

GUIA PARA  
**MONITORAMENTO  
DE TALUDES**

*GUIDELINES FOR SLOPE PERFORMANCE MONITORING*

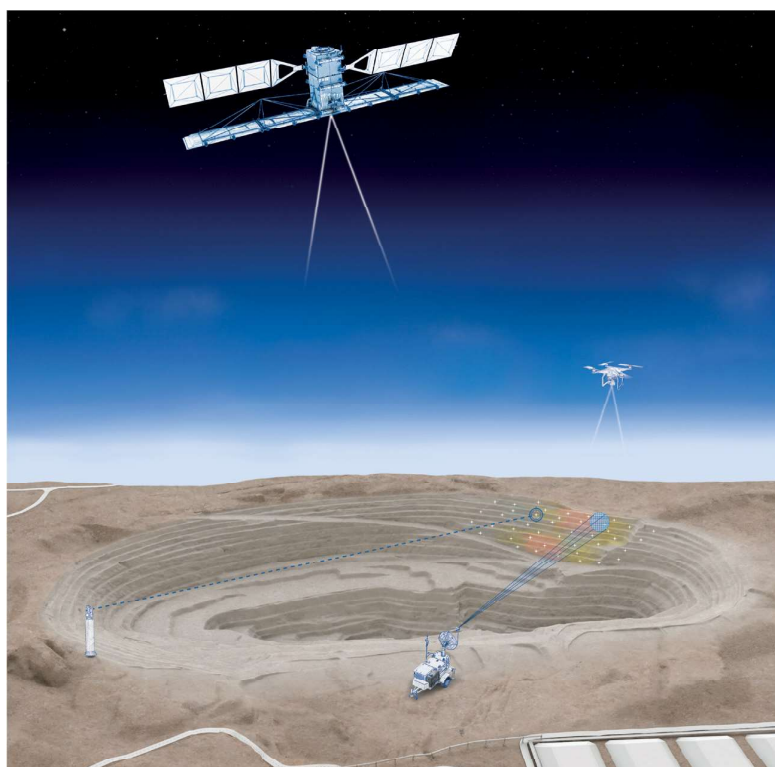




Editores: **Robert Sharon** e **Erik Eberhardt**

GUIA PARA  
**MONITORAMENTO  
DE TALUDES**

*GUIDELINES FOR SLOPE PERFORMANCE MONITORING*



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



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

São Paulo, 2024



2024, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE  
Av. Professor Almeida Prado, 532 – Prédio 59  
Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP: 05508-901

*Impresso no Brasil*

**Editores**

Robert Sharon e Erik Eberhardt

**Projeto Gráfico, Diagramação e Capa**

Rita Motta, André L. Dias – Editora Tribo da Ilha

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

Guia para monitoramento de taludes = Guidelines  
for slope performance monitoring / [coordenação  
Delfino Luiz Gouveia Gambetti ; editores Erik  
Eberhardt, Robert Sharon]. -- 1. ed. -- São  
Paulo : ABGE, 2024.

Edição bilíngue: português/inglês.  
Bibliografia  
ISBN 978-65-88460-26-9

1. Cava - Projeto e construção 2. Engenharia de  
minas 3. Mineração 4. Monitoramento ambiental  
5. Taludes (Mecânica dos solos) I. Gambetti, Delfino  
Luiz Gouveia. II. Eberhardt, Erik. III. Sharon,  
Robert.

24-194428

CDD-624.15

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Cava : Gestão de riscos geotécnicos :  
Prevenção 624.15

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Originalmente publicado na Austrália

