

GUIA PARA PROJETOS DE  
**TALUDES DE MINAS**  
**A CÉU ABERTO**

*GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN*



Editores: **John Read** e **Peter Stacey**

GUIA PARA PROJETOS DE  
**TALUDES DE MINAS**  
**A CÉU ABERTO**

*GUIDELINES FOR OPEN PIT SLOPE DESIGN*



Traduzido pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

São Paulo, 2022

**2022, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE**

Av. Professor Almeida Prado, 532 – Prédio 36 – 2º andar

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

*Impresso no Brasil*

**Autores**

John Read e Peter Stacey

**Projeto Gráfico, Diagramação e Capa**

Rita Motta – Editora Tribo da Ilha

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

Guia para projetos de taludes de minas a céu aberto = Guidelines for open pit slope design / [coordenação Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Iramir Barba Pacheco ; traduzido pela ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental ; editores John Read, Peter Stacey]. -- 1. ed. -- São Paulo : ABGE, 2022.

Edição bilíngue: português/inglês.  
ISBN 978-65-88460-07-8

1. Mineração 2. Mineração - Aspectos ambientais  
3. Taludes (Mecânica dos solos) I. Gambetti, Delfino Luiz Gouveia. II. Pacheco, Iramir Barba. III. Read, John. V. Stacey, Peter. VI. Guidelines for open pit slope design

22-118396

CDD-622.292

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Mineração a céu aberto : Planejamento : Engenharia de minas 622.292

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Originalmente publicado na Austrália

Como: Open Pit Slope Design

por Editora CSIRO

Direito autoral de John Read e Peter Stacey. Esta edição foi publicada com a permissão da CSIRO Publishing, Austrália

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**

# Sumário

Apresentação.....	15
Prefácio e agradecimentos.....	17
<b>1. FUNDAMENTOS PARA PROJETO DE TALUDES .....</b>	<b>19</b>
<i>Peter Stacey</i>	
1.1 Introdução.....	19
1.2 Projetos de taludes em minas .....	19
1.2.1 Fatores de segurança/sociais.....	20
1.2.2 Fatores econômicos.....	20
1.2.3 Fatores ambientais e regulatórios.....	21
1.3 Terminologia do projeto de taludes.....	22
1.3.1 Configurações dos taludes.....	22
1.3.2 Instabilidade.....	22
1.3.3 Queda de rochas.....	24
1.4 Formulação de projetos de taludes.....	24
1.4.1 Introdução.....	24
1.4.2 Modelo Geotécnico.....	24
1.4.2.1 Modelo geológico (Capítulo 3).....	25
1.4.2.2 Modelo estrutural (Capítulo 4).....	25
1.4.2.3 Modelo de maciço rochoso (Capítulo 5).....	26
1.4.2.4 Modelo hidrogeológico (Capítulo 6).....	26
1.4.3 Incerteza de dados (Capítulo 8).....	26
1.4.4 Critérios de Aceitação (Capítulo 9).....	27
1.4.5 Métodos de projeto de talude (Capítulo 10).....	27
1.4.6 Implementação do projeto (Capítulo 11).....	28
1.4.6.1 Planejamento da mina (seção 11.2).....	28
1.4.6.2 Aspectos operacionais.....	28
1.4.7 Avaliação e monitoramento de taludes (Capítulo 12).....	29
1.4.8 Gestão de riscos (Capítulo 13).....	29
1.4.9 Fechamento (Capítulo 14).....	29
1.5 Requisitos técnicos por nível de projeto.....	30
1.5.1 Desenvolvimento de projeto.....	30
1.5.2 Requisitos dos estudos.....	30
1.6 Revisão.....	32
1.6.1 Visão geral.....	32
1.6.2 Níveis de revisão.....	32
1.6.3 Profissional geotécnico competente.....	33
1.7 Conclusão.....	33
<b>2. COLETA DE DADOS DE CAMPO .....</b>	<b>35</b>
<i>John Read, Jarek Jakubec e Geoff Beale</i>	
2.1 Introdução.....	35
2.2 Mapeamento e Registro de afloramentos.....	35
2.2.1 Introdução.....	35
2.2.2 Descrição geotécnica.....	37
2.2.3 Mapeamento objetivando análises estruturais.....	38
2.2.3.1 Mapeamento em linha – Scanline.....	41
2.2.3.2 Mapeamento em uma janela definida.....	41
2.2.3.3 Imageamento digital.....	41
2.2.3.4 Considerações práticas.....	42
2.2.4 Técnicas de Geofísica de Superfície.....	43
2.2.4.1 Métodos Sísmicos.....	43
2.2.4.2 Métodos Potenciais, Elétrico e Eletromagnético.....	44
2.3 Descrição dos solos.....	45
2.3.1 Classificação.....	45
2.3.2 Resistência e densidade relativa.....	47

