

Estabilização e Proteção do Morro da Mariquita – Porto Sudeste, Rio de Janeiro

Anna Laura L. S. Nunes
COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, alaura@coc.ufrj.br

Marcelo Gomes Rios Filho
GEOPHI ENGENHARIA, Rio de Janeiro, Brasil, marcelorios@geophi.com.br

Monique Lacerda Sobral
MACCAFERRI, Rio de Janeiro, Brasil, monique@maccaferri.com.br

Andrea Balbuzano Pelizoni
MACCAFERRI, Rio de Janeiro, Brasil, andrea.pelizoni@maccaferri.com.br

RESUMO: O trabalho apresenta a técnica empregada para a estabilização e proteção contra queda de blocos do talude rochoso do Morro da Mariquita na área de armazenamento de minério do Porto Sudeste, Ilha da Madeira, Bahia de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro. Trata-se de um empreendimento de grande porte com a finalidade de estocar e transportar minério de ferro para um píer, com capacidade operacional de 100 milhões de toneladas de minério por ano. Para garantir a operação do Porto foi necessário tratar o talude rochoso na área do pátio de estocagem com as estruturas de correias transportadoras e vias férreas já implantadas. São apresentados o mapeamento e caracterização geológico-geotécnicos do talude, o projeto e execução dos sistemas de estabilização e proteção do Morro da Mariquita. O projeto de estabilização foi subsidiado por análises com os programas DIPS, SWEDGE e MACRO STUDIO, possibilitando a seleção da melhor solução de reforço e proteção com chumbadores e painéis de alta resistência STEELGRID HR 50 PVC e telas metálicas dupla torção DT 8x10.

PALAVRAS-CHAVE: Talude Rochoso, Estabilização e Proteção, Revestimentos Metálicos.

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes rochosos é função da complexa combinação entre as propriedades da rocha intacta e descontinuidades que compõem o maciço, representadas por falhas, diáclases, fraturas, juntas e fissuras. A esta combinação ainda são associadas as condições morfológicas e geométricas do talude e as ações naturais e/ou antrópicas que resultem em variação do estado de tensão natural do maciço.

Os taludes rochosos estão presentes em áreas urbanas e rurais, remotas e próximas das atividades humanas e industriais. Sua instabilização representa riscos e/ou prejuízos

humanos e materiais de menor ou maior intensidade. A avaliação das condições de estabilidades de encostas a curto, médio e longo prazo é tarefa importante para a verificação da segurança da área no entorno do talude.

Os mecanismos de instabilização de taludes rochosos variam desde a ruptura circular de maciços muito fraturados e/ou alterados às quedas de blocos individualizados, podendo atingir as condições de movimentos de massa do tipo fluxo de detritos.

As principais medidas para garantir a segurança de taludes rochosos em áreas de instabilidade podem ser divididas em 3 categorias: i. Eliminação; ii. Estabilização e iii.

Convivência com o problema. A seleção do tipo de medida deve considerar os fatores que caracterizam o problema, tais como risco, estruturas geológicas, litologia, grau de alteração, inclinação do talude, número, volume e forma dos blocos, centro de gravidade e condições de apoio da massa, praça de trabalho, bota-fora e, principalmente, o nível de energia e/ou/tensão mobilizado pela ruptura do talude.

Níveis de energia muito elevados tornam inadequadas e até mesmo inaceitáveis as intervenções de estabilização, pois os custos serão exorbitantes e os benefícios reduzidos ou até mesmo duvidosos. Restam, portanto, as medidas de eliminação do problema e as de convivência com rupturas, indicadas para níveis mais elevados de energia da instabilidade. Estas medidas possibilitam conviver com o talude instável de forma o mais segura possível. A ruptura não é evitada, porém é controlada para minimização dos riscos e danos (Nunes, 2008 e 2013; Nunes & Sayão, 2014; Nunes et al, 2016).

Neste contexto, este trabalho apresenta as análises de estabilidade do talude rochoso do Morro da Mariquita, no Porto Sudeste, localizado na Ilha da Madeira, Bahia de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro, a cerca de 90km da capital.

