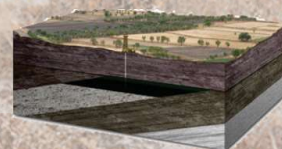
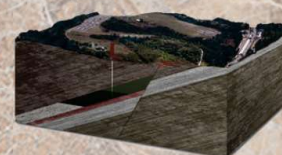


# Descomplicando a Geologia de Engenharia

Eduardo Antonio Gomes Marques  
Marcio Fernandes Leão



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



PATROCINADOR



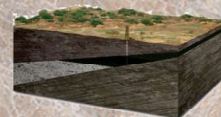
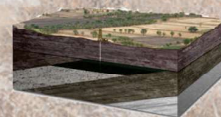
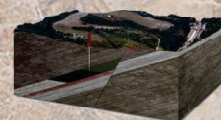
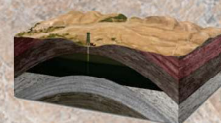
VALE

# Descomplicando a Geologia de Engenharia

Eduardo Antonio Gomes Marques  
Marcio Fernandes Leão



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



Copyright 2023. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE

**Produção editorial:**

Assistência editorial: *Luciana Marques e Lucimara Gouvêa*

Projeto gráfico/Diagramação/Capa: *Carlos Einloft e Rita Motta*

Desenho: *Carlos Pedro da Silva Ribeiro*

Impressão: *Gráfica Assahi, São Paulo*

Impresso em papel Offset, 90g, fosco, formato 170x240 mm,  
na tipografia Whitney HTF

Primeira edição impressa em 2023: *1.500 exemplares.*

Segunda edição impressa em 2023: *1.500 exemplares.*

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

Marques, Eduardo Antonio Gomes  
Descomplicando a geologia de engenharia /  
Eduardo Antonio Gomes Marques, Márcio Fernandes  
Leão. -- 1. ed. -- São Paulo : ABGE, 2023.

ISBN 978-65-88460-10-8

1. Engenharia 2. Geologia de engenharia  
3. Geologia estrutural 4. Geotecnia 5. Hidrogeologia  
6. Intemperismo 7. Investigações geotécnicas  
I. Leão, Márcio Fernandes. II. Título.

23-159261

CDD-550

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Ciências da terra 550

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

A ABGE, os autores, integrantes de equipe, revisores e o editor 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

**DIRETORIA ABGE GESTÃO 2023/2024**

**PRESIDENTE:** Fábio Soares Magalhães

**VICE-PRESIDENTE:** Erik Wunder

**DIRETOR SECRETÁRIO:** Sergio Sussumu Tokudo

**DIRETOR FINANCEIRO:** Adalberto Aurélio Azevedo

**DIRETORA DE EVENTOS:** Ana Elisa Silva de Abreu

**DIRETORA DE COMUNICAÇÃO:** Lilian Pimentel

**Conselho Deliberativo:** Fábio Soares Magalhães, Erik Wunder, Sergio Sussumu Tokudo, Adalberto Aurélio Azevedo, Ana Elisa Silva De Abreu, Lilian Pimentel, Luiz Antonio Pereira de Souza, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Joao Luiz Armelin, João Antônio Curtis, Luiz Alberto Minicucci, Malena D' Elia Otero, Iramir Barba Pacheco, Sergio Augusto De Arruda Camargo, Mauro Gomes Dos Santos Filho, Romildo Dias Moreira.

**Conselho Consultivo:** Delfino Luiz Gouveia Gambetti (Presidente), Adalberto Aurélio Azevedo, Carlos Manoel Nieble, Fernando Facciola Kertzman, Fernão Paes de Barros (in memorian), Jayme de Oliveira Campos, Giacomo Ré, Guido Guidicini, Kenzo Hori, João Jerônimo Monticelli, Luiz Ferreira Vaz (in memorian), Luiz Francisco Saragiotto, Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, Murillo Dondici Ruiz (in memorian), Nivaldo José Chiossi, Tarcísio Barreto Celestino e Wilson Shoji Yiomasa.

**NÚCLEO RIO DE JANEIRO/ESPÍRITO SANTO**

Conselho Deliberativo: Aline Pimentel da Silva, Ana Caroline Duarte Dutra, Giovanna Tristão R. da Cunha, Larissa Mozer, Raquel Batista M. da Fonseca e Rodrigo Ferreira Franca.