2.4	Sondagem rotativa e sua descrição.....	47
2.4.1	Introdução.....	47
2.4.2	Planejamento e definição do escopo.....	47
2.4.3	Locação do Furo de Sondagem.....	48
2.4.4	Barriletes.....	48
2.4.5	Perfilagem da trajetória da perfuração ( <i>Downhole surveying</i> ).....	49
2.4.5.1	<i>Técnicas magnéticas</i> .....	49
2.4.5.2	<i>Técnicas não magnéticas</i> .....	49
2.4.6	Orientação do testemunho.....	49
2.4.6.1	<i>Técnicas de marcação direta</i> .....	49
2.4.6.2	<i>Técnicas de orientação indireta</i> .....	51
2.4.7	Manuseio do testemunho e documentação.....	51
2.4.7.1	<i>Recuperação e identificação da amostra</i> .....	51
2.4.7.2	<i>Fotografar o testemunho de sondagem</i> .....	53
2.4.8	Armazenamento e preservação do testemunho de sondagem.....	54
2.4.8.1	<i>Armazenamento e preservação</i> .....	54
2.4.8.2	<i>Ensaios de laboratório</i> .....	54
2.4.8.3	<i>Armazenamento e preservação de amostras representativas (amostras documentais)</i> .....	55
2.4.9	Descrição do testemunho.....	55
2.4.9.1	<i>Visão geral</i> .....	55
2.4.9.2	<i>Descrição geológico-geotécnica do testemunho de sondagem</i> .....	56
2.4.9.3	<i>Descrição das características geotécnicas das discontinuidades</i> .....	57
2.4.9.4	<i>Mapeamento e descrição de estruturas de grande porte</i> .....	58
2.4.9.5	<i>Determinação da orientação das discontinuidades</i> .....	60
2.4.9.6	<i>Zonas cegas (Blind zones)</i> .....	62
2.4.9.7	<i>Perfil geológico-geotécnico – Log de sondagem</i> .....	63
2.4.10	<i>Técnicas geofísicas downhole</i> .....	63
2.5	Coleta de dados de águas subterrâneas.....	65
2.5.1	Abordagem para coleta de dados de água subterrânea.....	65
2.5.1.1	<i>Abordagem em fases</i> .....	65
2.5.1.2	<i>Coleta de dados em poços disponíveis (“Piggy-backed” data collection)</i> .....	67
2.5.2	Testes realizados durante a perfuração com a técnica RC.....	67
2.5.2.1	<i>Testes de injeção com hastes de perfuração</i> .....	67
2.5.2.2	<i>Ensaios de bombeamento utilizando airlift e recuperação</i> .....	67
2.5.3	Instalação do piezômetro.....	68
2.5.3.1	<i>Terminologia</i> .....	68
2.5.3.2	<i>Furos de observação abertos</i> .....	69
2.5.3.3	<i>Piezômetros de tubo aberto, vertical</i> .....	69
2.5.3.4	<i>Piezômetros de Corda Vibrante</i> .....	69
2.5.3.5	<i>Instalação de piezômetro de tubo aberto vertical versus piezômetro de corda vibrante</i> .....	70
2.5.3.6	<i>Piezômetros/inclinômetros em conjunto</i> .....	70
2.5.3.7	<i>Piezômetros horizontais</i> .....	70
2.5.3.8	<i>Piezômetros instalados em túneis de drenagem</i> .....	71
2.5.3.9	<i>Piezômetros Westbay</i> .....	72
2.5.4	Nota orientativa: guia para instalação de poços para teste de despressurização do maciço rochoso... 73	73
2.5.4.1	<i>Geral</i> .....	73
2.5.4.2	<i>Furos piloto</i> .....	73
2.5.4.3	<i>Fluido de perfuração</i> .....	73
2.5.4.4	<i>Seleção de filtro e pré-filtro</i> .....	74
2.5.5	Ensaios hidráulicos.....	74
2.5.5.1	<i>Ensaios de elevação e rebaixamento do nível d’água (slug-test)</i> .....	74
2.5.5.2	<i>Ensaios com obturadores</i> .....	74
2.5.5.3	<i>Ensaios de bombeamento</i> .....	76
2.5.6	Configurando ensaios pilotos de despressurização.....	77
2.6	Gerenciamento de dados.....	78
	Notas finais.....	78

### 3. MODELO GEOLÓGICO..... 79

*John Read e Luke Keeney*

3.1	Introdução.....	79
3.2	Contexto físico.....	79
3.3	Ambientes de corpos de minério.....	81
3.3.1	Introdução.....	81
3.3.2	Depósitos de pórfiros.....	81
3.3.3	Depósitos epitermais.....	82
3.3.4	Kimberlitos.....	82
3.3.5	Depósitos de sulfetos maciços vulcânicos.....	83