O Superporto Sudeste é um empreendimento dedicado à movimentação da produção de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais para a estrutura marítima do porto, com capacidade de receber navios do tipo *capesize* (21m de lâmina d'água). O Porto Sudeste opera com sistema de pera ferroviária, possibilitando o descarregamento dos vagões de minério e manobra dos trens. Após ser descarregado, usando um sistema duplo de viradores de vagões, o minério de ferro é conduzido pelas correias transportadoras até os dois pátios de estocagem, Pátios 6 e 32. O Pátio 6 está localizado na parte interna da Pera Ferroviária e o Pátio 32 na área da Pedreira Sepetiba. Dos pátios de estocagem, o minério segue por correias transportadoras até o píer, passando por um túnel. Trata-se de um corredor logístico, que é uma estrutura inédita em portos de minério de ferro do Brasil, com capacidade operacional anual prevista de 100 milhões de toneladas.

O Porto Sudeste foi implantado em área muito complexa, apresentando desde taludes de solo e rocha a locais de solos moles. A região do Morro da Mariquita é composta de um talude rochoso de 200m de extensão e cerca de 50m de altura, com formato curvilíneo e inclinação sub vertical, vizinho ao Pátio de Armazenamento 6 e próximo à via da pera ferroviária do porto (Figura 1).



Figura 1. Imagem de satélite do Porto Sudeste com área do Morro da Mariquita

O talude rochoso da área apresenta condições geomecânicas desfavoráveis à estabilidade, em função do perfil de alteração e fraturamento do maciço, que resultam na formação de blocos, lascas e cunhas de volumes diversos. A proximidade do talude com as correias transportadoras, vias férreas e demais estruturas do porto exigem a análise cuidadosa da estabilidade do maciço rochoso, a fim de garantir a segurança de operação do empreendimento. Desta forma, este trabalho apresenta o estudo detalhado do talude rochoso e o dimensionamento do sistema de estabilização e proteção do Morro da Mariquita.

2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

2.1 Geologia Regional e Local

O Estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente contido na Província Mantiqueira, a mais complexa província estrutural afetada pelo Ciclo Orogênico neoproterozóico/cambriano na América do Sul.

Essa evolução orogênica foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos que compõem a geologia do estado (CPRM, 2001).

As formações rochosas, representadas pelos afloramentos (taludes rochosos) situados na região do Porto Sudeste, são formadas principalmente por granitóides pertencentes ao Domínio Juiz de Fora/ Paraíba do Sul e Domínio Serra do Mar. Dentre as rochas presentes na área de estudo, os litotipos dominantes são:

i. Granito pertencente ao Batólito Serra dos Órgãos, rico em biotita (biotita-anfibólio-granada granito), cor cinza claro a esbranquiçado, apresentando textura gnaíssica, porém com foliação descontínua e com xenólitos de biotita gnaisse;

ii. Granito do Complexo Ilha da Madeira, rico em ortoclásio (ortoclásio-granada granito), homogêneo a foliado, com grãos médios a grossos.

Estes granitóides duros apresentam as mesmas estruturas geológicas (fraturas e falhas) e diques de diabásio de espessuras métricas, com orientação NE-SW. As famílias de fraturas ortogonais entre si propiciam a formação e individualização dos blocos.

O mapeamento geológico-geotécnico da área mostrou 5 famílias de discontinuidades predominantes (SEEL, 2015), indicadas nas Figuras 2 e 3:

i. Família 1: Fraturas tectônicas sub-horizontais, cortando a foliação, com paredes rugosas e aberturas variáveis até centimétricas;

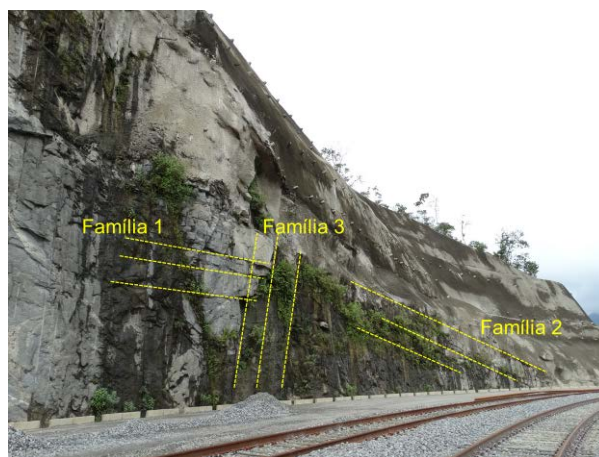
ii. Família 2: Fraturas tectônicas inclinadas a sub-horizontais com superfície plana e rugosa;

iii. Família 3: Fraturas tectônicas, paralelas a semiparalelas aos planos de falhas e aos diques de diabásio;

iv. Família 4: Fraturas tectônicas inclinadas a sub-horizontais de paredes planas e rugosas, com sentido oposto à Família 2 e mergulho orientado para a face do talude;

v. Família 5: juntas de alívio, paralelas ao relevo na crista e como lascas verticais nos paredões rochosos.

