Rochosos .....	127
Capítulo 9 – Águas de Superfície .....	159
Capítulo 10 – Águas Subterrâneas .....	181
Capítulo 11 – Relevo e Dinâmica Superficial .....	203
Capítulo 12 – Controle da Erosão.....	229
Capítulo 13 – Erosão e Assoreamento em Reservatórios .....	248
Capítulo 14 – Investigações Geotécnicas e Geambientais.....	273
Capítulo 15 – Geofísica Aplicada .....	313
Capítulo 16 – Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos.....	335
Capítulo 17 – Escavações em Solos e Rochas .....	357
Capítulo 18 – Tratamento de Maciços Naturais.....	377
Capítulo 19 – Estabilização de Taludes.....	399
Capítulo 20 – Cartografia Geotécnica e Geoambiental.....	421
Capítulo 21 – Tecnógeno-Antropoceno.....	439
Capítulo 22 – Ensino.....	453
Capítulo 23 – Ética e Profissão .....	467





## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### CONTEÚDO

- 1 Entidades técnico-científicas, de ensino e pesquisa**
  - 2 Livros publicados**
  - 3 Conceitos básicos**
  - 4 Métodos e Técnicas**
  - 5 Evolução história**
    - 5.1 Alguns aspectos do exterior e suas relações com o Brasil
    - 5.2 Fases da história da GEA no Brasil
- Resumo/Questões de revisão/Bibliografia recomendada/Indicação de sítios**

# 1 INTRODUÇÃO

Antonio Manoel dos Santos Oliveira  
João Jerônimo Monticeli

No campo das Geociências, a especialização que enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico recebeu a denominação de Geologia de Engenharia. (*Engineering Geology, Géologie de l'Ingénieur, Ingeniería Geológica*).<sup>1</sup> Ao longo dos anos desde que esta área nasceu, os conceitos e as denominações veem se modificando. Inicialmente denominada Geologia Aplicada, passou a ser denominada Geologia de Engenharia e hoje é conhecida como Geologia de Engenharia e Ambiental (GEA). As denominações correspondem aos nomes da associação brasileira que a representa: Associação Paulista de Geologia Aplicada (APGA – 1968 a 1972), Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE – 1973 a 1999) e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE desde 1999).

A GEA pode ser definida como “a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos”, segundo conceito expresso nos estatutos da *International Association for Engineering Geology and the Environment* – IAEG, em 1992. A ABGE, reviu esta definição em 2013, adotando em seu Estatuto que a “GEA é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de Engenharia e do Meio Ambiente decorrentes da interação entre a geologia e outras ciências correlatas e os trabalhos e atividades humanas”.

De acordo com os estatutos da IAEG e da ABGE, a GEA abrange a:

- definição da geomorfologia, estrutura, estratigrafia, litologia e da água subterrânea das formações geológicas de uma forma geral, e dos seus condicionantes perante os projetos e as obras;
- caracterização das propriedades mineralógicas, físicas, geomecânicas, químicas e hidráulicas de todos os materiais terrestres envolvidos em construção, recuperação de recursos e alterações ambientais;
- avaliação do comportamento mecânico e hidrogeológico dos solos e maciços rochosos;
- previsão de alterações, ao longo do tempo, das propriedades citadas anteriormente;
- determinação (ou avaliação) dos parâmetros a serem considerados na análise de estabilidade de obras de engenharia e de maciços naturais;
- melhoria e manutenção das condições e propriedades ambientais dos terrenos.

Esta abrangência que envolve os comportamentos dos materiais naturais, demanda abordagens mais complexas que as dos materiais fabricados pelo Homem, cujos comportamentos são de imediato previsíveis. Reduzir a complexidade da Terra não tem sido uma prática adequada e quem paga por isso é a sociedade. Assim, uma simples disciplina, graduação ou *expert* profissional, não detém a sabedoria suficiente para resolver os amplos desafios das intervenções humanas no ambiente físico e na natureza: isso requer uma equipe, que pode inclusive incluir as ciências humanas, não só as geociências, engenharias e demais disciplinas tradicionais (Parriaux, 2009).

## 1

### Entidades técnico-científicas, de ensino e de pesquisa

Deve-se à APGA a realização, entre 1969 e 1972, de quatro encontros técnicos que, embora tenham recebido a denominação de Semana Paulista de Geologia Aplicada, tiveram repercussão nacional. Além de inúmeros eventos de caráter regional, a ABGE promove bi ou trianualmente seu congresso nacional. São 16 edições, a primeira em setembro de 1976, no Rio de Janeiro, estando previsto, o 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia para ser realizado em São Paulo, em 2018, juntamente com a comemoração do aniversário de 50 anos da entidade. Deve-se destacar que a ABGE colocou à disposição da comunidade técnica em meio digital (CD Rom) todos os trabalhos apresentados, desde a 1ª Semana Paulista de Geologia Aplicada até os Congressos Nacionais.

A ABGE atualmente (2017) possui estrutura que compreende a sede nacional em São Paulo e seis Núcleos Regionais

(RJ, MG, Sul, Centro Oeste, Norte e Nordeste) e conta com cerca de 1.100 associados, entre profissionais (geólogos, engenheiros, geógrafos, ecólogos e outras graduações), estudantes, técnicos de nível médio e empresas (sócio patrocinador). Em 2015 a ABGE aprovou a entrada de Prefeituras como associado na categoria patrocinador especial. As anuidades dos associados, as contribuições, vendas de publicações e os patrocínios são as fontes de renda da entidade. Todos os dirigentes e colaboradores realizam o trabalho como voluntários, sem remuneração. Uma equipe pequena, profissional, constitui a Secretaria Executiva da entidade e fornece apoio aos dirigentes e colaboradores. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, através de um acordo de cooperação, tem dado o suporte físico (instalações do escritório sede) desde a fundação. Os associados da ABGE, além de participarem de rede de relacionamento (*network*), recebem regularmente e gratuitamente publicações técnico-científicas, descontos especiais nos eventos e cursos e são incentivados a colaborarem nos trabalhos desenvolvidos, ajudando no debate e na disseminação do conhecimento técnico e compartilhando experiências de ética profissional. (Capítulo 23 – Ética e Profissão).

<sup>1</sup> O tema deste Capítulo foi publicado com o mesmo título (Introdução) no livro *Geologia de Engenharia* da ABGE (Oliveira e Brito, 1998), tendo por autores Murillo Dondici Ruiz e Guido Guidicini.

A entidade apoia a formação de comitês temáticos, como os Comitês Brasileiros de Cartografia Geotécnica e Geoambiental e de Riscos Geológicos, já em atuação, e o de Ensino, em processo de consolidação, com base em um fórum de docentes, já aprovado. A ABGE tem intensa atividade representada pela edição de publicações técnicas, promoção de eventos técnico-científicos e de cursos de capacitação. Especificamente, na área da educação, além da realização de mesas redondas e sessões técnicas em congressos, a associação promove Jornadas Universitárias em instituições de ensino superior em todo Brasil, consistindo de palestras ou aulas de especialistas em GEA à estudantes das mais distintas graduações, como geologia, engenharias, geografia, ciências ambientais e outras. A ABGE lançou o primeiro livro texto de Geologia de Engenharia em 1998 (Oliveira e Brito, 1998), base para a edição do presente livro com o novo título de Geologia de Engenharia e Ambiental.