**NÚCLEO MINAS GERAIS**

Conselho Deliberativo: Alberto Ferreira do Amaral Junior, Angelo Almeida Zenobio, Bruno Felipe Roepke, Diego Moreira da Silva, Ellen Delgado Fernandes, Frederico Nascimento Mendes Bezerra, Maria Giovana Parizzi, Michele Aparecida Flores Costa, Reuber Ferreira Cota, Yan Lucas de O. P. Santos e Walter Dos Reis Junior.

**NÚCLEO SUL**

Conselho Deliberativo: Adelir José Strieder, Andréa Nummer, Cezar Augusto Burkert Bastos, Débora Lamberty, Karina R. Camargo, Malva Andrea Mancuso e Marcos A. Musso Laespiga.

**NÚCLEO CENTRO OESTE**

Conselho Deliberativo: Bruna M. Cruz Fernandes, Caiubi Emanuel Souza Kuhn, Ingrid Ferreira Lima, Patrícia de Araújo Romão e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes.

**NÚCLEO NORTE**

Conselho Deliberativo: Claudio Fabian, Dianne D. F. Fonseca, Elton Rodrigo de Andretta, Iris Celeste N. Bandeira, José Sidney Barros e Sheila G. Teixeira.

**SECRETARIA ABGE**

Gerente Executiva: Luciana Marques

Assistente Editorial: Lucimara Gouvêa

Assistente Administrativo: Kauany Santos

Auxiliar Administrativo: Maria Esther Reis

Auxiliar Financeiro: Vanessa Oliveira

Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Prédio 59 | Cidade Universitária | São Paulo – SP

Fones: (11) 3767-4361 | (11) 98687-6560

E-mail: [abge@abge.org.br](mailto:abge@abge.org.br) | Site: [abge.org.br](http://abge.org.br)



# NA CIDADE OU NO CAMPO, **FISCALIZAÇÃO** SEGURA TEM OS **OLHOS** DO CONFEA/CREA.

Seja na cidade ou no campo, toda obra, reforma ou serviço tem que contar com os olhos do Sistema Confea/Crea, fiscalizando e exigindo a documentação e o registro dos profissionais envolvidos. Obra sem fiscalização é o mesmo que uma obra feita às escuras. Saiba mais em [www.confea.org.br](http://www.confea.org.br).

**CONFEA**  
Conselho Federal de Engenharia  
e Agronomia



**CREA**  
Conselhos Regionais de Engenharia  
e Agronomia



**mutua**  
Caixa de Assistência dos Profissionais do Crea





## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos seus orientados e orientandos dos cursos de graduação e programas de mestrado e doutorado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Estes alunos e ex-alunos contribuíram significativamente ao longo de muitos anos, através do resultado de suas pesquisas, ao conteúdo deste livro. Os autores também agradecem aos seus colegas de várias instituições pela sua contribuição direta ou indireta através de discussões sobre o tema.

Agradecem ainda às empresas: Academia de Mineração, Engecorps, Fonntes, Fundsolo, Geobruigg, Geocompany, Geoestavel, Geoes-trutural, Hibbard, Hidrostudio, Maccaferi, Progeo, Rede Tecnologia em Sondagens, Regea, Saff, Tractebel, Vale e Walm Engenharia e às autarquias Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Confea), Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de São Paulo (Crea-SP) e Caixa de Assistência dos Profissionais do Crea-SP (Mútua-SP) pelo apoio financeiro e parceria que permitiu a publicação desta obra.

À Universidade Federal de Viçosa e à Universidade Federal do Rio de Janeiro, instituições nas quais os autores atuaram ou atuam há mais de três décadas e nas quais foram desenvolvidos grande parte das pesquisas e trabalhos de extensão e ensino cujos dados foram utilizados nesta publicação.

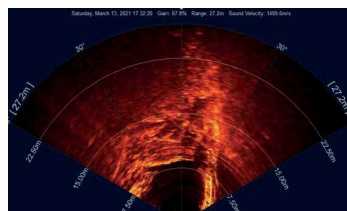
# Inspeção e Monitoramento em Estruturas Submersas por ROV, USV, SONARES e tecnologia 3D de ponta.