As fraturas mais importantes foram mapeadas e suas orientações são apresentadas na Tabela 1.



(a) Fraturas das famílias 1, 2 e 3



(b) Fraturas das famílias 4 e 5

Figura 2. Fraturas mapeadas no Morro da Mariquita.

Tabela 1. Orientação das estruturas geológicas mapeadas no Morro da Mariquita.

Família	Orientação (Direção ° / Mergulho °)
1	201/35; 215/30; 206/25; 218/26; 222/28
2	012/25; 312/32; 298/30; 344/05; 292/28; 310/27; 319/30; 300/26
3	165/84; 164/88; 166/85
4	089/28; 093/30; 084/30; 090/29; 095/30

2.2 Avaliação das Condições Geotécnicas

A Figura 3 apresenta vistas gerais do talude rochoso do Morro da Mariquita. Observa-se a maior alteração nas cotas superiores e melhor qualidade à medida que as cotas diminuem. Ressalta-se que o maciço apresenta,

dominantemente no topo, juntas de alívio muito alteradas com condição favorável à individualização e desprendimento de blocos e lascas em direção à infraestrutura do Porto Sudeste. A presença de blocos completamente individualizados com volumes superiores a 1m^3 e ângulos de mergulho orientados para o pátio de armazenamento de minério pode ser observada ao longo da crista do talude.



(a) Antes da instalação da infraestrutura do porto



(b) Depois da instalação da infraestrutura do porto

Figura 3. Vista geral do Morro da Mariquita.

O maciço rochoso, que foi cortado a fogo para a implantação do empreendimento, pode ser classificado no Sistema RMR (Bieniawski, 1989) em função da intensidade e condições das fraturas e da massa intacta. O talude do Morro da Mariquita foi classificado qualitativamente em (SEEL, 2015):

i. Classe II: Maciço rochoso de boa qualidade, apresentando rocha sã, coerente e medianamente fraturada, com planos de fraturas rugosos, com aberturas inferiores a 1mm e predominantemente seca;

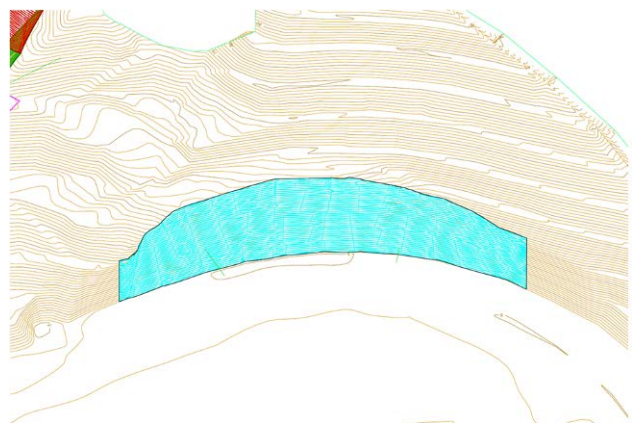
ii. Classe IV: Maciço rochoso de qualidade

ruim, muito fraturado, com planos de fraturas estriados a rugosos, com aberturas de 1 a 5mm e, em algumas áreas, superiores a 5mm , limpas e com preenchimento; localizada na parte superior do talude; Presença de água nas fraturas;

iii. Classe V: Maciço rochoso de qualidade muito ruim, muito fraturado, com planos de fraturas estriados a rugosos com aberturas maiores que 5mm , limpas e localmente preenchidas por solo. Esta zona apresenta grandes blocos, de ordem métrica e percolação expressiva de água no período de chuvas.

A Figura 4 apresenta as zonas de Classes II a V, mapeadas no maciço rochoso do Morro da Mariquita. Ressalta-se que nesta classificação, a Empresa SEEL não considera a ocorrência de Classe III e distingue 2 qualidades para a Classe V, diferenciadas pela presença abundante de solo misturado com rocha.