No seu sítio, <http://www.abge.org.br/>, podem ser verificadas as publicações editadas desde 1968, livros, manuais, anais, traduções, revistas, CDs etc. Em especial, para o estudante, o site oferece um glossário dos termos técnicos mais usados na área. (Figura 1.1)



**Figura 1.1** Publicações históricas da ABGE. Foto: arquivo ABGE

A ABGE é o agrupamento nacional integrante da *International Association for Engineering Geology and Environment* – IAEG. Para fazer parte da IAEG o interessado precisa estar associado à ABGE. A IAEG, em seu sítio, <http://iaeg.info/>, oferece um panorama internacional com notícias, boletins, anais, livros, comissões e eventos. Destaca-se para os estudantes a disponibilidade de aulas na forma de vídeos realizados por eminentes técnicos internacionais. Pode-se também ter acesso ao livro comemorativo dos 50 anos da IAEG (1964-2014) com importante reflexão sobre o passado, o presente e o futuro da Geologia de Engenharia e da Associação (Delgado et al., 2014).

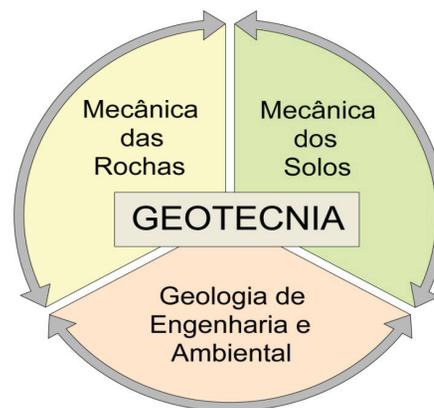
Além do sítio da IAEG há também disponibilidade de vídeos e slides de aulas de GEA, a maioria em inglês (*Lectures*) em diversos sítios na internet. Endereços de busca, como o Google, também disponibilizam vídeos e slides de aulas em português. Recomenda-se ao aluno o monitoramento do professor para a correta compreensão e esclarecimento das aulas.

A IAEG surgiu em 1964, em Nova Delhi, e realizaria, em 1970, seu primeiro congresso internacional em Paris e, em 1974, seu segundo congresso internacional em São Paulo. A IAEG reúne hoje cerca de 6.500 associados de 70 países. No campo internacional, ressalta-se ainda a presença

de associações congêneres, como a *International Society for Rock Mechanics* – ISRM ([www.isrm.net](http://www.isrm.net)), a *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* – ISSMGE ([www.issmge.org](http://www.issmge.org)) e a *International Tunneling and Underground Space Association* – ITA ([www.ita-aites.org](http://www.ita-aites.org)).

No âmbito nacional, a Associação Brasileira de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica - ABMS ([www.abms.com.br](http://www.abms.com.br)) também se integra a sua congênera internacional (ISSMGE) e coordena as atividades de dois outros ramos importantes da Geotecnia brasileira: o Comitê Brasileiro de Mecânica das Rochas – CBMR e o Comitê Brasileiro de Túneis – CBT. E, também, o Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB que se integra a entidade internacional ICOLD. A partir da década de 2000 a ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas ([www.abas.org](http://www.abas.org)) passou a incluir a hidrogeologia ambiental (contaminação de solos e de águas subterrâneas) em sua agenda, promovendo eventos e editando publicações sobre esse tema, além da atuação tradicional em perfuração, extração e gestão de água subterrânea.

Segundo Zuquette (1996), dentre os vários cursos de pós-graduação destacam-se, em termos de linhas de pesquisa relacionadas à Geologia de Engenharia, a Universidade Federal do Rio de Janeiro/Geologia de Engenharia – UFRJ ([www.geologia.ufrj.br](http://www.geologia.ufrj.br)), que é o único curso do Brasil de mestrado e doutorado (*strictu sensu*) em Geologia de Engenharia, envolvendo disciplinas e temas desta área, embora também tenha desenvolvido estudos e pesquisas em Mecânica dos Solos e das Rochas; e, também, a Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos/Departamento de Geotecnia, que possui linhas de pesquisa e curso de mestrado e doutorado nas três áreas que compõem a Geotecnia: Mecânica de Solos, Mecânica de Rochas e Geologia de Engenharia ([www1.eesc.usp/sgs](http://www1.eesc.usp/sgs)). A COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da UFRJ ([www.coppe.ufrj.br](http://www.coppe.ufrj.br)), também possui área de pesquisa e pós-graduação em Geotecnia. (Figura 1.2)



**Figura 1.2** Geotecnia: campo que reúne a Geologia de Engenharia e Ambiental, Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas.

Pelo conjunto de linhas de pesquisa historicamente desenvolvidas, destaca-se, como centro de pesquisa, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT ([www.ipt.br](http://www.ipt.br)), que desenvolve pesquisas nas áreas de Geologia de Engenharia, Mecânica dos Solos e das Rochas e o Instituto Geológico de São Paulo ([www.igeologico.sp.gov.br](http://www.igeologico.sp.gov.br)), com seu Núcleo de Geologia Ambiental e outros núcleos correlatos, como Dinâmica de Uso e Ocupação Territorial, Geomorfologia, Água Subterrânea etc. Cabe também destacar, ao âmbito estadual, o Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro – DRM/RJ ([www.drm.rj.gov.br](http://www.drm.rj.gov.br))

Atualmente, deve-se também considerar o papel da CPRM – Serviço Geológico do Brasil que atua em GEA em Áreas de Risco e Geologia Ambiental, além de áreas correlatas de grande importância nacional como Geologia Médica, Geoparques e Geodiversidade, todas estas áreas no campo da Diretoria de Gestão Territorial ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)).

## 2

### Livros publicados

A bibliografia estrangeira é rica em livros didáticos sobre GEA, cabendo ser destacado a publicação *Ingeniería Geológica*, de Vallejo et al. (2004).

No Brasil, podem ser citados alguns livros didáticos abrangentes (Figura 1.3): “Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente” de Bitar (1995), “Geologia de Engenharia – Conceitos, Método e Prática” de Santos (2002), “Introdução à Geologia de Engenharia” de Maciel Filho e Nummer (2011) “Geologia de Barragens” de Costa (2012), “Geologia de Engenharia” de Chiossi (2013), reedição do livro pioneiro deste autor, publicado em 1979, *Geotecnia Ambiental*, organizado por Zuquette (2015) e o livro “Geologia de Engenharia e Mecânica de Rochas no Brasil: a contribuição de Murillo Dondici Ruiz” de Bartorelli (2017). Cabe assinalar a existência de mais de 120 publicações da ABGE, sobre diversos assuntos, na forma de livros, boletins e artigos técnicos, traduções, sínteses de teses, *software*, além dos anais de

As entidades de regulamentação profissional são apresentadas no Capítulo 23 – Ética e Profissão. Brown e Proctor (1993) apresentam informações sobre a profissão de geólogos de engenharia nos Estados Unidos da América e da entidade equivalente a ABGE naquele país, a *Association of Engineering Geologists*, que tem funções amplas, inclusive de credenciamento de atuação do profissional a atuar na área.

congressos, simpósios e mesas redondas, disponibilizados impressos e em meio digital (Zuquette, 2011).