A Hibbard Inshore Brasil é uma empresa especializada em inspeções e monitoramentos subaquáticos por meio de ROVs (veículos subaquáticos controlados remotamente) e USVs (barco de operação remota).

Em todas as inspeções, utilizamos sensores de ponta para aquisição de dados de grande importância nas estruturas inspecionadas.

Além da grande variedade de veículos e sensores que a Hibbard possui, nosso time possui experiência comprovada, capacidade e flexibilidade de adaptar-se a todo tipo de adversidade.

Adaptamos nossos equipamentos para atender melhor as diferentes necessidades e complexidades das inspeções e mapeamentos.



Um colapso em um túnel de adução (como figuras acima) pode resultar em uma paralisação de até um ano ou mais das operações de geração, causando prejuízos significativos em termos de receita para o operador.

Entre em contato conosco para agendar reuniões, demonstrações e visitas técnicas. Oferecemos a melhor solução custo/benefício do mercado brasileiro, evitando situações críticas como a mencionada anteriormente.

## Serviços especializados:

- Inspeção subaquática de túneis.
- Inspeção subaquática de barragens.
- Inspeção subaquática de estruturas de concreto.
- Inspeção e monitoramento em águas totalmente ou parcialmente turvas.
- Inspeção subaquática de sistemas de esgoto em carga.
- Inspeção mapeamento 3D em espaços confinados
- Monitoramento 3D
- Mapeamento e Topografias 3D em sistemas complexos

## Alguns clientes:

- Vale
- Samarco
- Sabesp
- Sanepar
- Cemig
- CTG Brasil
- Etc.

## Inspeções e Mapeamento 3D de espaços confinados com LiDAR SLAM

Hibbard Inshore Brasil possui capacidade e flexibilidade de executar inspeções e levantamentos 3D com LiDAR SLAM em estruturas complexas sem a necessidade de acesso humano, assim como mostrado na figura ao lado, a qual representa um modelo 3D de um descarregador de fundo de uma Barragem. O levantamento 3D foi executado com barco autônomo e sem a necessidade de interromper as operações do descarregador.



Hibbard Inshore Brasil – Rua Prof. Vahia de Abreu, 138 – São Paulo

(11) 9.5778- 0935 – (11) 2537-3897 – [fabio@hibbardinshore.com](mailto:fabio@hibbardinshore.com) – [www.segurancadebarragens.com](http://www.segurancadebarragens.com)

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	11
PREFÁCIO ABGE .....	13
PREFÁCIO AUTORES.....	15
OS AUTORES.....	17
<b>CAPÍTULO 1. NOÇÕES DE GEOLOGIA GERAL, MINERALOGIA E PETROLOGIA</b>	<b>19</b>
1.1. Tempo Geológico .....	19
1.2. Estrutura da Terra .....	22
1.3. Minerais e Rochas.....	25
1.3.1. Mineral.....	25
1.3.2. Rocha .....	28
1.4. Tectônica de Placas .....	32
1.5. Orogênese.....	33
1.6. Estratigrafia.....	34
<b>CAPÍTULO 2. GEOLOGIA ESTRUTURAL .....</b>	<b>37</b>
2.1. Estruturas Sedimentares Primárias .....	37
2.2. Estruturas Tectônicas .....	40
2.2.1. Deformação .....	40
2.2.2. Descontinuidades .....	43
2.2.2.1. Elementos de uma Descontinuidade (fraturas e falhas) .....	45
2.2.2.2. Elementos de uma Falha .....	49
2.2.2.3. Tipos de Falha .....	49
2.2.3. Dobras .....	51
2.2.3.1. Elementos de uma dobra .....	51
2.2.3.2. Classificação das Dobras.....	52
2.2.4. Estruturas Planares - Foliação e Clivagem .....	53
2.2.5. Estruturas Lineares - Lineação.....	53
<b>CAPÍTULO 3. PROPRIEDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE</b>	
<b>FORMAÇÕES GEOLÓGICAS .....</b>	<b>55</b>
3.1. Rochas Sedimentares.....	55
3.1.1. Rochas Sedimentares Clásticas Pelíticas.....	56
3.1.2. Rochas Sedimentares Clásticas Granulares.....	60
3.1.3. Rochas Sedimentares Químicas .....	62
3.1.4. Rochas Sedimentares Orgânicas.....	68
3.2. Rochas Ígneas.....	71
3.2.1. Magma.....	73
3.2.2. Características Geotécnicas Principais .....	74
3.3. Rochas Metamórficas.....	78
3.3.1. Características Geotécnicas Principais das Rochas Metamórficas.....	79
<b>CAPÍTULO 4. INTEMPERISMO.....</b>	<b>81</b>
4.1. Intemperismo Físico .....	83
4.2. Intemperismo Químico.....	85
4.3. Perfis de Intemperismo .....	86
<b>CAPÍTULO 5. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....</b>	<b>90</b>
5.1. Fases de Estudo de Projetos de Engenharia .....	91
5.1.1. Investigações de Reconhecimento ou Inventário .....	92
5.1.2. Anteprojeto ou Viabilidade .....	92
5.1.3. Projeto Básico.....	92
5.1.4. Projeto Executivo.....	93
5.1.5. Acompanhamento .....	93
5.2. Objetivos de Uma Investigação em Subsuperfície.....	93
5.3. Custos.....	94
5.4. Métodos de Investigação do Subsolo .....	95
5.4.1. Métodos Diretos.....	95
5.4.1.1. Poços.....	96
5.4.1.2. Trincheiras.....	97
5.4.1.3. Galerias .....	97