Como: GUIDELINES FOR SLOPE PERFORMANCE MONITORING

Por Editora CSIRO

Direito autoral de Robert Sharon e Erik Eberhardt. 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.....	13
Prefácio e agradecimentos.....	15
<b>1. ESCOPO E INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<i>Robert Sharon, Peter Stacey</i>	
1.1 Introdução.....	19
1.2 Histórico .....	20
1.3 Evitando imprevistos .....	22
1.4 Terminologia.....	23
1.4.1 Configurações de taludes.....	23
1.4.2 Movimentações de taludes .....	23
1.4.3 Convenções técnicas, definições e abreviações .....	23
<b>2. DESCRIÇÃO GERAL DO MONITORAMENTO DE TALUDES .....</b>	<b>25</b>
<i>Erik Eberhardt, Mike Ness, David Noon, Eric Schwarz, Peter Stacey</i>	
2.1 Introdução.....	25
2.2 Componentes de um programa de monitoramento de taludes.....	26
2.3 Histórico do monitoramento de taludes de mina .....	26
2.3.1 Descrição geral.....	26
2.3.2 Monitoramento de taludes no passado.....	26
2.3.3 Monitoramento por levantamento geodésico .....	27
2.3.4 Radar de monitoramento de taludes .....	28
2.3.5 Métodos de sensoriamento remoto .....	29
2.3.5.1 Métodos de sensoriamento remoto terrestre .....	29
2.3.5.2 Métodos de sensoriamento remoto aerotransportado e por satélites.....	30
2.3.6 Sistemas de monitoramento em subsuperfície .....	31
2.3.6.1 Inclínômetros .....	31
2.3.6.2 Cabos TDR.....	32
2.4 Status atual do monitoramento de taludes.....	32
2.5 Papel na mina .....	32
2.5.1 Descrição geral.....	32
2.5.2 Abordagem observacional na mineração .....	33
2.5.3 Integração com as operações.....	33
2.6 Planos de gestão e controle do terreno.....	34
<b>3. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>37</b>
<i>Alex Bals, Geoff Beale, Pierre Choquet, Sharla Coetsee, Niccolò Coli, Davide Colombo, Ashley Creighton, John Davis, Jan deBeer, Willem de Beer, Adeline Delonca, Phil Dight, Erik Eberhardt, Giacomo Falorni, John Floyd, Idalina Garoes, Emrich Hamman, Ben Haugen, P. Mark Hawley, Sean Jefferys, Jon Leighton, Lorenzo Leoni, Ernest Lötter, Xun Luo, James Mathis, Naani Mphathiwa, Leon Nel, Mike Ness, Alex Neuwirt, David Noon, Alex Pienaar, Marc Ruest, David Rutledge, Peter Saunders, Robert Sharon, Simon Steffen, P.W. van der Walt, Eleonora Widzyk-Capehart</i>	
3.1 Introdução.....	37
3.2 Detecção de movimento .....	38
3.2.1 Descrição Geral.....	38
3.2.2 Inspeções visuais .....	38
3.2.3 Monitoramento de trincas transversais e indicadores .....	39
3.2.4 Extensômetros de fio.....	40
3.2.5 Nivelamento de precisão .....	41
3.2.6 Sistemas de medição de distância a laser .....	42
3.2.7 Tiltímetros .....	42
3.3 Monitoramento de deslocamento: medição de pontos .....	42
3.3.1 Descrição Geral.....	42
3.3.2 Levantamentos por estação total .....	43
3.3.2.1 Estações totais.....	43
3.3.2.2 Prismas.....	44



3.3.3	Estações totais robóticas (ETR)	44
3.3.4	GPS e GNSS	45
3.3.4.1	A constelação GPS	45
3.3.4.2	A antena GPS	46
3.3.4.3	O receptor GPS	47
3.3.4.4	Dependências	50
3.4	Monitoramento de deslocamentos: medições totalmente espaciais	51
3.4.1	Descrição geral	51
3.4.2	Radar terrestre (GB)	51
3.4.2.1	Como o Radar funciona	51
3.4.2.2	Limitações e correções de medição	52
3.4.2.3	Aberturas reais e sintéticas	54
3.4.2.4	Resolução e faixa de velocidades detectáveis	55
3.4.3	Scanners a laser terrestres: LiDAR	55
3.4.3.1	Precisão e escala de interesse	55
3.4.3.2	Limitações de utilização e medição	56
3.4.3.3	Software	57
3.4.4	Fotogrametria digital	58
3.4.4.1	Capacidades e limitações	58
3.4.4.2	Como funciona a fotogrametria	58
3.4.4.3	Efeitos da técnica de modelagem	59
3.4.4.4	Monitoramento de taludes	60
3.5	Monitoramento de deslocamento: medições em toda a área	60
3.5.1	Descrição geral	60
3.5.2	Veículos aéreos não tripulados (drones)	61
3.5.2.1	Exatidão e precisão	61
3.5.2.2	Planejamento de voo	61
3.5.3	Radar a bordo de satélite	64
3.5.3.1	Constelações de satélites	64
3.5.3.2	Princípios técnicos básicos	65
3.5.3.3	Processamento de dados SAR	66
3.5.3.4	Alvos do InSAR	67
3.5.3.5	Monitoramento de movimentos rápidos	68
3.6	Monitoramento de deformação em subsuperfície	69
3.6.1	Descrição geral	69
3.6.2	Reflectometria no domínio do tempo	70
3.6.3	Inclinômetros	71
3.6.4	Shape accelerometer arrays (Conjuntos de acelerômetros de forma)	73
3.6.5	Smart Markers (Marcadores inteligentes)	74
3.6.5.1	Funcionalidade e princípios de medição	75
3.6.5.2	Desempenho do sistema	75
3.7	Monitoramento e gestão de águas superficiais	76
3.7.1	Descrição geral	76
3.7.2	Monitoramento meteorológico	76
3.7.2.1	Tipos de dados	77
3.7.2.2	Fontes de dados	78
3.7.2.3	Requisito de registro diário das variáveis climáticas	78
3.7.2.4	Influência das condições de congelamento	78
3.7.3	Monitoramento de águas superficiais na cava	79
3.7.3.1	Controle de escoamento superficial	79
3.7.3.2	Planejamento do programa de monitoramento	79
3.7.3.3	Componentes do sistema de monitoramento	80
3.8	Monitoramento de águas subterrâneas	81
3.8.1	Descrição geral	81
3.8.2	Furos de observação abertos	82
3.8.3	Piezômetros de tubo aberto	82
3.8.4	Piezômetros de tubo vertical multinível	83
3.8.5	Piezômetros de corda vibrante	83
3.8.5.1	Piezômetros de corda vibrante multinível vedados (VWPS)	84
3.8.5.2	Instalação de piezômetro de tubo aberto vertical vs. piezômetro de corda vibrante	84
3.8.5.3	Instalações de combinação de piezômetros	85
3.8.6	Piezômetros horizontais	85
3.8.7	Piezômetros Westbay	86
3.9	Monitoramento geofísico	86
3.9.1	Monitoramento do desempenho do desmonte	86
3.9.1.1	Observações	87
3.9.1.2	Monitoramento de vibrações	88
3.9.1.3	Pulso de pressão	91