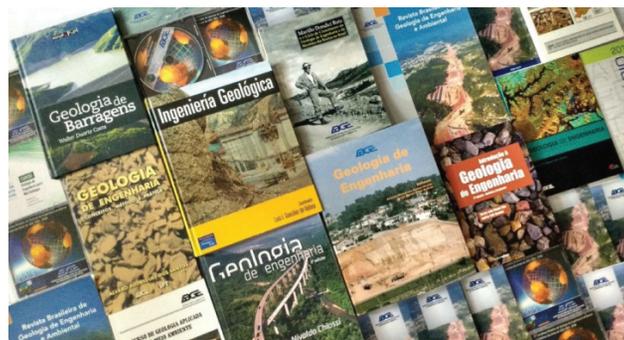


Figura 1.3 Livros didáticos abrangentes sobre a GEA.

## 3

### Conceitos básicos

Os referenciais conceituais da GEA estão embutidos em sua própria denominação: a Geologia, como base científica, a Engenharia, como aplicação. A GEA une o campo do conhecimento da Terra e de sua história ao campo de desenvolvimento das técnicas de transformação da Terra pelo homem, visando a um meio ambientalmente sustentável (Oliveira et al., 1995). Em outras palavras, a GEA visa a garantir um bom relacionamento entre o meio físico geológico e os empreendimentos.

A GEA nasceu e se desenvolveu, com maior ênfase, com as atividades da Engenharia, contribuindo para a elaboração de projetos, acompanhamento da construção e monitoramento da operação de grandes empreendimentos como barragens de hidroelétricas, rodovias e ferrovias de grande porte. Nestas condições, seus estudos sempre estiveram comprometidos com a busca de soluções. Mesmo quando aplicada aos problemas ambientais, como a erosão por exemplo, a Geologia de Engenharia não deixa de ter esse enfoque, não se limitando à descrição do processo erosivo, mas estudando-o com a finalidade de intervir (Engenharia) para a sua correção ou prevenção. Assim, a GEA é uma ciência que se desenvolve resolvendo problemas práticos de engenharia e uso do solo. (Boxe 1.1).

A Geologia de Engenharia apresenta interfaces com diversas áreas do conhecimento não só da própria Geologia

como também da Engenharia, conforme apresenta a Figura 1.4, onde se nota ao centro os principais procedimentos de ação, ao lado as áreas relacionadas à Geologia (esquerdo) e à Engenharia (direito), destacando-se ao alto as áreas Mecânicas com as quais compõe a Geotecnia.

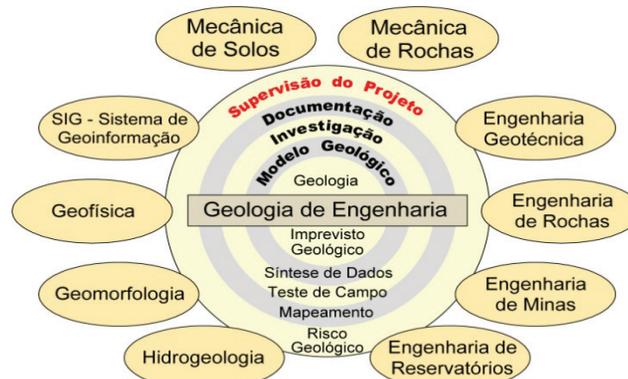


Figura 1.4 Procedimentos de ação e áreas relacionadas a Geologia de Engenharia e Ambiental. (Rengers e Bock, 2008 apud Delgado et al. 2014)

## A Geologia de Engenharia e Ambiental (GEA) e a Geologia Teórica

Prof. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira  
 amanoel2030@gmail.com

Na Figura 1 observa-se a ocorrência de contato do embasamento cristalino pré-cambriano (à esquerda) e rochas sedimentares da bacia terciária de São Paulo (à direita) de significativa importância para a Geologia Teórica. Para a GEA, entretanto, importa a solução do problema de escorregamento onde o contato é um dos fatores condicionantes. Acima dessas litologias ocorre cobertura pedológica e depósito tecnogênico que representam condições essenciais para o equacionamento do problema, mas não tem necessariamente importância para a Geologia Teórica. É que a Geologia de Engenharia é uma ciência que se desenvolve não pela liberdade de pesquisa, mas pela capacidade de selecionar os temas e a profundidade da pesquisa para solucionar problemas de engenharia e de uso do solo (Langer, 1990).

O exemplo acima apresentado de fato demonstra a diferença de enfoque das áreas, mas a GEA, dado seu embasamento científico nas Geociências, tem sempre incentivado as pesquisas teóricas como atesta, neste caso da Figura 1, a promoção pela ABGE da Mesa Redonda sobre “Aspectos geológicos e geotécnicos da bacia sedimentar de São Paulo”, em 1980, onde consta a importante contribuição de Coutinho (1980) sobre as relações litológicas e estruturais da Bacia de São Paulo com o pré-cambriano.

Assim, a GEA tem apoiado ao longo dos anos no Brasil a pesquisa teórica, pois além das pesquisas e conhecimentos geológicos necessários para resolver os problemas de engenharia, os empreendimentos são oportunidades ímpares por revelarem nas escavações aspectos geológicos desconhecidos da Academia. Como exemplo, podem ser citadas as pesquisas relacionadas aos basaltos da Formação Serra Geral, rochas de fundações das grandes barragens da bacia do Paraná: suas estruturas foram e tem sido objeto de pesquisas, como as de Oliveira (1981) e, mais recente, a de Curti e Ricomini (2011); e os estudos sobre as desagregações dos basaltos, que demandaram pesquisas petrográficas importantes (Frazão, 1993), além de muitas outras que podem ser examinadas no livro que homenageia um dos grandes pioneiros da GEA no Brasil, o Eng. Murilo Dondici Ruiz (Bartorelli, 2017).