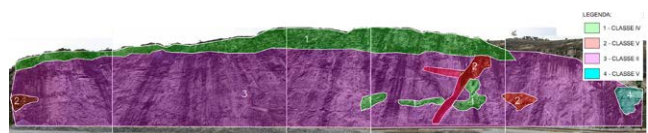
As principais instabilidades identificadas na área correspondem às rupturas do tipo cunha e planar, as quais constituem em potenciais quedas de blocos na direção da infraestrutura.



(a) Topografia



(b) Vista geral



(c) Classificação do Maciço

Figura 4. Características geotécnicas do Morro da Mariquita.

3 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

As estruturas geológicas mapeadas foram analisadas em relação à orientação do talude do Morro da Mariquita. Em função da geometria curvilínea da área, foram considerados 3 trechos com orientações de talude distintas: trechos *Dip Direction* 000°, *Dip Direction* 020° e *Dip Direction* 355°.

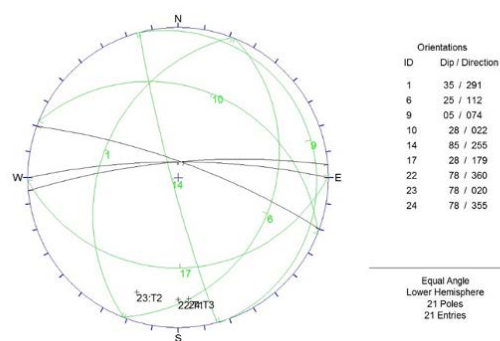
O Programa comercial DIPS (Rocscience Inc.) foi adotado para análise de projeção estereográfica das juntas em relação aos 3 trechos do talude. Os resultados das análises estereográficas são apresentados na Figura 5a, onde são observadas as projeções das fraturas críticas (planos em verde) em relação às orientações dos 3 trechos de talude (planos em preto). A Figura 5b mostra os estereogramas com os planos de taludes e fraturas, e as concentrações de pólos com valor máximo de 24,1% (Método de Fisher).

As projeções estereográficas permitem concluir que a formação de cunhas é predominante no talude rochoso da Mariquita. Além disto, são consideradas as mais críticas devido à individualização geométrica e ao volume do bloco formado e, portanto, são analisadas especificamente para a avaliação do maciço.

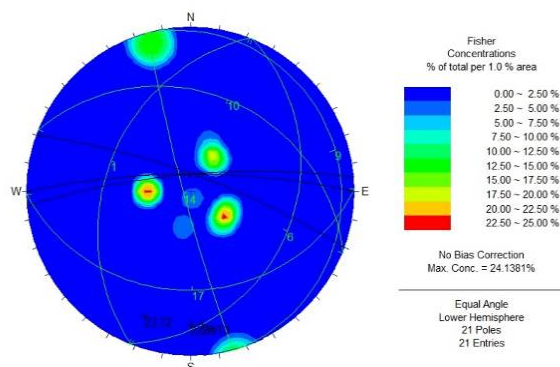
As análises de estabilidade das cunhas de ruptura potenciais foram realizadas considerando os parâmetros geométricos e as orientações dos taludes e das juntas (Tabela 2).

Em função da impossibilidade de se realizar ensaios de determinação de resistência mecânica para uma melhor caracterização das paredes das fraturas, foram adotadas propriedades mecânicas reduzidas e iguais a coesão nula e ângulo de atrito de 25°, correspondendo, portanto, a um cenário pessimista que penaliza os parâmetros de resistência das fraturas do maciço rochoso.

As análises de estabilidade de cunhas foram desenvolvidas com o programa comercial SWEDGE (Rocscience Inc.), considerando as fraturas totalmente preenchidas com água. As 6 fraturas (Juntas J1 a J6) foram combinadas em par e analisadas para as 3 orientações de talude do maciço rochoso.



(a) Planos dos taludes e fraturas



(b) Planos dos taludes e fraturas e concentração dos pólos.

Figura 5. Análises de estabilidade por projeção estereográfica.

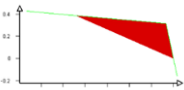
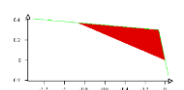
Tabela 2. Características geométricas do talude e juntas adotadas para análise de rupturas em cunha.