3.3.6	Depósitos de Escarnitos .....	83
3.3.7	Depósitos estratiformes .....	84
3.4	Requisitos geotécnicos .....	85
3.5	Sismicidade regional .....	88
3.5.1	Distribuição de terremotos.....	88
3.5.2	Dados de risco sísmico .....	91
3.6	Tensões regionais .....	92
<b>4.</b>	<b>MODELO ESTRUTURAL .....</b>	<b>95</b>
	<i>John Read</i>	
4.1	Introdução.....	95
4.2	Componentes do modelo .....	95
4.2.1	Principais estruturas.....	95
4.2.1.1	<i>Dobras</i> .....	95
4.2.1.2	<i>Falhas</i> .....	99
4.2.1.3	<i>Estruturas metamórficas</i> .....	100
4.2.2	<i>Fabric</i> .....	101
4.2.2.1	<i>Estruturas subordinadas em dobras</i> .....	101
4.2.2.2	<i>Juntas</i> .....	102
4.3	Ambientes Geológicos .....	102
4.3.1	Introdução .....	102
4.3.2	Intrusivo .....	102
4.3.3	Sedimentar .....	102
4.3.4	Metamórfico .....	103
4.4	Ferramentas de modelagem estrutural .....	103
4.4.1	Modelagem .....	103
4.4.2	Projeção estereográfica.....	104
4.4.2.1	<i>Orientações gerais</i> .....	104
4.4.2.2	<i>Blind zones (Zonas cegas)</i> .....	104
4.4.2.3	<i>Correção de Terzaghi para espaçamento das juntas</i> .....	105
4.4.2.4	<i>Ponderação de Terzaghi</i> .....	105
4.4.3	Modelagem de rede de fratura discreta .....	105
4.5	Definição do domínio estrutural.....	106
4.5.1	Orientações gerais .....	106
4.5.2	Exemplo de aplicação.....	106
4.5.2.1	<i>Limites do domínio primário</i> .....	106
4.5.2.2	<i>Fabric dentro de domínios primários</i> .....	109
<b>5.</b>	<b>MODELO DE MACIÇO ROCHOSO.....</b>	<b>111</b>
	<i>Antonio Karzulovic e John Read</i>	
5.1	Introdução.....	111
5.2	Resistência da rocha intacta .....	111
5.2.1	Introdução .....	111
5.2.2	Propriedades Índice .....	113
5.2.2.1	<i>Índice de resistência à carga pontual</i> .....	113
5.2.2.2	<i>Porosidade</i> .....	113
5.2.2.3	<i>Peso específico</i> .....	115
5.2.2.4	<i>Velocidade da onda</i> .....	115
5.2.3	Propriedades mecânicas .....	117
5.2.3.1	<i>Resistência à tração</i> .....	117
5.2.3.2	<i>Resistência à compressão uniaxial</i> .....	117
5.2.3.3	<i>Resistência à compressão triaxial</i> .....	119
5.2.3.4	<i>Constantes elásticas, módulo de Young e coeficiente de Poisson</i> .....	120
5.2.4	Condições especiais .....	121
5.2.4.1	<i>Rochas brandas e solos residuais</i> .....	121
5.2.4.2	<i>Rochas degradáveis/desagregáveis</i> .....	122
5.2.4.3	<i>Permanentemente congelados (Permafrost)</i> .....	123
5.3	Resistência dos defeitos estruturais .....	123
5.3.1	Terminologia e classificação.....	123
5.3.2	Resistência dos defeitos .....	123
5.3.2.1	<i>Medição da resistência ao cisalhamento</i> .....	123
5.3.2.2	<i>Influência do preenchimento</i> .....	127
5.3.2.3	<i>Efeito do deslocamento do defeito</i> .....	128
5.3.2.4	<i>Efeito da rugosidade da superfície</i> .....	130
5.3.2.5	<i>Critério de ruptura de Barton-Bandis</i> .....	134
5.3.2.6	<i>Efeitos de escala</i> .....	136