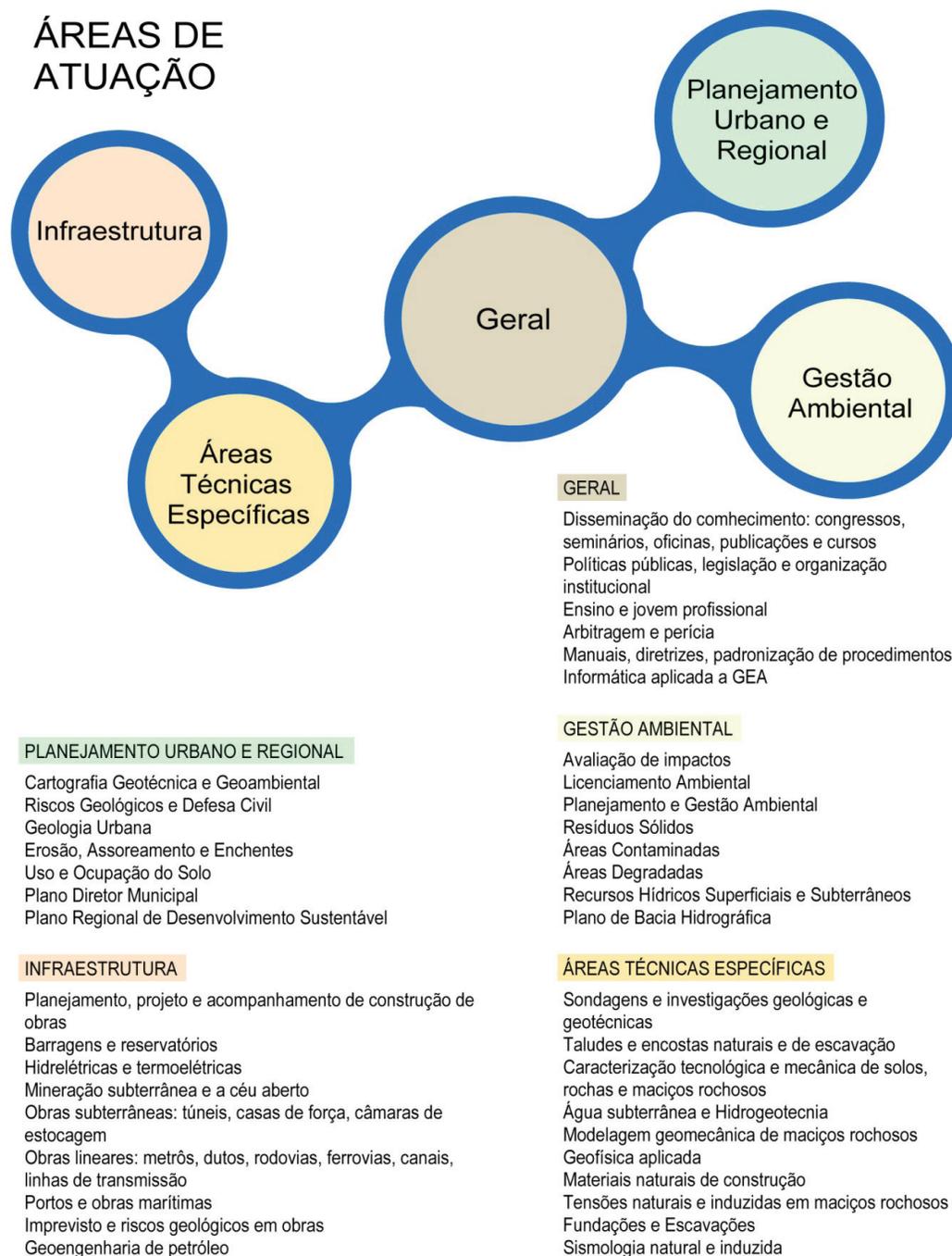


Figura 1. Talude instável em obra de implantação de posto de gasolina na Av. Escola Politécnica, São Paulo. Cobertura pedológica e tecnogênica sobre o embasamento cristalino (à esquerda) e sedimentos terciários (à direita). Foto: A.M.S.Oliveira, 1998.

A partir do início da década de 1990 a temática ambiental passou a exigir uma abordagem multidisciplinar em projetos e obras e a estimular a participação das mais variadas áreas de conhecimento científico, tecnológico e social. A interação com disciplinas como Biologia, Agronomia, Sociologia, Urbanismo, Pedologia, entre outras, enriqueceu a Geologia de Engenharia e contribuiu para um equacionamento mais adequado dos problemas abordados. De fato, nas últimas décadas, a abordagem de aspectos relacionados ao meio ambiente adquiriu grande importância,

refletindo uma tendência mundial de crescimento de atuação da GEA neste campo em áreas como urbanização, recuperação de áreas degradadas, disposição de resíduos, controle de poluição, avaliação de impacto ambiental, agricultura, mineração, estradas, hidrelétricas etc. (Oliveira et al., 1995; Santos et al., 1990).

Essa diversidade de áreas de atuação da Geologia de Engenharia está expressa na amplitude dos temas contemplados pelos capítulos deste Livro. A Figura 1.5 indica as áreas de atuação da ABGE e da GEA nos dias de hoje.



**Figura 1.5** Áreas de atuação da ABGE e da GEA (<http://www.abge.org.br/>)

## 4

### Métodos e técnicas

Os métodos e técnicas mais comumente utilizados pela GEA estão apresentados em cada um dos capítulos deste Livro, principalmente naqueles referentes aos meios de investigação. Entretanto, são raros os estudos que expõem e discutem os fundamentos teóricos de tais métodos (Santos, 2002), porque a GEA adota a própria Geociências, como sua base científica.

A aplicação dos fundamentos geocientíficos se baseia, essencialmente, na observação e interpretação do meio físico. O observador se defronta com um determinado quadro, gerado por uma sucessão de eventos à qual não teve a oportunidade de assistir. A cuidadosa observação dos aspectos visíveis induz o raciocínio lógico, em busca da interpretação das condições em que os eventos ocorreram,

de suas causas e efeitos. Aos poucos, os fragmentos se unem e o quadro é reconstituído, com maior ou menor precisão, dependendo da quantidade e qualidade de dados disponíveis, do conhecimento técnico-científico existente e da acuidade do profissional.

As Geociências se baseiam, assim, na prática do **raciocínio indutivo**, buscando a formulação de regras gerais a partir da observação de fatos isolados e individuais, em contraposição ao **raciocínio dedutivo**, que caracteriza a prática das chamadas Ciências Exatas.

A GEA segue esses métodos de raciocínio indutivo e dedutivo para aplicá-los à resolução dos problemas de ocupação do espaço físico pelo homem. Cabe ao profissional, basicamente ao geólogo de engenharia, montar o quadro dentro do qual irão se desenrolar os acontecimentos decorrentes desta ação de ocupação e transmitir, de forma adequada, os elementos essenciais constituintes do referido quadro. Trata-se, assim, inicialmente, de uma função de intérprete, pela qual o profissional extrai do conhecimento geológico adquirido os elementos que julga importante transmitir, transformando-os em linguagem familiar aos profissionais das demais áreas de aplicação.

Esta interpretação resulta na previsão do comportamento do meio físico ante as solicitações previstas por uma intervenção sendo, portanto, essencial para a concepção de projetos mais adequados. Pressupõe-se que os requisitos e as características de uma linguagem comum já tenham sido objeto de discussões e entendimentos prévios, em que tenha sido aferido o código de linguagem a se empregar na tarefa de descrição de determinado meio físico.

A atuação da GEA em grandes empreendimentos tem sido marcadamente importante nas fases iniciais dos trabalhos quando a concepção do empreendimento é definida com base em dados escassos, resultantes em geral dos pequenos investimentos em prospecção geológica (Ruiz, 1987). A possibilidade de influenciar no custo do empreendimento é acentuadamente maior nas fases iniciais de inventário e viabilidade e pequena nas etapas de projeto básico e construção. Paradoxalmente, os investimentos em prospecção geológica seguem o caminho inverso. Seria, entretanto, nas fases iniciais dos estudos que se exigiria a participação de técnicos experientes, que pudessem, apesar dos escassos recursos de prospecção, visualizar possíveis problemas geológicos que certamente influenciarão os custos do empreendimento. O Capítulo 14 – Investigações Geotécnicas e Geoambientais aborda assunto correlato.

As diferenças nos métodos de análise entre engenheiros, geólogos de engenharia e demais profissionais têm motivado uma colaboração bastante estreita entre esses profissionais e o próprio desenvolvimento da GEA tem recebido da Engenharia, da Geologia Básica e de outras ciências contribuições fundamentais.