3.9.2	Monitoramento microssísmico .....	91
3.9.2.1	Princípios de funcionamento .....	92
3.9.2.2	Possibilidades de uso em cavas .....	92
3.9.2.3	Desafios e limitações .....	93
3.9.2.4	Disparo .....	94
3.9.2.5	Associação .....	95
3.9.2.6	Projeto de rede .....	96
<b>4.</b>	<b>REQUISITOS DE MONITORAMENTO, LIMITAÇÕES E APLICAÇÕES .....</b>	<b>99</b>
	<i>Chris Audigé, Alex Bals, Geoff Beale, Sharla Coetsee, Niccolò Coli, Davide Colombo, Ashley Creighton, Jan deBeer, Phil de Graaf, Phil Dight, Erik Eberhardt, Chris Fagan, Giacomo Falorni, Emrich Hamman, Ben Haugen, P. Mark Hawley, Graham Hunter, Jon Leighton, Lorenzo Leoni, Naani Mphathiwa, Leon Nel, David Noon, Verne Pere, Alex Pienaar, Cliff Preston, Orapeleng Randall, Nick Rose, David Rutledge, Peter Saunders, Eric Schwarz, Robert Sharon, Peter Stacey, Fanie Wessels</i>	
4.1	Introdução .....	99
4.2	Requisitos e considerações de projeto do sistema .....	99
4.2.1	Descrição geral .....	99
4.2.2	Considerações de projeto do sistema .....	100
4.2.3	Uso de uma abordagem baseada em risco para racionalizar o projeto do sistema de monitoramento .....	101
4.2.4	Monitoramento estratégico vs. tático .....	102
4.2.5	Seleção de métodos de monitoramento .....	103
4.2.6	Sistema integrado de monitoramento de taludes .....	103
4.2.6.1	Requisitos .....	103
4.2.6.2	O caso de um sistema integrado de monitoramento de taludes .....	104
4.2.7	Georreferenciamento .....	105
4.2.7.1	Importância .....	105
4.2.7.2	Dados georreferenciados e DTMs .....	107
4.2.8	Potenciais modos de ruptura .....	107
4.2.9	Monitoramento de queda de blocos e instabilidade em escala de bancada .....	108
4.2.10	Resumo dos recursos e limitações dos principais sistemas de monitoramento de taludes .....	110
4.3	Aplicação: monitoramento geodésico .....	110
4.3.1	Descrição geral .....	110
4.3.2	Rede de referenciamento para levantamentos e layout do sistema .....	112
4.3.3	Projeto e construção da rede de referenciamento .....	113
4.3.4	Projeto e construção de marcos de levantamento .....	114
4.3.5	Impactos atmosféricos no projeto do sistema de monitoramento de taludes .....	114
4.3.5.1	Sensores Meteorológicos .....	114
4.3.5.2	Como a temperatura e a pressão afetam as medições eletrônicas de distância .....	115
4.3.5.3	Como as correções atmosféricas são aplicadas às medições eletrônicas de distância .....	116
4.3.5.4	Abordagem alternativa para correções atmosféricas .....	117
4.3.5.5	Resumo .....	118
4.3.6	Análise e interpretação de dados de monitoramento geodésico .....	118
4.4	Aplicação: Radar terrestre .....	120
4.4.1	Descrição geral .....	120
4.4.2	Interpretação de dados de Radar terrestre .....	121
4.4.2.1	Efeito da geologia e estrutura locais na estabilidade .....	121
4.4.2.2	Efeito do desmonte na estabilidade .....	122
4.4.2.3	Deformação do talude provocada por atividades de mineração .....	123
4.4.3	Configurações de monitoramento de alarme crítico em termos de segurança .....	123
4.4.3.1	Descrição geral .....	123
4.4.3.2	Geometria da cava e medições de Radar: o fator de escala .....	125
4.4.3.3	Cálculo e aplicação do fator de escala ao movimento do talude .....	126
4.4.4	Exemplo de aplicação de cobertura de varredura para monitoramento de vigilância .....	127
4.5	Aplicação: satélite InSAR .....	128
4.5.1	Descrição geral .....	128
4.5.2	Recursos e limitações .....	128
4.5.3	Distorção geométrica .....	129
4.5.4	Coerência .....	129
4.5.5	Sensibilidade de deslocamento .....	130
4.5.6	Ambiguidade de fase .....	130
4.5.7	Estudo de caso: mina Grasberg, Indonésia .....	130
4.5.8	Estudo de caso: mina na América do Sul .....	131
4.6	Aplicação: scanners a laser .....	132
4.6.1	Descrição geral .....	132
4.6.2	Resolução espacial .....	133
4.6.3	Confiabilidade .....	133
4.6.4	Velocidade .....	133