5.4.1.4. Sondagens a Trado .....	98
5.4.1.5. Sondagens à Percussão.....	100
5.4.1.6. Sondagens Rotativas.....	108
5.4.2. Amostragem.....	116
5.4.3. Cuidados no Transporte e Manipulação de Testemunhos de Sondagem.....	126
5.4.4. Ensaios de Permeabilidade em Furos de Sondagem .....	130
5.4.4.1. Ensaio de Permeabilidade em Solos e Rochas - Ensaio Lefranc.....	130
5.4.4.2. Ensaio de Perda d'água sob Pressão em Rocha - Ensaio Lugeon .....	132
5.4.5. Métodos Semi-Diretos .....	134
5.4.5.1. Ensaio de Palheta ou "Vane-Test".....	136
5.4.5.2. Pressiômetro.....	137
5.4.5.3. "Cone Penetration Test" e "Piezocone Penetration Test" (CPT) .....	139
5.4.5.4. Dilatômetro (DMT).....	142
5.4.6. A Prática dos Métodos Semi-Diretos.....	143
5.4.7. Métodos Indiretos.....	145
5.4.7.1. Métodos Gravimétricos .....	146
5.4.7.2. Métodos Magnéticos.....	147
5.4.7.3. Métodos Sísmicos.....	148
5.4.7.4. Métodos Elétricos.....	157
<b>CAPÍTULO 6. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS .....</b>	<b>165</b>
6.1. Rochas como Materiais de Construção.....	165
6.1.1. Lastro de Ferrovias.....	166
6.1.2. Revestimento de Rodovias.....	166
6.1.3. Enrocamento.....	167
6.1.4. Concreto.....	167
6.1.5. Filtros .....	167
6.1.6. Cantaria.....	167
6.2. Propriedades Geológicas .....	167
6.2.1. Composição Mineralógica, Alteração e Coerência.....	167
6.2.2. Textura e Estrutura .....	170
6.2.3. Alterabilidade .....	170
6.3. Propriedades Físicas.....	171
6.3.1. Massa Específica Aparente e Real .....	171
6.3.2. Porosidade Aparente.....	173
6.3.3. Capacidade de Absorção .....	174
6.3.4. Forma dos Fragmentos.....	175
6.3.5. Condutibilidade Térmica.....	176
6.3.6. Resistência ao Impacto (Tenacidade).....	176
6.3.7. Resistência ao Desgaste (Abrasão).....	177
6.3.8. Resistência ao Esmagamento .....	178
6.4. Propriedades Físicas das Rochas .....	179
6.4.1. Rochas Ígneas .....	180
6.4.2. Rochas Sedimentares.....	183
6.4.3. Rochas Metamórficas.....	185
6.5. Propriedades Mecânicas e de Permeabilidade .....	187
6.5.1. Resistência à Compressão.....	187
6.5.2. Resistência à Tração .....	194
6.5.3. Resistência ao Cisalhamento .....	195
6.5.4. Módulo de Elasticidade (Módulo de Young, E).....	195
6.5.5. Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).....	197
6.5.6. Condutividade Hidráulica .....	198
6.6. Propriedades Químicas .....	198
6.6.1. Adesividade .....	198
6.6.2. Reatividade Potencial .....	199
<b>CAPÍTULO 7. HIDROGEOLOGIA .....</b>	<b>201</b>
7.1. Introdução .....	201
7.2. Ciclo Hidrológico.....	205
7.2.1. Origem da Água Subterrânea.....	205