Entretanto, em Geotecnia, tanto os geólogos de engenharia quanto os engenheiros (geotécnicos, estruturais, mecanicistas de rocha) dependem, para o sucesso dos seus trabalhos, de cuidadosas observações de campo, conforme assinalou Terzaghi (1981) em seu discurso de abertura da Primeira Conferência Internacional sobre Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, realizada em Cambridge, 1936: *“Um trabalho bem sucedido em Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações exige não só uma fundamentação minuciosa na teoria, combinada a uma vigilância para com possíveis fontes de erro, mas também um acúmulo de observações e de medições no campo...”* *“Nossas teorias serão substituídas por teorias melhores, mas os resultados das observações conscienciosas, no campo, permanecerão como uma tarefa de inestimável valor para nossa profissão.”*

Assim, teoria e observação, equilibradamente dosadas, alimentam tanto o raciocínio dedutivo quanto o indutivo no enfrentamento dos problemas geotécnicos. O objetivo principal desta ação é prever o comportamento da interação obra x meio físico, por meio da elaboração de **modelos** denominados **fenomenológicos** (Santos, 1976), **geológico-geotécnicos** ou **geomecânicos** (Azevedo, 2002 e Gouveia et al., 2015). Estes modelos correspondem a uma síntese dos parâmetros e fatores que condicionam mecanismos previstos no problema considerado. A adoção de tais modelos é feita por hipóteses que, à medida que progredirem as investigações, são testadas até se chegar a um diagnóstico aceitável ao projeto (Santos, 1994).

Um exemplo de adoção do conceito de modelo fenomenológico é apresentado nos métodos de investigação de escorregamentos no Capítulo 19 – Estabilização de Taludes. Exemplos de aplicação de modelos geomecânicos podem ser examinados no Capítulo 14 – Investigações Geotécnicas e Geambientais, 16 – Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos e 24 – Barragens. Após a intervenção no meio físico ou a construção da obra, o modelo é aferido com o comportamento real, monitorado através de observação e instrumentação adequada (Capítulo 14 – Investigações Geotécnicas e Geambientais).

## 5

### Evolução histórica

O nome Geologia começou a ser utilizado no século XVIII, por meio da obra de Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799), que se dedicou ao estudo dos aspectos estruturais dos Alpes suíços. Durante este século e o seguinte, destacam-se vários pesquisadores, como Hutton (1726-1797), Lyell (1797-1875), Darwin (1808-1882) entre outros, que criaram as bases da geologia como ciência. (Leinz e Amaral, 1989).

O **Princípio do Uniformitarismo** foi expresso por James Hutton, quando publicou em 1785 a “Teoria da Terra” (Legget, 1939), conceito este que diz que os processos naturais atualmente vigentes, embora atuem em velocidade

aparentemente lenta, são os mesmos que ocasionaram ao globo terrestre todas as profundas mudanças ocorridas ao longo de sua história, devido a sua atuação por um longo intervalo de tempo. Foi ele, também, que distinguiu pela primeira vez, os três grupos de rochas em que se baseia a moderna teoria de constituição da Terra: rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (Figura 1.6). É de Charles Lyell (1797-1875), grande defensor das ideias de Hutton, outro conceito importante das geociências, que diz que o presente é a chave para entender o passado.



**Figura 1.6** James Hutton (1726-1797), o pai da Geologia e idealizador do Princípio do Uniformitarismo. À direita afloramento estudado por Hutton em Siccar Point, Escócia. Foto: Infinitive Scotland.

## 5.1 Alguns aspectos do exterior e suas relações com o Brasil

Na história da GEA, a figura de Karl Terzaghi (1883-1963) é referência obrigatória (Figura 1.7). Terzaghi, e outros grandes autores, como Arthur Casagrande (1902-1981), desenvolveram as bases teóricas e conceituais da Mecânica dos Solos. Terzaghi enfatizou, ao longo de toda sua obra, a importância da Geologia na compreensão dos fenômenos ocorrentes nos terrenos, tendo ele próprio exercido a Geologia de Engenharia ao longo de sua vida profissional, o que frequentemente permite ser citado como engenheiro e geólogo. São de sua autoria alguns trabalhos clássicos, como o “Efeito de detalhes geológicos secundários na segurança das barragens”, publicado em 1929, e “Mecanismo de escorregamentos”, de 1950, em que enfatizou a importância da compreensão dos processos geológicos para a resolução de problemas de Engenharia. Terzaghi desempenhou, nas décadas seguintes, um papel importante no desenvolvimento da Geotécnica no Brasil, pelas sucessivas viagens, palestras e contatos constantes com seus discípulos, o que também ocorreu com o Prof. Arthur Casagrande, que esteve várias vezes no Brasil e participou ativamente de obras de barragens construídas na década de 1960 e 1970 (ABMS, 1983).

No intervalo de tempo compreendido entre as duas grandes guerras mundiais, a presença e participação de geólogos de engenharia em empresas e organizações voltadas ao projeto e à construção de grandes obras passou a se tornar rotineira. Nos Estados Unidos, grandes corporações, como a *United States Corps of Engineers*, a *Tennessee Valley Authority*, o *Bureau of Reclamation* e o *United States Geological Survey* foram pioneiras na utilização de equipes de Geologia de Engenharia (e de Geotécnica, de maneira geral), em seus trabalhos.

Uma extensa série de grandes nomes contribuiu para o desenvolvimento da GEA e deixou como legado algumas obras de referência permanente. Dentre estes, destaca-se o francês Lugeon (1933), autor do clássico *“Barrages et géologie”*, o norte-americano Legget (1939), pelo livro *“Geology and engineering”*, o italiano Desio (1949), por sua obra *“Geologia applicata all’ingegneria”*, os tchecos Zaruba e Mencl (1976), por *“Engineering geology”*.

A partir da década de 1950, o grande surto de desenvolvimento que se seguiu à Segunda Guerra Mundial exigiu a utilização crescente de especialistas em todas as áreas de conhecimento científico e tecnológico, disso resultando o crescimento acelerado da Geotécnica, incluindo-se a GEA.



**Figura 1.7** Karl von Terzaghi em 1926. Foto: arquivo ABGE

A contribuição estrangeira, através de técnicos em GEA, que não se radicaram no País, foi pequena, sendo mais notada as contribuições dos que aqui permaneceram. Em 1947, Karl Terzaghi proferiu seis palestras sobre o tema na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Nessa ocasião estava no Brasil por solicitação da *Light and Power* para resolver problemas de escorregamento junto ao conduto forçado da Usina de Cubatão. Através dele vieram os geólogos Portland P. Fox e John Cabrera. Esses dois técnicos trabalharam muitos anos para a *Light and Power*, concentrando-se nas obras do Ribeirão das Lages, Barragem e Túnel Santa Cecília e Cubatão. Portland P. Fox regressou aos Estados Unidos e John Cabrera aqui permaneceu tendo colaborado em inúmeras obras hidrelétricas, principalmente em Minas Gerais, sendo Itaipu seu último local de trabalho no Brasil.