	5.3.2.7 Tensão, deformação e rigidez normal.....	138
	5.3.2.8 Rigidez de cisalhamento.....	140
5.4	Classificação do maciço rochoso .....	145
5.4.1	Introdução .....	145
5.4.2	RMR, Bieniawski .....	146
	5.4.2.1 Avaliação de parâmetros.....	146
	5.4.2.2 Considerações práticas.....	146
5.4.3	Laubscher IRMR e MRMR .....	148
	5.4.3.1 Resistência da rocha intacta .....	149
	5.4.3.2 Resistência do bloco de rocha.....	149
	5.4.3.3 Espaçamento das juntas .....	150
	5.4.3.4 Condições da junta .....	151
	5.4.3.5 Estabelecendo MRMR a partir de IRMR.....	151
5.4.4	Classificação de Hoek-Brown (GSI) .....	153
5.5	Resistência do maciço rochoso .....	156
5.5.1	Introdução .....	156
5.5.2	Critério de resistência de Laubscher.....	157
	5.5.2.1 Critério de resistência do maciço rochoso .....	157
	5.5.2.2 Critério de resistência do maciço rochoso de projeto .....	157
5.5.3	Critério de resistência Hoek-Brown .....	158
5.5.4	Critério CNI .....	162
5.5.5	Variação da resistência do maciço rochoso com a direção .....	163
5.5.6	Modelo de maciço rochoso sintético .....	168
	5.5.6.1 Introdução .....	168
	5.5.6.2 Modelo SRM (Synthetic Rock Mass) .....	169

## 6. MODELO HIDROGEOLÓGICO ..... 171

Geoff Beale

6.1	Hidrogeologia e engenharia de taludes .....	171
6.1.1	Introdução .....	171
6.1.2	Porosidade e poropressão.....	172
	6.1.2.1 Porosidade.....	172
	6.1.2.2 Porosidade na engenharia de taludes da mina a céu aberto .....	173
	6.1.2.3 Coeficiente de Armazenamento .....	174
	6.1.2.4 Controle da poropressão.....	174
6.1.3	Desaguamento geral da mina e controle de poropressão localizada .....	177
6.1.4	Tomar a decisão de despressurizar .....	180
	6.1.4.1 Quantificação da decisão.....	180
	6.1.4.2 Considerações gerais.....	181
	6.1.4.3 Fatores benéficos de um programa de despressurização de talude.....	182
	6.1.4.4 Fatores que reduzem a necessidade de um programa de despressurização de taludes .....	182
6.1.5	Desenvolvimento de um programa de despressurização de talude .....	182
6.2	Fundamentos da hidráulica subterrânea .....	183
6.2.1	Fluxo das águas subterrâneas.....	183
	6.2.1.1 Introdução .....	183
	6.2.1.2 A lei de Darcy .....	183
	6.2.1.3 A lei de Darcy em situações de campo.....	184
	6.2.1.4 Heterogeneidade e anisotropia.....	186
6.2.2	Águas subterrâneas em meios porosos (intergranulares) .....	186
	6.2.2.1 Introdução .....	186
	6.2.2.2 Depósitos não consolidados.....	187
	6.2.2.3 Rochas sedimentares.....	187
	6.2.2.4 Alteração de argilas e intemperismo.....	188
6.2.3	Fluxo de águas subterrâneas em meio fraturado.....	189
	6.2.3.1 Generalidades .....	189
	6.2.3.2 Fluxo por fratura.....	189
	6.2.3.3 Barreiras laterais ao fluxo e compartimentação das águas subterrâneas .....	190
	6.2.3.4 Barreiras ao fluxo vertical .....	192
	6.2.3.5 Influência do fraturamentos verticais .....	192
	6.2.3.6 Um exemplo das características do local de uma mina.....	192
6.2.4	Influências no fraturamento e nas águas subterrâneas.....	193
6.2.5	Mecanismos que controlam a redução da poropressão.....	195
	6.2.5.1 Generalidades .....	195
	6.2.5.2 Redução da poropressão pelo fluxo das águas subterrâneas.....	195
	6.2.5.3 Redução da poropressão por descarga litostática .....	196
	6.2.5.4 Redução da poropressão por descarga hidrostática.....	198
	6.2.5.5 Piping em material do talude.....	198