4.6.5	Aplicações em monitoramento de comportamento e mapeamento de taludes .....	134
4.6.5.1	<i>Detecção de mudança</i> .....	134
4.6.5.2	<i>Plano de fogo e análise do desmonte</i> .....	134
4.6.5.3	<i>Monitoramento automatizado e em tempo real</i> .....	135
4.6.5.4	<i>Localização de queda de rochas e análise do tamanho dos blocos</i> .....	135
4.6.5.5	<i>Rupturas contínuas e por deslizamento lento</i> .....	136
4.6.5.6	<i>Alarmes críticos</i> .....	136
4.6.5.7	<i>Apoio ao monitoramento baseado em risco</i> .....	136
4.6.5.8	<i>Conformidade com o projeto</i> .....	137
4.6.5.9	<i>Análise estrutural 3D</i> .....	138
4.7	Aplicação: monitoramento de águas subterrâneas .....	138
4.7.1	Descrição geral.....	138
4.7.2	Tipos de instalações para monitoramento .....	139
4.7.3	Integração entre hidrogeologia e monitoramento geotécnico.....	140
4.7.3.1	<i>Instalações combinadas de piezômetros de corda vibrante e inclinômetros</i> .....	140
4.7.3.2	<i>Instalações combinadas de piezômetros de corda vibrante e outros instrumentos geotécnicos</i> .....	140
4.7.4	Apresentação dos dados de monitoramento hidrogeológico .....	141
4.7.4.1	<i>Mapas de nível d'água</i> .....	141
4.7.4.2	<i>Hidrogramas de piezômetros</i> .....	143
4.7.4.3	<i>Hidrogramas de vazão</i> .....	144
4.7.4.4	<i>Seções transversais</i> .....	144
4.7.4.5	<i>Apresentação de dados compostos</i> .....	145
4.7.5	Definição do programa de monitoramento .....	146
4.7.6	Monitoramento de poropressão transiente .....	147
4.8	Aplicação: monitoramento microsísmico .....	148
4.8.1	Descrição geral.....	148
4.8.2	Estudo de caso: mina de ouro Sunrise Dam – Cava Cleo .....	148
4.8.3	Estudo de caso: mina de ouro Navachab .....	150
4.8.4	Estudo de caso: mina de urânio Rössing .....	152

## 5. SUPORTE E OPERAÇÃO DO SISTEMA: ASPECTOS PRÁTICOS .....

*David Ball, Johan Bergé, Niccolò Coli, Derek Hrubes, Lorenzo Leoni, Graeme Major, Michael Ness, Warren Newcomen, David Noon, Cliff Preston, Peter Saunders, Eric Schwarz, Robert Sharon, Peter Stacey*