O geólogo francês Reynold Barbier efetuou alguns estudos no Brasil, para a Sondotécnica, nos locais da Barragem de São Félix, Rio Tocantins (GO), Usina Capivari-Cachoeira (PR), Barragens no Rio Itajaí (SC) e diversos locais de barragens para a Celf (RJ). Os trabalhos do Comitê Coordenador da Região Centro-Sul, executados sob direção da Canambra (1962-1965), introduziram no Brasil uma metodologia de estudos de inventário hidrelétrico, na qual a Geologia de Engenharia, sob orientação dos geólogos John Cabrera e Stan Roderick, ocupava uma posição de destaque, mantida até hoje pela Eletrobrás em suas diretrizes de estudos. A partir de 1974, o geólogo americano Don Deere passou a integrar alguns grupos de consultores internacionais, principalmente em Tucuruí, Itaipu, Paulo Afonso IV, Sobradinho e Itaparica, contribuindo com seus conhecimentos para uma parcela de desenvolvimento da GEA no Brasil.

## 5.2 Fases da história da GEA no Brasil

Em termos de desenvolvimento próprio, Vargas (1985) assinala que os primeiros documentos existentes de Geologia Aplicada às obras de engenharia do País datam de 1907, de autoria do engenheiro Miguel Arrojado Lisboa e se referem ao prolongamento da Estrada de Ferro Nordeste do Brasil (EFNOB). Este engenheiro criou, em 1909, o Centro de Pesquisas Geológicas da IFOCs – Inspeção Federal de Obras contra Secas onde, juntamente com geólogos americanos, efetuou vários estudos geológicos para locais de barragens no Nordeste. Entretanto, este Centro não se desenvolveu.

Em 1937, foi criada a Seção de Geologia e Petrografia no IPT, sob a chefia de Moraes Rego. A primeira publicação dessa Seção foi o Boletim nº 18 do IPT: “Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira”, de autoria de Moraes Rego e Tharcísio Damy de Souza Santos, com a participação dos assistentes-alunos Fernando Flávio Marques de Almeida e Ernesto Pichler (Napoles Neto, 1970; Ruiz, 1970). Em maio de 1938, essa Seção foi transformada na Seção de Geologia e Minas, sob a direção de Tharcísio Damy de Souza Santos. Extinta em 1939, Ernesto Pichler passou a trabalhar na recém-criada Seção de Solos, porém sempre se dedicando aos trabalhos na área de Geologia de Engenharia. Em 1955 foi criada a Seção de Geologia Aplicada do IPT, sob a sua supervisão. Há ainda relatos de atividades esporádicas, nesta época, de Otávio Barbosa (Rio de Janeiro) e Paiva Neto (São Paulo). Viktor Leinz exercia atividades na área de classificação e catalogação de poços artesianos no Estado de São Paulo, principalmente na Grande São Paulo. Rui Ozório de Freitas efetuou estudos geológicos para a Barragem de Três Marias, da Cemig e Funil, de Furnas. José Setzer dedicava-se a mapeamento de solos no Estado de São Paulo.

Com o falecimento do engenheiro Pichler em 26 de novembro de 1962, vítima de derrame cerebral, no local onde hoje está construído o aeroporto de Jupiá, a Geologia de Engenharia perdia prematuramente seu grande batalhador. A partir da década de 1960 a GEA cresceu de maneira espantosa não somente acompanhando o desenvolvimento vertiginoso do Brasil nas décadas de 60 e 70, mas também pelo entusiasmo dos técnicos, que pouco a pouco se juntaram ao grupo inicial. Segundo Ruiz (1970), a consolidação da GEA no Brasil se deu durante a década de 60. Especialmente a partir do final dessa década e até por volta de 1980, houve um crescimento notável do número de técnicos trabalhando na área, por força das grandes obras em projeto e construção. Esta foi a fase responsável pela criação do grande acervo tecnológico inicial da GEA, especialmente no campo de aplicação às barragens das grandes hidrelétricas. Após 1980 esse ritmo de crescimento diminuiu devido à recessão econômica enfrentada pelo País. Entretanto, a partir de 1985 registrou-se uma recuperação do crescimento, principalmente motivado pelos trabalhos na área de meio ambiente (Ruiz, 1987). Esta nova fase encontrou uma GEA já desenvolvida, pronta a enfrentar os novos desafios colocados pelas questões ambientais.

A Tabela 1.1 traz uma síntese histórica da GEA no Brasil, destacando os principais marcos e fatos e mostrando a evolução da abordagem conceitual em cada período, assunto este comentado em sequência. Embora marcada por certa subjetividade, pode se constituir em tema de discussão em aula, devidamente amparada por pesquisas na internet e pela leitura de capítulos do presente Livro. Os marcos e fatos notáveis da GEA caminham juntos e estão intimamente relacionadas com as demais áreas da Geotecnia (Mecânica dos Solos e das Rochas). Negro Jr e Gonçalves, apud Monticeli e Kertzman (2013) ao analisarem a evolução da Geologia de Engenharia no Brasil (dentro das Geociências) e a da Engenharia (nas faculdades de engenharia) afirmam que talvez ambas venham a fazer parte ou rumem para uma história única, a da **Geoengenharia**<sup>2</sup> considerada como

<sup>2</sup> A denominação *geo-engineering sciences* (ciências de geoengenharias, na tradução literal), ainda não consagrada no meio técnico brasileiro, é comumente usada no exterior. Foi utilizada, por exemplo, em evento promovida pela IAEG, ISRM e ISSMGE em Constantza, Romênia, em 2008: *1st International Conference on Educations and Training in geo-engineering sciences: soil mechanics, geotechnical engineering, engineering geology and rock mechanics*. Nota-se que o tema ensino e treinamento tratado no evento englobou as áreas de Mecânica dos Solos, Engenharia Geotécnica, Geologia de Engenharia e Mecânica de Rochas. Os anais do evento contém 83 trabalhos de diferentes países, mas não trazem artigo sobre a experiência brasileira.

“base tecnológica comum da infraestrutura ambiental, civil, militar, de mineração e do petróleo”.

De forma geral, é possível identificar as principais fases de desenvolvimento da GEA no Brasil. A sucessão destas fases mostra um processo contínuo de enriquecimento das abordagens desde a fase empírica até às preocupações globais quanto às importantes transformações que o Homem vem impondo à Terra. De fato, a Geologia de Engenharia, desde a sua criação, vem evoluindo em suas áreas de atuação, na forma de abordar o meio físico e, conseqüentemente, na própria identidade como ramo de aplicação das Geociências (Bittar, 1995).

Ao se examinar a história da GEA no Brasil verifica-se que, até a criação da Seção de Geologia e Petrografia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, em 1937, com Moraes Rego e Souza Santos, e onde vieram a colaborar, Fernando de Almeida e Ernesto Pichler, este último considerado o pioneiro da Geologia de Engenharia no Brasil, a abordagem inicial da então Geologia Aplicada, pode ser classificada como uma **abordagem empírica**, desenvolvida por engenheiros com vocação de naturalistas.

Com o avanço da experiência brasileira e a influência de pesquisadores estrangeiros, como Karl Therzaghi, que esteve no Brasil ministrando um Curso de Geologia Aplicada em 1947, a **abordagem**, com a participação de geólogos, como Victor Leinz, se iniciou **geológica**, no sentido de que transferia o conhecimento geológico para os engenheiros projetistas. Esta abordagem logo passou a **abordagem geotécnica** nos anos de 1950 e 1960, sujeita a forte influência da Mecânica dos Solos e das Rochas, disciplinas então em pleno desenvolvimento; e foi impulsionada pelas construções de grandes barragens em que os estudos de geologia eram exigidos pelos financiamentos das obras, devido aos acidentes ocorridos, como os das barragens de Saint Francis (Estados Unidos, em 1928), de Malpasset (França, em 1959) e outras, com evidências de participação de causas geológicas nas rupturas, tendo provocado a morte de centenas de pessoas. (Capítulo 24 – Barragens e Reservatórios).