Talude		Descontinuidades	
Parâmetro	Valor	Junta	Orientação
Orientação - 000°	78°/ 000°	J1	35°/ 291°
Orientação - 020°	78°/ 020°	J2	25°/ 112°
Orientação - 355°	78°/ 355°	J3	05°/ 074°
Altura	50 m	J4	28°/ 022°
Inclinação de topo	5°	J5	85°/ 255°
Largura de crista	5 m	J6	28°/ 179°

A Tabela 3 resume os resultados das análises, apresentando as juntas que formam as cunhas instáveis em cada trecho, pesos, dimensões e Fatores de Segurança. Observa-se que somente a combinação das fraturas J1 - J4, J1 - J5 e J4 - J5 forma cunhas que interceptam o talude com pesos variando de 48kgf a 1,52 toneladas. Nota-se também que as pequenas

cunhas formadas pelas juntas J1 e J5 apresentam Fatores de Segurança superiores a 1,17 e, portanto, são estáveis. As cunhas produzidas pela intersecção das juntas J4 e J5 mostram FS muito próximos da unidade e exigem estabilização. As cunhas formadas pelas juntas J1 e J4 são instáveis com FS inferiores a 1 e apresentam os maiores volumes, sendo as mais críticas do talude.

Tabela 3. Análises das cunhas do Morro da Mariquita.

Talude		Características das Cunhas		
Trecho	Juntas	Peso (T)	FS	Dimensões ⁽¹⁾ (m)
000°	J1 - J4	0,206	0,83	
	J1 - J5	0,048	1,22	
	J4 - J5	0,155	1,07	
020°	J1 - J4	1,520	0,85	
	J1 - J5	0,038	1,17	
	J4 - J5	1,426	1,13	
355°	J1 - J4	0,163	0,82	
	J1 - J5	0,050	1,29	
	J4 - J5	0,129	1,01	

⁽¹⁾: Dimensões da maior cunha formada no trecho.

4 ESTABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DO TALUDE

O projeto de estabilização e proteção do talude do Morro da Mariquita foi desenvolvido considerando:

- Condições geológico-geotécnicas do maciço representadas por maciço Classe V na parte superior e Classe II na parte média e inferior do talude;
- Proximidade da infraestrutura do Porto Sudeste em relação ao paredão rochoso;
- Área expressiva a ser tratada sob condições de custos e prazos reduzidos.

Desta forma, a solução mais adequada para atender a todas condições do Morro da Mariquita corresponde à instalação de revestimentos metálicos ancorados com a

função de estabilização na área do maciço Classe IV e Classe V e com a função de proteção na área do maciço Classe II. Foram selecionadas as telas metálicas de alta resistência SteelGrid HR50 e tela metálica dupla torção DT, fabricadas pela MACCAFERRI. O projeto foi desenvolvido com o auxílio do programa MACRO Studio V. 7.0 (MACCAFERRI).

O dimensionamento do sistema de revestimento com telas considerou a geometria e orientações do talude e cunhas críticas com resistência ao arrancamento da ancoragem igual a 0,4MPa. A partir das análises com o MACRO Studio foram determinadas as características das telas ancoradas (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros do sistema de estabilização e proteção do Morro da Mariquita.

Parâmetro	Morro da Mariquita	
Painel metálico	SteelGrid HR50 PVC	DT 8x10 φ2,7mm
Placa de amarração	Maccaferri	Maccaferri
Barra de aço	500 MPa	500 MPa
Diâmetro da barra de aço	32 mm	25 mm
Diâmetro do furo mínimo	50 mm	50 mm
Comprimento da ancoragem mínimo	3,0m	0,9 m
Espaçamento horizontal entre ancoragens	3,0 m	3,0 m
Espaçamento vertical entre ancoragens	3,0 m	-
Inclinação da ancoragem com a horizontal	10°	10°

Os Fatores de Segurança obtidos para o sistema com SteelGrid foram satisfatórios e iguais a 1,23 para a ancoragem e variaram de 2,52 a 3,12 para tela metálica em estado limite último e de 1,19 a 1,23 para tela em estado limite de serviço. Para o sistema com tela DT foi obtido um Fator de Segurança de 1,32 para a capacidade da tela (GEOPI, 2015).

As Figuras 5 a 10 ilustram as obras concluídas no Morro da Mariquita, mostrando vistas gerais dos trechos 000°, 020° e 355° e detalhes da instalação das telas e ancoragens.



Figura 5. Vista geral do talude com telas SteelGrid HR50 e DT – Trecho 000°.