5.1	Considerações operacionais da mina .....	155
5.1.1	Descrição geral.....	155
5.1.2	Ambiente de trabalho operacional da mina .....	155
5.1.3	Estabilidade no ambiente operacional da mina.....	158
5.1.3.1	<i>Definição e interpretação de estabilidade</i> .....	158
5.1.3.2	<i>Queda de rochas e instabilidade de pequena escala</i> .....	159
5.1.4	Aspectos econômicos da estabilidade em minas.....	160
5.1.5	Disposição da instrumentação em uma cava .....	164
5.1.5.1	<i>Perspectiva histórica</i> .....	164
5.1.5.2	<i>Considerações sobre o arranjo da instrumentação de monitoramento</i> .....	167
5.1.5.3	<i>Layout de instrumentação para instabilidades existentes</i> .....	167
5.1.5.4	<i>Layout de instrumentação para detecção de novas instabilidades</i> .....	168
5.1.6	Considerações sobre locais de estações de monitoramento .....	169
5.2	Proteção e confiabilidade dos equipamentos.....	170
5.2.1	Descrição geral.....	170
5.2.2	Recintos e cabines .....	170
5.2.2.1	<i>Controle climático e proteção contra descargas atmosféricas</i> .....	172
5.2.2.2	<i>Fonte de alimentação</i> .....	172
5.2.2.3	<i>Transmissão de dados/telemetria</i> .....	173
5.2.3	Requisitos de manutenção preventiva.....	174
5.2.4	Calibração e revisão de equipamentos.....	175
5.2.5	Considerações para minas em regiões de clima frio.....	175
5.2.5.1	<i>Minas em regiões de clima frio</i> .....	175
5.2.5.2	<i>Proteção contra o frio</i> .....	177
5.2.5.3	<i>Design dos prismas</i> .....	178
5.2.5.4	<i>Instrumentos para instalação em furos e registradores de dados</i> .....	178
5.2.5.5	<i>Satélite InSAR</i> .....	179
5.3	Pessoal e organização do programa de monitoramento.....	179
5.3.1	Descrição geral.....	179
5.3.2	Organização do programa de monitoramento .....	179
5.3.3	Habilidades e competências .....	179
5.3.4	Treinamento para engenheiros e técnicos .....	182
5.3.5	Terceirização: prós e contras .....	182







5.4	Interação com operações .....	182
5.4.1	Descrição geral.....	182
5.4.2	Centros de controle .....	183
5.4.3	Comunicações regulares.....	183
5.4.4	Suporte operacional para monitoramento.....	185
<b>6.</b>	<b>AQUISIÇÃO, TRANSMISSÃO, VALIDAÇÃO, E GESTÃO DE DADOS .....</b>	<b>187</b>
<i>Phil de Graaf, Erik Eberhardt, Alex Neuwirt, Fanie Wessels</i>		
6.1	Introdução.....	187
6.2	Comunicações de dados .....	187
6.2.1	Descrição geral.....	187
6.2.2	Sistemas com fio.....	190
6.2.3	Wi-Fi .....	190
6.2.4	Comunicação via rádio.....	191
6.2.5	Outros sistemas de comunicação.....	191
6.2.5.1	Micro-ondas.....	191
6.2.5.2	Satélite .....	191
6.2.5.3	Tecnologias de telefonia celular .....	193
6.2.6	Requisitos de rede .....	194
6.2.7	Limitações e precauções.....	194
6.2.8	Desenvolvimentos futuros.....	194
6.3	Gestão e tratamento de dados .....	195
6.3.1	Descrição geral.....	195
6.3.2	Requisitos de armazenamento de dados .....	195
6.3.3	Tecnologias .....	196
6.3.4	Relatório de dados.....	197
6.3.5	Desafios.....	200
6.4	Validação e confiabilidade dos dados .....	200
6.4.1	Descrição geral.....	200
6.4.2	Confiabilidade dos dados .....	201
6.4.3	Resolução.....	202
6.4.4	Exatidão.....	202
6.4.5	Precisão.....	202
6.4.6	Fundo de escala (intervalo de medição).....	203
6.4.7	Erros .....	203
6.4.8	Gerenciando ruído de dados .....	204
6.4.9	Tendências de longo prazo e continuidade (persistência) de dados .....	206
6.4.9.1	Estudo de caso 1: talude de mina de cobre.....	206
6.4.9.2	Estudo de caso 2: talude na lapa (footwall) de mina de carvão.....	207
6.4.9.3	Estudo de caso 3: talude de mina de cobre pórfiro.....	208
6.4.9.4	Estudo de caso 4: talude de mina de ferro.....	209
6.4.9.5	Estudo de caso 5: talude em operação de lavra por tiras com dragline.....	210
6.4.10	Disponibilidade do sistema.....	211
6.4.11	Redundância de dados .....	214
<b>7.</b>	<b>ANÁLISE E UTILIZAÇÃO DOS DADOS .....</b>	<b>217</b>
<i>Jorge Armstrong, Eric Audigé, Niccolò Coli, Erik Eberhardt, Chris Fagan, Paolo Farina, James Jung, Tatyana Katsaga, Lorenzo Leoni, Loren Lorig, Mike Ness, Alex Neuwirt, Cliff Preston, Marc Ruest, Eric Schwarz, Robert Sharon, Peter Stacey</i>		
7.1	Introdução.....	217
7.2	Análise básica de dados .....	217
7.2.1	Visão geral.....	217
7.2.2	Dados pontuais <i>versus</i> dados de área .....	218
7.2.3	1D versus 3D.....	218
7.3	Visualização dos dados.....	218
7.3.1	Visão geral.....	218
7.3.2	Visualização 2D .....	219
7.3.3	Visualização 3D .....	220
7.4	Monitoramento integrado.....	220
7.4.1	Importância e utilidade de vários dispositivos de monitoramento .....	220
7.4.2	Vantagens da integração.....	221
7.4.3	Desafios da integração.....	222
7.4.4	Benefícios da integração de vários tipos de dados .....	223
7.4.5	Importância de se confirmar a confiabilidade dos dados.....	225
7.5	Análise de tendências.....	226
7.5.1	A importância do monitoramento de longo prazo.....	226