7.2.2. Forma de Ocorrência da Água Subterrânea.....	207
7.3. Movimentação das Águas Subterrâneas.....	208
7.3.1. Movimentação Vertical.....	208
7.3.2. Circulação.....	211
7.4. Lei de Darcy.....	211
7.5. Geologia x Água Subterrânea.....	213
7.6. Geologia x Poluição.....	214
7.7. Poços.....	214
7.8. Contaminação das Águas Subterrâneas.....	216
7.8.1. Distribuição Espacial da Poluição.....	217
7.8.2. Origens da Contaminação da Água Subterrânea.....	217
7.8.2.1. Atividades Industriais.....	217
7.8.2.2. Atividades Domésticas.....	218
7.8.2.3. Atividades Agrícolas.....	218
7.8.3. Influência de Construção ou Operação de Poços na Poluição dos Aquíferos.....	218
<b>CAPÍTULO 8. TÚNEIS.....</b>	<b>220</b>
8.1. Histórico.....	220
8.2. Objetivos.....	220
8.3. Definições.....	221
8.4. Geologia no Projeto e Construção de Túneis.....	221
8.4.1. Objetivos da Exploração Geológica.....	221
8.4.2. Fatores Geológicos Típicos e suas Influências.....	223
8.4.2.1. Estratificação da Rocha.....	223
8.4.2.2. Dobras (Anticlinais e Sinclinais).....	224
8.4.2.3. Túneis em Zonas Falhadas.....	226
8.4.2.4. Túneis em Encostas.....	227
8.4.2.5. Água em Túneis.....	227
8.4.3. Projeto e Escolha do Traçado.....	227
8.4.4. Assistência na Escavação.....	230
8.4.5. Classificação do Maciço Rochoso.....	230
8.5. Métodos de Escavação.....	231
8.5.1. Escavação Exclusiva Em Rocha.....	231
8.5.1.1. Método Tradicional.....	231
8.5.1.2. Escavação por Galerias.....	232
8.5.1.3. Escavação Mecânica.....	232
8.5.2. Em Solo.....	233
8.5.2.1. A Céu Aberto.....	234
8.5.2.1.1. Com Taludes Inclinados.....	234
8.5.2.1.2. Método de Berlim e Método de Hamburgo.....	234
8.5.2.1.3. Método de Milão.....	234
8.5.2.2. Método das Couraças ("Shields").....	236
8.5.2.3. Métodos de Escavação.....	239
8.5.2.4. Método NATM.....	240
<b>CAPÍTULO 9. BARRAGENS.....</b>	<b>243</b>
9.1. Introdução.....	243
9.2. Elementos e Classificação de Barragens.....	250
9.3. Tipologia e Características Geológico-Geotécnicas de Barragens.....	256
9.3.1. Barragens de Gravidade.....	256
9.3.2. Barragens de contraforte.....	259
9.3.3. Barragens em Arco.....	261
9.3.3.1. Barragens em Arco Simples.....	261
9.3.3.2. Barragens em Arco Duplo (Abóboda).....	263
9.3.4. Barragens de Terra.....	263
9.3.5. Barragens de Enrocamento.....	268
9.4. Critérios de Seleção de Barragens.....	274
9.5. Investigações Geológico-Geotécnicas de Barragens.....	281
9.6. Sismicidade Induzida.....	286
9.7. Análises de Estabilidade.....	287
9.8. Barragens de Rejeito.....	291
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>297</b>