Esta abordagem geotécnica foi fundamental para a consolidação da Geologia de Engenharia no Brasil, provocando, entretanto, uma tendência de afastamento da abordagem geológica, por falta de ênfase na observação dos fenômenos geológicos em relação à aquisição de dados geotécnicos. A reação a esta postura marcou o 2º Congresso Internacional de Geologia de Engenharia realizado em São Paulo em 1974 e o 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, em 1976, no Rio de Janeiro (Oliveira, 1981) e pode ser representada pelo artigo de Santos (1976) cujo título explicita a demanda por mudança: “Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza”.

A partir desses anos, a GEA resgatou sua base científica nas Geociências e se diversificou em várias áreas de aplicação de obras civis (além das tradicionais áreas de barragens e obras viárias), mineração e uso do solo, urbano e rural, com uma **abordagem geológico – geotécnica**, portanto mais plena, formatando-se e integrando-se assim, com a Mecânica dos Solos e das Rochas, no campo da Geotecnia.

Nos anos seguintes, o desenvolvimento da legislação ambiental (CONAMA, 1986) incentivou a aplicação da GEA em novas áreas de atuação, como os estudos de impactos ambientais que foram se intensificando ao longo dos anos de 1990, ao ponto da ABGE alterar seu nome em 1999 para Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Esta fase incorporou, portanto, o cuidado com o meio ambiente em sua abordagem ambiental, uma **abordagem geológico-geotécnica e ambiental**.

## Síntese histórica da GEA no Brasil.

Tabela 1.1

Fases	Período	Marco Histórico	Fatos relevantes	Abordagem	Características da abordagem
Primórdios	antes de 1937	-----	Fortes, mosteiros, igrejas, ferrovias, barragens. Escola Militar-1808 Escola Politécnica- 1875 Escola de Minas de Ouro Preto-1876 Eng. Miguel Arrojado Lisboa: EFNOB e IFOCS – 1907 Barragens do Guarapiranga e do Cabuçu, SP	Empírica	Engenharia naturalista: observação da natureza
Nascimento	1937 a 1954	1937: Criação da Seção de Geologia e Petrografia do IPT.	Moraes Rego e Souza Santos: “Granitos da Cantareira” Terzaghi – Curso de Geologia Aplicada – São Paulo – 1947 Pichler (1953): trabalhos em Geologia de Barragens, Voçorocas e Escorregamentos Barragens Salto Grande, Paulo Afonso Vargas, Rodrigues, Nogami, Victor Leinz	Geológica	Interpretação da geologia para a engenharia
Consolidação	1955 a 1973	1955: Deslocamento do eixo da barragem de Barra Bonita	Eng. Murilo Dondici Ruiz (IPT: 1956-1970) Rodovia dos Imigrantes Grandes obras de infraestrutura: barragens etc Acidentes: <i>Malpasset, Vaiont, St. Francis</i> Agrupamento de Geologia Aplicada do IPT: trabalhos e pesquisas para CELUSA/CESP, DAEE, SUVALE/ CODEVASF 1968: APGA e 1974 ABGE	Geotécnica	Procedimentos de qualificação geotécnica dos materiais naturais e quantificações geomecânica <i>in situ</i> e em laboratório (ensaios geotécnicos)
Diversificação	1974 a 1985	De APGA a ABGE	1974: II Congresso Internacional da IAEG em SP “Por menos ensaios e mais observação da natureza”, (Santos, 1976) Geologia urbana e de planejamento do uso do solo 1976: 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia IPT: de grupos por convênios a seções temáticas para incentivo à pesquisa Centros de Pós graduação: Geotecnia: EESC e GEA: UFRJ Cartas geotécnica dos morros de Santos e São Vicente (1978) 1980: carta de Paris da IAEG: proteção e uso racional do meio ambiente 1980: Inflação alta e reflexo na GEA.	Geológico-geotécnica	Resgate da base científica como referencial geológico para as abordagens da Geotecnia, com a Mecânica dos Solos e das Rochas.  Abordagens multidisciplinares.  Participação crescente da GEA nos projetos
Ambiental	1986 até hoje	1986: exigência de estudos de impactos ambientais	EIA/RIMA e instrumentos de gestão ambiental Gestão de risco geológico: inundações e escorregamentos 1988: Ter-Stepanian propõe o Tecnógeno 1991: 1º curso de GE e Meio Ambiente (IPT) 1993: 1º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica 1996: Diagnóstico da GEA pela ABGE – CNPq-PADCT 1998: Primeiro livro-texto brasileiro (ABGE): Geologia de Engenharia (34 temas, 2 editores, 68 autores, 12 consultores) 1998: Início de leilões para concessão de obras de infraestrutura 2000: Crutzen propõe o Antropoceno 2007: Premio Nobel para o IPCC Acidentes diversos: Camará, PB (2004), Metrô de São Paulo, SP (2007), Mariana, MG (2015)	Geológico-geotécnica e ambiental.	As abordagens anteriores são enriquecidas com as abordagens ambientais  Introduzido o conceito do Homem como agente geológico. (abordagem geotecnológica).  Incluído nos trabalhos ambientais a preocupação com os efeitos dos fenômenos locais para escalas regionais e globais.

Na mesma época, dois artigos publicados no Boletim da *International Association of Engineering Geology* – IAEG (Ter-Stepanian, 1988 e Sergeev, 1980) provocaram significativo impacto na GEA brasileira, conforme o texto de Oliveira e Santos (1989) publicado no Jornal da ABGE nº 51, de julho/setembro, com o título: “*Dois artigos e uma Questão: Geologia de Engenharia no Tecnógeno*” que discute o conceito como agente geológico no processo de transformação da Terra. Entretanto, a proposta de Ter-Stepanian de definir uma nova época – o Tecnógeno – foi suplantada em termos de mídia pela proposta de Crutzen e Stoermer (2000) do Antropoceno. De qualquer maneira esta concepção do Homem como agente geológico veio então a enriquecer a GEA com a **abordagem geotecnológica**, conforme exposto no Capítulo 21 – Tecnógeno e Antropoceno.

Há vários aspectos que merecem ser destacados na análise das fases da história da GEA no Brasil (vide Tabela 1.1), como:

1. O início da GEA foi desenvolvido por engenheiros com elevada capacidade de observação da natureza. Por isso, foram denominados de engenheiros naturalistas. Um deles tornou-se um dos mais importantes geólogos do Brasil: Fernando Flávio Marques de Almeida.
2. A consolidação da GEA foi realizada num centro de pesquisas (IPT) de elevada confiança para as empresas que promoveram a pesquisa como eixo da prestação de serviços, especialmente a CESP – Companhia Energética de São Paulo, cuja consciência e descortino da sua direção na época da fase de consolidação,

ênfatiou essa necessidade para a solução dos problemas de engenharia brasileiros.