7.5.2	Padrões de movimentação de taludes: generalidades.....	226
7.5.3	Padrões de movimento: sua importância e o seu significado para a engenharia de taludes.....	228
7.5.4	Estimativa de tempo até a ruptura.....	229
7.5.5	Análise do tempo até a ruptura adaptada ao Radar terrestre.....	230
7.6	Utilização de dados de monitoramento no desenvolvimento dos projetos.....	234
7.6.1	Conciliação geotécnica.....	234
7.6.1.1	Planejamento de lavra.....	234
7.6.1.2	Confirmação do projeto de taludes a partir dos dados de monitoramento.....	234
7.6.1.3	Monitoramento do comportamento de taludes para reconciliação de projeto.....	235
7.6.2	Interpretação do mecanismo de ruptura.....	236
7.6.3	Estimativa dos limites de ruptura a partir do monitoramento de superfície.....	237
7.6.4	Interpretação de mecanismos de ruptura a partir de dados estruturais e monitoramento com Radar.....	240
7.7	Combinação de dados de monitoramento com modelagem numérica.....	242
7.7.1	Visão geral.....	242
7.7.2	Fundamentos básicos de modelagem numérica.....	242
7.7.3	Uso de dados de monitoramento na configuração do modelo.....	243
7.7.4	Uso de dados do monitoramento na calibração.....	243
7.7.5	Uso de dados de monitoramento para conciliação com as previsões do modelo.....	246
7.7.6	Usando modelos para otimizar o layout da instrumentação.....	247
7.7.7	Compreensão dos mecanismos de ruptura fundamentais por meio de modelos numéricos.....	248
7.7.7.1	Rupturas envolvendo a trama geológico estrutural - fabric (geologic structural fabric).....	248
7.7.7.2	Rupturas envolvendo o desenvolvimento de uma superfície na matriz do maciço rochoso.....	249
7.7.7.3	Ruptura por mecanismo step-path (rupturas em degraus) desenvolvido ao longo de juntas e cisalhamento através do maciço rochoso.....	249
<b>8.</b>	<b>UTILIZAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE DADOS.....</b>	<b>251</b>
	<i>Phil de Graaf, Pat Jenks, Jeff Mattern, Mike Ness, Alex Pienaar, Nick Rose, Eric Schwarz, Robert Sharon, Ryan Turner, Fanie Wessels</i>	
8.1	Introdução.....	251
8.2	Método observacional.....	251
8.3	Avaliação de estabilidade no plano de lavra.....	252
8.4	Alarmes de instabilidades e rupturas.....	252
8.4.1	Descrição geral.....	252
8.4.2	Tipos de alarmes, níveis de alarme e acionamentos.....	252
8.4.3	Configuração de alarmes e limites.....	253
8.4.4	Método da velocidade inversa e alarmes de eventos.....	254
8.4.5	Cuidados com as configurações de alarme.....	256
8.5	Aspectos práticos do gerenciamento de alarmes e ações de resposta.....	256
8.5.1	Plano de ativação de ações de resposta (TARP).....	256
8.5.2	Níveis de alerta.....	257
8.5.3	Processos do plano de ativação de ações de resposta.....	262
8.5.4	Efeito das limitações da instrumentação nos TARPs.....	267
8.5.5	Interface com o plano de atendimento a emergências – “emergency preparedness response plan” (EPRP).....	268
8.6	Relatórios de monitoramento.....	268
8.6.1	Procedimentos.....	268
8.6.2	Coleta e gestão de dados.....	268
8.6.3	Processamento e apresentação dos dados.....	269
8.6.3.1	Descrição geral.....	269
8.6.3.2	Responsabilidade pelo processamento e interpretação dos dados.....	269
8.6.3.3	Análise automatizada dos dados.....	269
8.6.3.4	Uso de mapas para apresentação de dados.....	269
8.6.3.5	Relatórios com resultados, conclusões e recomendações.....	270
8.7	Deveres, cuidados e uso externo das informações de monitoramento.....	270
8.7.1	Descrição geral.....	270
8.7.2	Deveres e cuidados.....	270
8.7.3	Uso externo de informações de monitoramento.....	271
<b>9.</b>	<b>MONITORAMENTO EM PEQUENAS MINAS, ESTRUTURAS DE ARMAZENAMENTO DE REJEITOS, PILHAS E ESTÉRIL E OUTRAS ESTRUTURAS PRÓXIMAS ÀS CAVAS.....</b>	<b>273</b>
	<i>Geoff Beale, Henry Chivaye, Paolo Farina, Mark Hawley, James Hogarth, M. Kim McCarter, Mike Ness, Marc Ruest, Robert Sharon, Michael Shelbourn, Peter Stacey, Ryan Turner, David Williams, Rocky Wu</i>	
9.1	Introdução.....	273
9.2	Pequenas minas com orçamentos limitados.....	274
9.2.1	Descrição geral.....	274
9.2.2	Programa básico de monitoramento.....	274