6.3	Desenvolvimento de um modelo hidrogeológico conceitual dos taludes da mina .....	198
6.3.1	Integração do modelo de talude da mina no modelo regional .....	198
6.3.2	Modelo hidrogeológico conceitual na escala de mina .....	199
6.3.3	Modelo hidrogeológico detalhado dos taludes da mina .....	200
6.4	Modelos numéricos hidrogeológicos .....	201
6.4.1	Introdução .....	201
6.4.2	Modelos numéricos hidrogeológicos para aplicações em desaguamento à escala de mina .....	202
6.4.2.1	Generalidades .....	202
6.4.2.2	Necessidade e aplicabilidade de um modelo numérico a escala de mina .....	202
6.4.2.3	Códigos numéricos disponíveis .....	203
6.4.2.4	Aplicação de modelos hidrogeológicos para drenagem de minas e projeto de taludes .....	204
6.4.3	Modelagem numérica a escala de talude da cava .....	206
6.4.4	Modelagem numérica da poropressão de talude de cava .....	208
6.4.4.1	Requisitos do modelo de poropressões específicas do talude da cava .....	208
6.4.4.2	Objetivos da modelagem de despressurização de talude .....	209
6.4.4.3	Modelagem em 2D .....	210
6.4.4.4	Modelos de fatias .....	211
6.4.4.5	Modelos 3D .....	213
6.4.5	Acoplamento de modelos geotécnicos e de poropressão .....	213
6.5	Implementação de um programa de despressurização de talude .....	215
6.5.1	Drenagem geral de mina .....	215
6.5.2	Programas específicos para o controle das pressões no talude da cava .....	215
6.5.2.1	Métodos de despressurização de taludes .....	215
6.5.2.2	Surgências de água para o talude: Categoria 1 .....	215
6.5.2.3	Instalação de drenos de gravidade no talude da cava: Categoria 2 .....	217
6.5.2.4	Poços de bombeamento localizados: Categoria 3 .....	220
6.5.2.5	Túneis de drenagem subterrânea: Categoria 4 .....	222
6.5.3	Seleção de um método de despressurização de taludes .....	226
6.5.4	Uso de desmonte para abrir caminhos de drenagem .....	226
6.5.5	Gerenciamento e controle da água .....	226
6.5.5.1	Gerenciamento da água na mina .....	226
6.5.5.2	Controle das águas superficiais .....	227
6.6	Áreas de pesquisas futuras .....	229
6.6.1	Introdução .....	229
6.6.2	Comportamento relativo da poropressão entre fraturas de alta e de baixa ordem .....	230
6.6.3	Normalização da interação entre a poropressão e os modelos geotécnicos .....	231
6.6.4	Investigação de poropressões transitórias .....	231
6.6.5	Acoplamento de modelagem de poropressão e geotécnica .....	232
<b>7.</b>	<b>MODELO GEOTÉCNICO .....</b>	<b>235</b>
	<i>Alan Guest e John Read</i>	
7.1	Introdução .....	235
7.2	Construindo o modelo geotécnico .....	235
7.2.1	Saídas requeridas .....	235
7.2.2	Desenvolvimento do modelo .....	236
7.2.3	Construindo o modelo .....	236
7.2.4	Abordagem para modelagem de bloco .....	239
7.3	Aplicando o modelo geotécnico .....	240
7.3.1	Efeitos de escala .....	240
7.3.1.1	Defeitos .....	240
7.3.1.2	Maciço rochoso .....	241
7.3.2	Sistemas de classificação .....	244
7.3.3	Critério de resistência de Hoek-Brown do maciço rochoso .....	245
7.3.4	Consideração sobre a poropressão .....	245
<b>8.</b>	<b>INCERTEZA DOS DADOS .....</b>	<b>249</b>
	<i>John Read</i>	
8.1	Introdução .....	249
8.2	Causas de incerteza de dados .....	249
8.3	Impacto da incerteza dos dados .....	249
8.4	Quantificando a incerteza dos dados .....	250
8.4.1	Visão geral .....	250
8.4.2	Avaliação subjetiva .....	251
8.4.3	Conceitos de frequência relativa .....	252
8.5	Relatando a incerteza de dados .....	252
8.5.1	Sistema de relatórios geotécnicos .....	252