3. No processo de sua consolidação a intensa mobilização para ensaios levou a GEA a se afastar da sua base científica, o que viria a ocorrer na fase seguinte de diversificação. Oliveira (1981) fez análise deste movimento pendular de afastamento e resgate da Geologia e concluiu que o caminho percorrido foi necessário para a compreensão dos problemas geotécnicos, dos projetos e realização de uma ponte de entendimento com os engenheiros projetistas, resultando em um acervo de técnicas que hoje constitui importante instrumental de trabalho do geólogo de engenharia.
4. Há um salto importante ao se considerar o Homem como agente geológico na abordagem geotecnogênica, pois essa consideração abre a perspectiva de responsabilidade nos procedimentos de uso do solo e aponta para a necessidade de se ver o planeta como um todo nas ações locais, o que se confirma com a ampla divulgação e adoção pelos centros de pesquisa do tema das mudanças climáticas globais.
5. Finalmente verifica-se atualmente, como importante sinal de alerta, os acidentes recentes, intimamente relacionados à GEA, e a constatação de que atualmente há *“um nível pobre de investigações com que muitas obras são realizadas hoje, sendo essencial que as novas gerações saibam o que fizeram os precursores da profissão, entre os quais Murillo é um ícone.”*, como expressa Tarcísio Barreto Celestino (comunicação verbal) a respeito do livro *“Geologia de Engenharia e Mecânica de Rochas no Brasil: a contribuição de Murillo Dondici Ruiz”* (Bartorelli, 2017), cuja leitura é recomendada. (Figura 1.8).

Ressalta-se, por fim, que não se deve descuidar de considerar, nos trabalhos de GEA – principalmente os de natureza ambiental, por vezes bastantes falhos neste aspecto – os compromissos com as soluções de engenharia e não meras descrições geológicas sem alvo no problema.

Como perspectivas futuras, pode-se prever a necessidade de revisão do quadro atual em que os métodos, técnicas e procedimentos avançam cada vez mais com a tecnologia e a informática, mas não são devidamente aplicados e reduzem a importância das observações acuradas de campo, indicando a perda da tradição da GEA e a falta de cuidado (qualidade, fiscalização, ética profissional) na obtenção de dados para a execução dos projetos e construção das obras. Neste sentido, como perspectiva de futuro pode-se indicar a necessidade de enriquecer as atividades profissionais com uma abordagem **geoética** e uma forte determinação às associações profissionais e entidades técnico-científicas para orientar os trabalhos de GEA com base científica, observações cuidadosas de campo e qualidade dos ensaios geotécnicos.



**Figura 1.8** Eng. Murillo Dondici Ruiz, fundador da ABGE, seu primeiro Presidente e ícone da Geologia de Engenharia brasileira, em evento da ABGE que o homenageou, pelo recebimento do Prêmio Ernesto Pichler em São Paulo, no ano 2014. Foto: acervo ABGE.

## Resumo

Os referenciais conceituais da Geologia de Engenharia e Ambiental (GEA), representada no Brasil pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE, estão implícitos em sua própria denominação: a Geologia (Geociências), como base científica e a Engenharia, como aplicação. Em outras palavras, a GEA une o campo do conhecimento da Terra e de sua história ao campo de desenvolvimento das técnicas de transformação da Terra pelo Homem. A GEA nasceu e se desenvolveu, com maior ênfase, com as atividades da Engenharia, contribuindo para a elaboração de projetos, acompanhamento da construção e monitoramento da operação de grandes empreendimentos como barragens de hidroelétricas, rodovias e ferrovias de grande porte. Nestas condições, seus estudos sempre estiveram comprometidos com a busca de soluções. Mesmo quando aplicada aos problemas ambientais, como a erosão por exemplo, a GEA não deixa de ter esse enfoque, não se limitando à descrição do processo erosivo, mas estudando-o com a finalidade de intervir (Engenharia) para a sua correção ou prevenção.

A Geologia de Engenharia compõe com a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas o campo da Geotecnia. Assim, o ensino, as pesquisas e os trabalhos práticos nessas três áreas se articulam e se integram. Esta particularidade se reflete nas empresas públicas e privadas e nas instituições de ensino que oferecem cursos de pós-graduação em GEA e Geotecnia, como são os casos da UFRJ/CCMN-IGEO e da USP/EESC, respectivamente.

Os métodos de trabalho da GEA se fundamentam em sua base científica, a Geologia, e nos compromissos com as soluções de engenharia. Teoria e observação, equilibradamente dosadas, alimentam tanto o raciocínio dedutivo (busca das regras gerais a partir da observação de fatos isolados e individuais) quanto o indutivo (característico da prática das chamadas ciências exatas), no enfrentamento dos problemas geotécnicos. O objetivo principal desta ação é prever o comportamento da interação obra x meio físico, por meio da elaboração de modelos denominados fenomenológicos ou geológico-geotécnicos ou geomecânicos. Estes modelos correspondem a uma síntese dos parâmetros e fatores que condicionam mecanismos previstos no problema considerado.

O Capítulo apresenta a evolução histórica da GEA desde os seus primórdios até os dias atuais, destacando alguns nomes de pioneiros que deram grande contribuição à área, entre os quais o Eng. Murillo Dondici Ruiz, ícone da GEA brasileira.

## Questões de revisão

1. Descreva o significado conceitual da GEA, cite as principais áreas de atuação e descreva três exemplos de trabalhos em cada área.
2. O que se entende por Geotecnia? Comente os principais conceitos da Geotecnia e da GEA como ferramenta indispensável ao projeto e construção de obras civis e mineiras.
3. Descreva o significado dos raciocínios indutivo e dedutivo aplicado na Geociências e Engenharias.
4. Comente a importância de estabelecer o modelo fenomenológico/modelo geológico para a engenharia.
5. Cite diferenças entre a abordagem científica teórica do meio físico e a abordagem da GEA. Pesquise e descreva dois exemplos que comparam essas abordagens.
6. Descreva dois eventos históricos relevantes (marcos/fatos/abordagem) da GEA e compare com o momento atual.

## Bibliografia recomendada

- Bartorelli, A. (Coord). 2017. *Geologia de Engenharia e Mecânica de Rochas no Brasil: a contribuição de Murillo Dondici Ruiz*. São Paulo: ABGE.
- Bitar, O.Y. (Coord.). 1995. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE/IPT. 247p.
- Delgado, C.; Dupray, S.; Marinos, P.; Oliveira, R. 2014. *50 years – A reflection on the past, present and future of engineering geology and the Association*. The International Association for the Engineering Geology and the Environment. Beijing: Science Press. Disponível em: <[http://iaeg.info/media/1229/iaeg50years\\_lr.pdf](http://iaeg.info/media/1229/iaeg50years_lr.pdf)>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- Santos, A.R. 2002. *Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática*. São Paulo: ABGE/IPT. 222p.

- Vargas, M. 1985. Origem e desenvolvimento da Geotecnologia no Brasil. *Quiapo*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 263-279.
- Zuquette, L.V. 2011. Um breve relato sobre a geologia de engenharia. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*. v.1, n 1. edição especial. p. 41-55.

## Indicação de sítios

- [www.abge.org.br](http://www.abge.org.br); [www.abms.com.br](http://www.abms.com.br); [www.cbdb.com.br](http://www.cbdb.com.br); [www.sbg.com.br](http://www.sbg.com.br); <http://iaeg.info>
- Palavras-chave:** Geologia de Engenharia, Geologia Ambiental, *Engineering Geology*, *Géologie de l'Ingénieur*, *Ingeniería Geológica*