9.2.2.1	Confirmação do modelo de projeto .....	274
9.2.2.2	Monitoramento de deformações do talude.....	274
9.2.2.3	Inspeções visuais.....	275
9.2.2.4	Monitoramento estratégico e tático .....	275
9.2.3	Possibilidade de expansão do sistema.....	275
9.3	Monitoramento de estruturas de armazenamento de rejeitos (EAR).....	276
9.3.1	Descrição geral.....	276
9.3.2	Monitoramento de desempenho .....	276
9.3.2.1	Monitoramento de poropressões.....	276
9.3.2.2	Monitoramento de deformação.....	277
9.3.2.3	Monitoramento por varredura a laser (scanner) .....	277
9.3.2.4	Imageamento térmico .....	277
9.3.2.5	Monitoramento por Radar terrestre (GB) .....	277
9.3.2.6	Monitoramento por Radar embarcado em satélite.....	278
9.3.2.7	Outros componentes do monitoramento.....	279
9.3.3	Sismicidade .....	279
9.3.4	Liquefação.....	281
9.3.5	Gerenciamento e manutenção do sistema de monitoramento.....	281
9.4	Monitoramento de Pilhas de Estéril e de Produtos .....	281
9.4.1	Descrição geral.....	281
9.4.2	Inspeções visuais .....	282
9.4.3	Sistemas de monitoramento de deslocamento .....	283
9.4.4	Monitoramento de águas superficiais e subterrâneas.....	284
9.4.4.1	Considerações gerais.....	284
9.4.4.2	Tipos de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas .....	284
9.4.4.3	Monitoramento de poropressões.....	285
9.4.5	Programa de monitoramento, avaliação de dados e resposta .....	286
9.4.5.1	Considerações gerais.....	286
9.4.5.2	Programa de monitoramento.....	286
9.4.5.3	Avaliação e apresentação dos dados.....	286
9.4.5.4	Plano de Ativação de Ações de Resposta (TARP) .....	288
9.5	Monitoramento geotécnico da infraestrutura de mina.....	288
9.5.1	Descrição geral.....	288
9.5.2	Estudo de caso 1: mina de Jwaneng .....	288
9.5.2.1	Descrição geral .....	288
9.5.2.2	Componentes do sistema de monitoramento.....	290
9.5.2.3	Sistema de monitoramento geodésico .....	291
9.5.2.4	Instrumentação de sensoriamento remoto .....	294
9.5.2.5	Sensores geotécnicos .....	296
9.5.2.6	Visualização e gerenciamento integrado de dados de monitoramento de taludes.....	298
9.5.3	Estudo de caso 2: mina Golden Sunlight.....	298
9.5.3.1	Descrição geral .....	298
9.5.3.2	Mina a céu aberto e o talude oeste .....	299
9.5.3.3	Mina subterrânea .....	300
9.5.3.4	Instabilidade do talude oeste.....	301
9.5.3.5	Gestão e mitigação de riscos.....	302
9.5.3.6	Monitoramento e instrumentação.....	302
9.5.3.7	Integração da instrumentação das cavas e minas subterrâneas.....	304
9.5.3.8	Comunicações aos operadores da mina .....	305
9.5.3.9	Plano de ativação de ações de resposta (TARP) .....	305
9.5.3.10	Plano de reentrada .....	306
9.5.3.11	Lições aprendidas.....	306