8.5.1.1	Etapa conceitual (Nível 1)	254
8.5.1.2	Etapa de pré-viabilidade (Nível 2)	254
8.5.1.3	Etapa de viabilidade (Nível 3)	254
8.5.1.4	Etapa de projeto e construção (Nível 4)	254
8.5.1.5	Etapa/Fase de operações (Nível 5)	255
8.5.2	Lista de verificação dos critérios de avaliação	255
8.6	Resumo e conclusões	255
<b>9.</b>	<b>CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO</b>	<b>257</b>
	<i>Johan Wesseloo e John Read</i>	
9.1	Introdução	257
9.2	Fator de segurança (FdS=FS)	257
9.2.1	FdS como critério de projeto	257
9.2.2	Fatores de segurança toleráveis	259
9.3	Probabilidade de ruptura (PdR)	259
9.3.1	PdR como critério de projeto	259
9.3.2	Níveis aceitáveis de PdR	260
9.4	Modelo de risco	262
9.4.1	Introdução	262
9.4.2	Análise de custo-benefício	264
9.4.3	Processo de modelo de risco	264
9.4.3.1	Análises de árvore de falhas – “Fault tree analyses” (FTA)	265
9.4.3.2	Análises de árvore de eventos – “Event tree analyses” (ETA)	266
9.4.3.3	Análises de risco/consequência	268
9.4.4	Formulação de critérios de aceitação	268
9.4.4.1	Fatalidades e lesões	268
9.4.4.2	Perda econômica e força maior	271
9.4.5	Ângulos do talude e níveis de confiança	271
9.4.5.1	Nível 1: Ângulo conceitual do talude	271
9.4.5.2	Nível 2: Ângulo do talude na pré-viabilidade	271
9.4.5.3	Nível 3: Ângulo do talude na viabilidade	272
9.4.5.4	Nível 4: Ângulo do talude no projeto e construção	272
9.5	Sumário	272
<b>10.</b>	<b>MÉTODOS DE PROJETO DE TALUDES</b>	<b>275</b>
	<i>Loren Lorig, Peter Stacey e John Read</i>	
10.1	Introdução	275
10.1.1	Etapas de projeto	275
10.1.2	Análises de projeto	276
10.2	Análises cinemáticas	277
10.2.1	Bancadas	277
10.2.1.1	Altura da bancada	278
10.2.1.2	Largura de bancadas	278
10.2.1.3	Ângulo da face da bancada	279
10.2.1.4	Tombamento de bancada	281
10.2.2	Talude inter-rampa (entre rampas)	282
10.2.2.1	Altura do talude inter-rampa	282
10.2.2.2	Ângulo de taludes inter-rampa	283
10.2.2.3	Tombamentos de taludes inter-rampas	283
10.3	Análises do maciço rochoso	284
10.3.1	Visão geral	284
10.3.2	Métodos empíricos	284
10.3.2.1	Gráficos de ângulo de talude versus altura de taludes	284
10.3.2.2	Gráficos empíricos de projeto	286
10.3.3	Métodos de equilíbrio limite	286
10.3.3.1	Método de fatias	286
10.3.3.2	Incorporando pressões de água	288
10.3.3.3	Ábacos de estabilidade de projetos	289
10.3.3.4	Métodos 3D	290
10.3.3.5	Análise sísmica	290
10.3.4	Métodos numéricos	292
10.3.4.1	Modelos contínuos	292
10.3.4.2	Modelos descontínuos	292
10.3.4.3	Considerações sobre modelagem	294
10.3.4.4	Modelos numéricos avançados	298

10.3.4.5	Objetivos de pesquisa .....	300
10.3.5	Resumo das recomendações .....	302
<b>11.</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>305</b>
	<i>Peter Williams, John Floyd, Gideon Chitombo e Trevor Maton</i>	
11.1	Introdução .....	305
11.2	Aspectos de projetos de taludes relacionados ao planejamento de minas .....	305
11.2.1	Introdução .....	305
11.2.2	Filosofia de projeto de taludes de minas a céu aberto .....	305
11.2.3	Processo de projeto de minas a céu aberto .....	307
11.2.4	Aplicação de critérios de projeto de talude no projeto de mina .....	308
11.2.4.1	Nível de identificação do objetivo .....	308
11.2.4.2	Nível 1: Projeto conceitual .....	310
11.2.4.3	Nível 2: Pré-viabilidade .....	311
11.2.4.4	Nível 3: Viabilidade .....	312
11.2.4.5	Nível 4: Projeto e construção .....	313
11.2.4.6	Nível 5: Operações .....	314
11.2.4.7	Fechamento .....	315
11.2.5	Resumo e conclusões .....	316
11.3	Desmorte controlado .....	316
11.3.1	Introdução .....	316
11.3.2	Terminologia de projeto .....	319
11.3.3	Mecanismos de dano por detonação .....	319
11.3.4	Influência da geologia sobre dano induzido por detonação .....	321
11.3.5	Técnicas de desmorte controlado .....	323
11.3.5.1	Detonação com amortecimento .....	324
11.3.5.2	Desmorte de acabamento .....	324
11.3.5.3	O pré-fissuramento ou fissuramento intermediário .....	326
11.3.5.4	Desmorte com pós-fissuramento .....	333
11.3.5.5	Perfuração em linha .....	333
11.3.6	Configurações de retardos .....	335
11.3.7	Implementação do projeto .....	336
11.3.8	Análise e Monitoramento de desempenho .....	337
11.3.8.1	Inspeção pós-detonação .....	340
11.3.8.2	Inspeção pós-escavação e quantificação da massa desmontada .....	340
11.3.9	Refinamento do projeto .....	341
11.3.9.1	Caso 1: Overbreak ao longo de toda a face .....	341
11.3.9.2	Caso 2: Overbreak na parte superior da bancada .....	342
11.3.9.3	Caso 3: Underbreak no pé do talude .....	342
11.3.9.4	Caso 4: Overbreak na crista e underbreak no pé do talude .....	347
11.3.9.5	Caso 5: Sobre-escavação (overbreak) na crista, sub-escavação no pé .....	347
11.3.10	Plataforma de projeto .....	349
11.3.11	Ciclo de planejamento e otimização .....	350
11.3.11.1	Projeto e análise .....	350
11.3.11.2	Implementação e medição de desempenho .....	351
11.3.12	Conclusão .....	354
11.4	Escavação e remoção de material solto .....	354
11.4.1	Escavação .....	355
11.4.2	Remoção do material solto e limpeza da bancada .....	356
11.4.2.1	Remoção de material solto .....	356
11.4.2.2	Limpeza do pé .....	357
11.4.3	Avaliação da execução do projeto de bancada .....	357
11.5	Suporte artificial (dispositivos de estabilização, reforço e/ou contenção) .....	358
11.5.1	Abordagens básicas .....	358
11.5.2	Métodos de estabilização, reparo e suporte .....	359
11.5.3	Considerações de projeto .....	359
11.5.3.1	Projeto de suporte .....	359
11.5.3.2	Tempo de instalação do suporte .....	360
11.5.3.3	Corrosão e vida útil .....	360
11.5.3.4	Controle de qualidade .....	360
11.5.3.5	Limitações dos procedimentos de projeto .....	360
11.5.3.6	Alternativas ao suporte artificial .....	360
11.5.4	Considerações econômicas .....	360
11.5.5	Considerações de segurança .....	362
11.5.6	Situações específicas .....	362
11.5.6.1	Mudanças na geologia .....	362