Figura 8. Detalhe da transição entre telas SteelGrid HR50 e DT.



Figura 6. Vista geral do talude com telas SteelGrid HR50 e DT – Trecho 020°.



Figura 9. Detalhe dos cabos de aço da tela SteelGrid HR50.

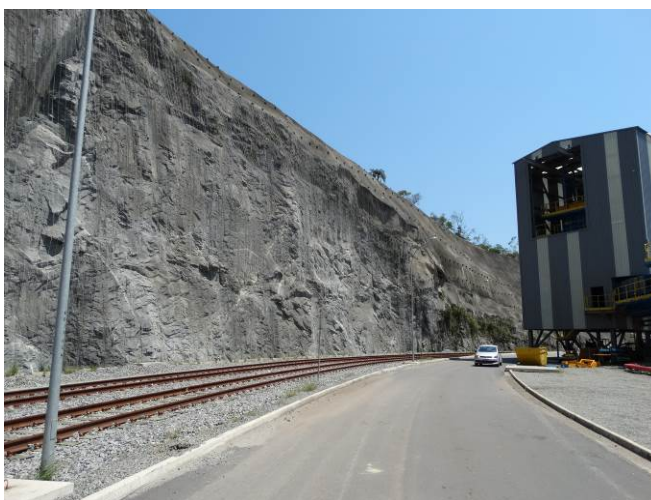


Figura 7. Vista geral do talude com telas SteelGrid HR50 e DT – Trecho 355°.



Figura 10. Detalhe da fixação da tela SteelGrid HR50 e ancoragens de topo.

O projeto de estabilização e proteção do talude rochoso do Morro da Mariquita foi realizado com painel do tipo Steelgrid HR50 instalado a partir da crista até 1/3 da altura do talude e em porções localizadas de menor competência ao longo do maciço (presença de maciço Classes IV e V) e malha metálica dupla torção nos 2/3 restantes da altura do talude (predomínio de maciço Classe II).

5 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho podem ser resumidas em:

- i. O mapeamento geológico-geotécnico detalhado do maciço rochoso permitiu a análise criteriosa da solução de estabilização e/ou proteção a ser implantada, resultando em projeto mais eficiente e econômico;
- ii. A combinação de telas diferentes representadas pela SteelGrid HR 50 PVC e DT 8x10 ϕ 2,7mm garantiu a função de estabilização nos trechos de maciço classe IV e V e de proteção contra queda de blocos nos trechos de maciço Classe II.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Empresa SEEL-Serviços Especiais de Engenharia Ltda, responsável pelo mapeamento geológico-geotécnico e execução das obras de estabilização dos taludes do Porto Sudeste.

REFERÊNCIAS

- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering Rock Mass Classifications – A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*, John Wiley & Sons, 251 p.
- CPRM (2001) Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro, org. L.C. Silva e H.C.S. Cunha, 2ª ed., Brasília.
- GEOPHI (2015) Projeto de Estabilização de Taludes Rochosos do Porto Sudeste - Mariquita e Área A1, Rel. Técnico GPHI-PJ47-MC-415-03-000-R0, 78 p.
- Nunes, A.L.L.S. (2013) Convivência com Rupturas – Barreiras contra Quedas de Blocos, VI Conferência Brasileira de Encostas – COBRAE, Angra dos Reis, RJ, p. 41-73.
- Nunes, A.L.L.S. (2008) Estabilidade de Taludes Rochosos em Estradas, GEOSUL 2008 - VI Simp. Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Florianópolis, SC, 11 p.
- Nunes, A.L.L.S.; Sayão, A.S.F.J. (2014) Debris Flow e técnicas de mitigação e convivência, 14CNG – Congresso Nacional de Geotecnia, Covilhã, Portugal, Covilhã, Portugal, p. 83-123.
- Nunes, A.L.L.S., Rios Filho, M.G.; Sobral, M.L.; Pelizoni, A.B. (2016) Estabilização de Taludes Rochosos no Porto Sudeste – Rio de Janeiro, Brasil, 15 CNG - 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Portugal, 10p.
- SEEL (2015) Relatório de Levantamento Geológico-Geotécnico e Relatório Fotográfico - Taludes da Porção Norte do Morro da Mariquita. Ilha da Madeira – Itaguaí - Rio de Janeiro – RJ, 37 p.