## 10. RECOMENDAÇÕES, INOVAÇÕES E APLICAÇÕES FUTURAS EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO..... 309

*Isabel Barton, Erik Eberhardt, Ben Haugen, Moe Momayez, Emre Onsel, Brad Ross, Robert Sharon, Doug Stead, Chad Williams*

10.1	Introdução.....	309
10.2	Estrutura do monitoramento de taludes baseado em risco .....	310
10.2.1	Descrição geral.....	310
10.2.2	Descrição geral da estrutura de monitoramento de taludes.....	311
10.2.3	Determinação da classificação de probabilidade.....	311
10.2.4	Avaliação de consequência .....	314
10.2.5	Classificação de risco .....	315
10.2.6	Estrutura do projeto do sistema de monitoramento .....	315
10.2.7	Seleção da instrumentação de monitoramento.....	316

10.3	Aplicações inovadoras de monitoramento investigativo e preditivo de taludes .....	317
10.3.1	Descrição geral.....	317
10.3.2	Monitoramento investigativo: caracterização de pontes rochosas e danos .....	317
10.3.3	Monitoramento investigativo e preditivo: interação entre minas a céu aberto e minas subterrâneas .....	319
10.3.4	Integração de monitoramento investigativo e preditivo: cinemática de movimento de taludes 3D .....	321
10.4	Tecnologias emergentes .....	325
10.4.1	Descrição geral.....	325
10.4.2	Plataforma de nanossensores para monitoramento de ambiente de mina .....	326
10.4.2.1	<i>Motivação</i> .....	326
10.4.2.2	<i>Formulação do conceito e projeto do sistema</i> .....	327
10.4.2.3	<i>Características e operação da SMART Suite</i> .....	327
10.4.2.4	<i>Plano de demonstração da prova de conceito ( PoC; do inglês, Proof of Concept)</i> .....	328
10.4.3	Delimitação de zonas de baixa resistência geotécnica relacionadas a minerais por espectroscopia de imagem.....	329
10.4.3.1	<i>Motivação</i> .....	329
10.4.3.2	<i>Espectroscopia de imagem</i> .....	329
10.4.3.3	<i>Fluxograma de espectroscopia de imagem para caracterização geotécnica de taludes</i> ....	331
10.4.3.4	<i>Desenvolvimento do sistema: trabalho atual e em andamento</i> .....	334
10.4.4	Mapeamento, inspeção e análise autônomos com uso de veículos aéreos não tripulados (UAVs).....	334
10.4.4.1	<i>Motivação</i> .....	334
10.4.4.2	<i>A inter-relação/ligação entre minas subterrâneas e a céu aberto</i> .....	335
10.4.4.3	<i>Autonomia e seus benefícios no gerenciamento de taludes</i> .....	335
10.4.4.4	<i>O futuro dos UAVs no monitoramento de taludes de cavas</i> .....	336
10.5	Realidade mista (conceito que mistura o mundo real com a realidade virtual) para visualização em monitoramento de cavas .....	337
10.5.1	Descrição geral.....	337
10.5.2	O <i>continuum</i> da realidade virtual .....	337
10.5.3	Aplicações de realidade mista em mapeamento de taludes de cavas .....	340
10.5.4	Aplicações de realidade mista no monitoramento de taludes em cavas .....	340
	Glossário .....	343
	Abreviações .....	343
	Palavras-chave e convenções .....	343
	Referências.....	345
	Índice remissivo .....	355