11.5.6.2	Trabalhos históricos (prévios).....	362
11.5.7	Medidas de reforço.....	362
11.5.7.1	Sistemas de ancoragem de rocha .....	363
11.5.7.2	Muros de contenção .....	365
11.5.7.3	Tratamentos de superfície.....	367
11.5.7.4	Contraforte.....	369
11.5.8	Medidas de proteção contra queda de rochas .....	370
11.5.8.1	Valas e diques .....	370
11.5.8.2	Tela.....	370
11.5.8.3	Cercas de captura .....	371
<b>12.</b>	<b>AValiação DE DESEMPENHO E MONITORAMENTO.....</b>	<b>373</b>
	<i>Mark Hawley, Scott Marisett, Geoff Beale e Peter Stacey</i>	
12.1	Avaliando o desempenho de taludes.....	373
12.1.1	Introdução .....	373
12.1.2	Validação e refinamento do modelo geotécnico.....	373
12.1.2.1	Mapeamento geológico.....	374
12.1.2.2	Mapeamento de bancada.....	374
12.1.2.3	Perfuração complementar .....	375
12.1.3	Desempenho da bancada .....	376
12.1.3.1	Documentação da bancada .....	376
12.1.3.2	Classificação do maciço rochoso.....	377
12.1.3.3	Ângulo da face da bancada.....	377
12.1.3.4	Altura e largura da bancada .....	380
12.1.3.5	Eficácia da berma de segurança .....	380
12.1.3.6	Desmonte .....	381
12.1.3.7	Documentação e retro-análise das rupturas de bancada.....	381
12.1.3.8	Perigos de queda de rochas e zona de contenção (segurança).....	382
12.1.4	Desempenho de talude inter-rampa.....	384
12.1.4.1	As built versus projeto da geometria do talude inter-rampa .....	384
12.1.4.2	Documentação e retroanálise da instabilidade de multibancadas .....	386
12.1.5	Desempenho do talude global.....	387
12.1.5.1	Documentação do talude e comportamento esperado .....	387
12.1.5.2	Instabilidades de taludes em grande escala .....	388
12.1.5.3	Despressurização de taludes e desaguamento da cava.....	388
12.1.6	Resumo e conclusões .....	388
12.2	Monitoramento de talude.....	389
12.2.1	Introdução.....	389
12.2.2	Sistemas de monitoramento de movimento.....	390
12.2.2.1	Introdução .....	390
12.2.2.2	Tipos de instrumentos .....	391
12.2.2.3	Métodos de monitoramento de superfície .....	391
12.2.2.4	Métodos de monitoramento de subsuperfície.....	401
12.2.2.5	Monitoramento da pressão das águas subterrâneas .....	407
12.2.2.6	Sistemas de aquisição de dados.....	410
12.2.3	Guia sobre a execução de programas de monitoramento.....	411
12.2.3.1	Trabalho preparatório.....	412
12.2.3.2	Programa de monitoramento.....	413
12.2.3.3	Coleta, processamento, apresentação, interpretação e relatório de dados da instrumentação.....	416
12.3	Planos de gerenciamento de controle ambiental .....	420
12.3.1	Introdução .....	420
12.3.2	Plano de gerenciamento de perigos .....	420
12.3.2.1	Introdução .....	421
12.3.2.2	Inventário de perigos.....	421
12.3.2.3	Redução de risco.....	423
12.3.2.4	.....	423
12.3.2.5	Procedimentos de resposta a emergências.....	423
12.3.2.6	Funções e responsabilidades geotécnicas operacionais.....	425
12.3.2.7	Registro de eventos, comunicação, treinamento e documentos de controle .....	427
12.3.2.8	Revisão do desempenho .....	428
<b>13.</b>	<b>GERENCIAMENTO DE RISCOS.....</b>	<b>431</b>
	<i>Ted Brown e Alison Booth</i>	
13.1	Introdução.....	431
13.1.1	Contexto.....	431

13.1.2	Finalidade e conteúdo deste capítulo .....	431
13.1.3	Fontes de informação .....	432
13.2	Visão geral da gestão de riscos .....	433
13.2.1	Definições .....	433
13.2.2	Processo geral de gestão de riscos .....	433
13.2.3	Gestão de riscos na indústria mineral .....	434
13.3	Gerenciamento de risco geotécnico para taludes de minas a céu aberto .....	435
13.4	Metodologias de estimativa de risco.....	439
13.4.1	Abordagens para estimativa/ponderação de riscos ( <i>risk assessment</i> ).....	439
13.4.2	Identificação de risco.....	440
13.4.3	Análise de risco .....	442
13.4.3.1	Processo de análise de risco .....	442
13.4.3.2	Ferramentas de análise de risco.....	443
13.4.3.3	Incerteza de dados.....	446
13.4.4	Avaliação de risco .....	446
13.4.4.1	Processo de avaliação de risco .....	446
13.4.4.2	Matrizes de risco .....	447
13.5	Mitigação de riscos .....	448
13.5.1	Visão geral.....	448
13.5.2	Hierarquia de controles .....	450
13.5.3	Medidas de controle geotécnico.....	450
13.5.4	Planos de mitigação.....	451
13.5.5	Monitoramento, revisão e feedback.....	452
<b>14.</b>	<b>FECHAMENTO DE MINA A CÉU ABERTO .....</b>	<b>453</b>
	<i>Dirk van Zyl</i>	
14.1	Introdução .....	453
14.2	Planejamento para fechamento de minas a céu aberto.....	454
14.2.1	Introdução.....	454
14.2.2	Planejamento de fechamento para novas minas.....	455
14.2.3	Plano de fechamento de minas existentes .....	457
14.2.4	Avaliação e gestão de riscos .....	457
14.3	Planejamento de fechamento de mina a céu aberto .....	457
14.3.1	Objetivos e critérios do fechamento .....	458
14.3.1.1	Critérios estabelecidos .....	458
14.3.1.2	Critérios corporativos .....	459
14.3.1.3	Parte interessada não regulatória e critérios de desempenho de fechamento .....	459
14.3.2	Caracterização do local .....	459
14.3.2.1	Clima do local.....	459
14.3.2.2	Hidrologia do local.....	460
14.3.2.3	Geologia e geoquímica do local .....	460
14.3.2.4	Condições geotécnicas.....	461
14.3.2.5	Outras caracterizações .....	461
14.3.3	Características do corpo de minério e abordagem de mineração .....	461
14.3.3.1	Cava cônica única.....	461
14.3.3.2	Cava alongada com enchimento parcial por estéril.....	461
14.3.3.3	Múltiplos cavas mineradas e aterradas sequencialmente .....	461
14.3.4	Desvio de águas superficiais .....	461
14.3.5	Balanco hídrico da cava .....	462
14.3.6	Qualidade da água do lago da cava.....	462
14.3.7	Avaliação de risco ecológico .....	464
14.3.8	Estabilidade dos taludes da cava.....	464
14.3.9	Acesso à cava.....	465
14.3.10	Realidade do fechamento de mina a céu aberto .....	465
14.4	Atividades de fechamento de minas a céu aberto e monitoramento pós-fechamento .....	466
14.4.1	Atividades de fechamento.....	466
14.4.2	Monitoramento pós-fechamento .....	466
14.5	Conclusões.....	466
	Notas finais .....	467
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>Coleta de Dados de Águas Subterrâneas .....</b>	<b>469</b>
<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>Fundamentos teóricos de estatística e probabilidade .....</b>	<b>487</b>

<b>APÊNDICE 3</b> .....	495
Influência das tensões <i>in situ</i> no projeto de cavas a céu aberto <i>Evert Hoek, Jean Hutchinson, Kathy Kalenchuk e Mark Diederichs</i>	
<b>APÊNDICE 4</b> .....	505
Gerenciamento de risco: lista de verificações de perigos geotécnicos (Cortesia da Anglo American plc)	
<b>APÊNDICE 5</b> .....	517
Exemplos de regulamentos para o fechamento de minas a céu aberto	
<i>Terminologia e definições</i> .....	521
<i>Referências</i> .....	527
<i>Índice</i> .....	547